OKTATÁSI HIVATAL

NAT 2020

9–10

II. kötet

# Fizika

tankönyv

# FIZIKA 9–10.

## II. kötet

Oktatási Hivatal

A kiadvány tankönyvvé nyilvánítási engedélyt kapott a TKV/325-7/2021. (2021. 02. 15–2026. 02. 15.) számú határozattal.

A tankönyv megfelel a Kormány 5/2020. (I. 31.) Korm. rendelete a Nemzeti alaptanterv kiadásáról, bevezetéséről és alkalmazásáról szóló 110/2012. (VI. 4.) Korm. rendelet módosításáról megnevezésű jogszabály alapján készült Kerettanterv a gimnáziumok 9–12. évfolyama számára megnevezésű kerettanterv fizika tantárgy előírásainak.

A tankönyv megfelel a NAT 2020 előírásainak.

A tankönyvvé nyilvánítási eljárásban közreműködő szakértő: Kondor Lászlóné

Tananyagfejlesztők: DR. ÁDÁM PÉTER, DR. EGRI SÁNDOR, ELBLINGER FERENC, HORÁNYI GÁBOR, SIMON PÉTER

Alkotószerkesztő: DR. ÁDÁM PÉTER

Szakmai lektor: VARGA BALÁZS

Illusztrációk: MÉSZÁROS ÁKOS, VARGA ZSÓFIA, HEGEDŰS-EGERESI ILONA LILLA

Fedélterv: SLEZÁK ILONA

Látvány- és tipográfiai terv: SEPLER BÉLA

Borítófotó: Shutterstock

© Oktatási Hivatal, 2020

A könyvben felhasználásra kerültek a Fizika 9. (FI-505040901/1), a Fizika 10. (FI-505041001/1) és a Fizika 11. (FI-505041101/1) tankönyvek anyagai.

ISBN 978-615-6256-52-2

Oktatási Hivatal • 1055 Budapest, Szalay utca 10-14.
Tel.: (+36-1) 374-2100 • E-mail: tankonyv@oh.gov.hu

A kiadásért felel: Brassói Sándor elnök
Raktári szám: OH-FIZ910TA/II
Tankönyvkiadási osztályvezető: Horváth Zoltán Ákos
Műszaki szerkesztő: Orosz Adél
Grafikai szerkesztő: Nagy Áron
Nyomdai előkészítés: Gados László
Terjedelem: 43,78 (A/5) ív, tömeg: 930,19 gramm
1. kiadás, 2024

A kötet megjelenését a Belügyminisztérium támogatta.

BELÜGYMINISZTÉRIUM

Gyártás: Könyvtárellátó Nonprofit Kft.
Nyomta és kötötte:
Felelős vezető:
A nyomdai megrendelés törzsszáma:

# TARTALOM


ELŐSZÓ ..... 5

GÉPEK ..... 9

**1.** | Motorok nyomatéka ..... 10
**2.** | Az egyensúly feltétele ..... 16
**3.** | Többet ésszel, mint erővel ..... 21

SZIKRÁK ÉS VILLÁMOK ..... 29

**4.** | Vigyázz, szikrázik! ..... 30
**5.** | Hogyan működik a fénymásoló és a lézernyomtató? ..... 34
**6.** | Milyen a villámok világa? ..... 39
**7.** | Elektrosztatikai jelenségek ..... 44
**8.** | Hogyan tárolunk elektromos töltéseket? (kiegészítő anyag) ... 48

ELEKTROMOSSÁG A KÖRNYEZETÜNKBEN ..... 53

**9.** | Mi az elektromos áram? ..... 54
**10.** | Csináljunk áramot! ..... 62
**11.** | Mitől függ, hogy milyen erős az áram? ..... 68
**12.** | Az áram hasznos, de veszélyes! ..... 75
**13.** | Zsebre megy a játék! Az áram ára ..... 83
**14.** | Lakásaink elektromos hálózata ..... 88
**15.** | A LED és társai ..... 94

GENERÁTOROK ÉS MOTOROK ..... 101

**16.** | A bűvös mágnesek ..... 102
**17.** | Készítsünk elektromágnest! ..... 109
**18.** | Az elektromotorok ..... 113
**19.** | Áramtermelés kicsiben és nagyban ..... 118
**20.** | A váltakozó áram ..... 127

A HULLÁMOK SZEREPE A KOMMUNIKÁCIÓBAN ..... 135

**21.** | Hogyan hallunk? ..... 136
**22.** | Zajszennyezés ..... 139
**23.** | A zene fizikája ..... 145
**24.** | A hangszerekben kialakuló állóhullámok ..... 149
**25.** | Miért nem tudjuk megfogni a fényt? ..... 153

**26.** | Az elektromágneses hullámok ..... 157
**27.** | Az elektromágneses hullámok néhány alkalmazása ..... 159
**28.** | Milyen televíziót vásároljak? ..... 166
**29.** | Mobilmánia ..... 170
**30.** | A lézer és a holográfia ..... 174

KÉPEK ÉS LÁTÁS ..... 177

**31.** | Hogyan látunk? ..... 178
**32.** | Szemünk világa ..... 181
**33.** | Ablaküvegek és tükrök ..... 184
**34.** | Hogyan működik? A nagyítótól a távcsőig ..... 187
**35.** | A színek ..... 192
**36.** | A természet színei ..... 195
**37.** | Filmek a moziban és otthon ..... 199

AZ ATOMOK ÉS A FÉNY ..... 203

**38.** | Az atomok ujjlenyomata ..... 204
**39.** | Fényforrások ..... 208
**40.** | Digitális fényképezőgép, fotocella, napelem ..... 211
**41.** | A hullám - részecske kettőssége ..... 215
**42.** | Az anyag felépítése ..... 218
**43.** | Múlt századi nagy felfedezések ..... 221

KÖRNYEZETÜNK ÉPSÉGÉNEK MEGŐRZÉSE ..... 225

**44.** | Energia, környezet, éghajlat (összegzés, ismétlés) ..... 226
**45.** | A radioaktív sugárzás ..... 231
**46.** | A radioaktivitás orvosi felhasználása ..... 235
**47.** | Sugárveszély ..... 239
**48.** | Veszélyesek-e az atomerőművek? ..... 242

A VILÁGEGYETEM MEGISMERÉSE ..... 247

**49.** | A Naprendszer modelljei ..... 248
**50.** | Kepler törvényei ..... 253
**51.** | A Föld, a Hold és a Nap mérése ..... 257
**52.** | A világegyetem méretei ..... 262
**53.** | A csillagfény üzenete ..... 266
**54.** | Aki távolba néz, a múltba néz ..... 272

**55.** | Fekete lyukak és más csillagsorsok ..... 276
**56.** | A mindenség keletkezése ..... 280
**57.** | Utazhatunk-e az időben? ..... 287
**58.** | Van-e élet a Földön kívül? ..... 290
**59.** | Ha majd a Nap kihűl... ..... 295
**60.** | Meg van írva a csillagokban? ..... 299
**61.** | A Föld csillagkörnyezete ..... 304
**62.** | Utazás a Naprendszerben – Föld típusú bolygók ..... 309
**63.** | Gázóriások ..... 316
**64.** | A Hold ..... 322
**65.** | Az űrkutatás néhány állomása ..... 327
**66.** | Űrkutatás az emberiség szolgálatában ..... 332

NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ ..... 337

KÉPEK JEGYZÉKE ..... 340

# ELŐSZÓ

Az emberiség számára létfontosságú, hogy megismerje a környezetét. Ha jobban ismeri és érti a körülötte lévő, állandóan változó, néha barátságos, ám olykor fenyegető arcát mutató világot, tovább és kényelmesebben tud élni. Érvényes ez a kijelentés minden egyes emberre is. Ha felismerjük a párás, meleg időben gyorsan támadó zivatar előjeleit, időben biztonságos menedéket találunk. Ha ismerjük az elektromos áram tulajdonságait, tudjuk, hogyan működnek elektromos berendezéseink, felismerhetjük a meghibásodott berendezést, elkerülhetjük a balesetet. A villámok természetének ismerete segíthet a villámcsapás elkerülésében. Ha megfelelő akkumulátort vásárolunk, és azt rendeltetésszerűen használjuk, elektromos berendezésünk élettartama meghosszabbodik. A hang természetéről szerzett ismeretek segítségével jobb minőségben hallhatjuk kedvenc zenéinket, vagy szebben szólaltathatjuk meg a hangszereket; a hullámok természetének ismeretében biztonságosabban fürdőzhetünk a tengerparton. Sorolhatnánk még a sok ehhez hasonló példát, amelyek ennek a könyvnek a lapjairól valók.

A veszélyhelyzetek elkerülésére való törekvés mellett talán a szépség iránti vágy az emberi megismerés másik mozgatórugója. Milyen gyönyörű a csendes balatoni víztükör, amikor felkel a nap! Ki ne tapadna a repülő ablakához, amikor a gép a magasba emelkedik, ki ne fürkészné a távoli falvak apró házait a hegytetőről? Földi világunk egyensúlyát azonban sok, nagyon erőteljes hatás fenyegeti. A globális felmelegedés, melynek egyik előidézője a meggondolatlan emberi tevékenység, vagy a tengerrengések energiáját a lakott partokra zúdító szökőárak, amelyek alig észrevehető, néhány centiméter magas hullámként tesznek meg nagy sebességgel sok száz kilométert a mély tengerekben, hogy aztán a sekély parton 20-30 m-es vízfallá magasodjanak. A könyvben található fizikai ismeretek segítségével az olvasó pontosabb képet kaphat a bennünket körülvevő világ természeti jelenségeiről, a technikai eszközök működésének alapjairól. A víz tulajdonságairól, az áramlásokról, a hullámokról, az elektromos és mágneses kölcsönhatásokról, Földünk globális környezeti problémáiról. Azt gondoljuk, hogy ezek olyan fontos ismeretek, amelyeket minden felnövekvő embernek meg kell tanulnia, most már talán nem is kell megindokolni, hogy miért.

A tankönyvet a benne található szövegek és képek figyelmes tanulmányozásával, a gyakorlati jellegű és a megértést elmélyítő feladatok megoldásával olyanok is sikerrel forgathatják, akik csak alapfokú matematikai jártassággal rendelkeznek. Titkon reméljük, közülük sokan éppen most kapnak majd kedvet a fizika tudományos nyelvezetének (a matematikának) mélyebb elsajátításához, és tanáruk támogatásával, a szükséges koncentráció és erőfeszítés segítségével a tankönyv biztosította alapok birtokában sikeresek is lesznek törekvésükben.

A folyamatos szöveget aktivitásra buzdító felszólítások tagolják.

**KÍSÉRLETEZZ!** **MÉRD MEG!** **FIGYELD MEG!**

Célunk ezzel, hogy személyes tapasztalataid révén kerülj közelebb az adott témakörhöz.

A *Tőled függ!* keretben olyan információkat találsz, amelyek alapján tehetsz azért, hogy környezetünk élhetőbb legyen.

Jellegzetes hibák, tévképzetek, félreértések elkerülésében segít a **NE HIBÁZZ!** rész.

Könyvünk számos érdekességet, váratlan, szokatlan tényt tartalmaz. Ezeket a *Hallottál róla?* keretben találod.

A *Hogyan volt régen?* keret tudománytörténeti érdekességeket tartalmaz. Ha nem értjük elődeink gondolkodását, önmagunkat sem érthetjük meg.

A fizika fontos üzenete, hogy a dolgok mennyiségileg jellemezhetők, és a folyamatok eredménye kiszámítható. A **SZÁMOLJUK KI!** részben néhány egyszerű példán mutatjuk ezt be.

A lecke összefoglalóját, a legfontosabb ismereteket a **NE FELEDD!** keret tartalmazza.

Az **EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK** rész pedig segít ellenőrizni, megértetted-e a lecke legfontosabb üzenetét.

A leckék végén található **ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK** nagyobb kihívás elé állítják a diákokat, ezek olyan tanulóknak készültek, akik szeretnek fizikával kapcsolatos problémákon gondolkodni. Mérnöki, orvosi és természettudományi irányú felsőfokú tanulmányokra készülőknek elengedhetetlen, hogy ezeken a feladatokon is törjék a fejüket.

Kedves Olvasó! Reméljük, hogy örömmel fogod forgatni ezt a könyvet, és hasznodra válik. Sok sikert kívánunk!

*A szerzők*

## Próbáljuk meg kitalálni,

*hogy mit jeleznek a szerpentin mentén elhelyezett közlekedési táblák! Vajon mik vannak a kép jobb alsó sarkában látható kanyar szélén lévő oszlopokon?*

## Hol van a deszkán lévő ember

*(meg a többi tárgy és magának a deszkának) a közös súlypontja? Ha valamennyit jobbra elgurul az asztalon lévő henger, akkor mennyit mozdul el (és milyen irányba) a hengeren lévő deszka?*

## A kötél nagy erőt fejt ki

*a csigára. Ez az erő lehet nagyobb is, kisebb is, sőt ugyanakkora is, mint a kötélben fellépő feszítőerő (vagyis a munkások húzóereje). Hogyan lehetséges ez?*

# GÉPEK

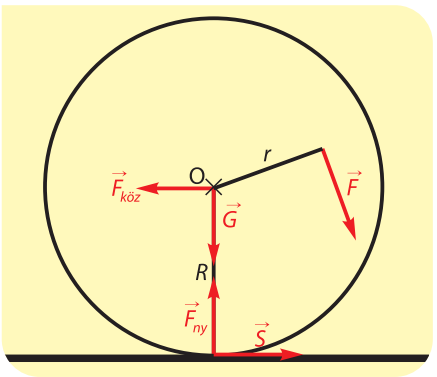
## A régi tanyavilágban

*a gémeskút nemcsak arra szolgált, hogy viszonylag könnyen lehessen vizet húzni a kútból, hanem jelzéseket, üzeneteket is lehetett vele közvetíteni a távolba, mert a kút állása messziről is látszott. Próbáljuk meg kitalálni, hogyan működhetett a gémeskútkód, majd nézzünk utána, hogy mit mond erről a kommunikációról a néprajz!*

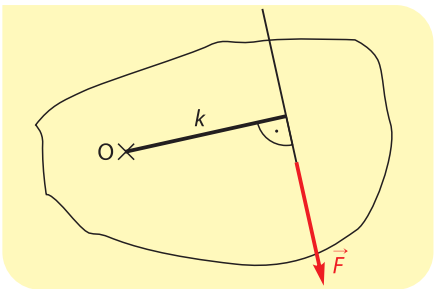
# 1. | Motorok nyomatéka

*A kerékpár őse a velocipéd (1861). Az első kerék tengelyéhez erősített hajtókart kell taposnunk ahhoz, hogy haladjunk vele. Vegyük észre, hogy a velocipéd meghajtása lényegében megegyezik az óvodás gyerekek háromkerekű triciklijének hajtási mechanizmusával. Ha a jármű a levegőben lenne, akkor a hajtott kerék legalsó pontja hátrafelé mozdulna el. Az úton haladó velocipéd kerekének legalsó pontja a súrlódás miatt az úthoz tapad. A kerék a talajt hátrafelé nyomja, ezért a talaj előre hajtja a kétkerekűt. Minden kerekeken gördülő önjáró jármű meghajtásának ugyanez az alapelve. Milyen furcsa is ez! Az utakon gördülő gépkocsikat dinamikai értelemben nem a motorjuk, hanem a tapadási súrlódás hajtja! (Persze a mozgatáshoz szükséges energiát a motor adja.)*

## Az erő forgató hatása




Elemezzük az ábra alapján egy ősi kerékpár, vagyis egy velocipéd egyenletes mozgását, miközben szélcsendben, vízszintes úton halad! A járműre a sebességével ellentétes irányú közegellenállási erő hat. Az egyenletes haladás miatt a járműre ugyanekkora nagyságú, vízszintesen előremutató erőnek is kell hatnia. Ezt az erőt a talaj fejti ki a meghajtott kerékre. Ha a velocipéd kerekeinek tengelye jól csapágyazott, akkor a kerékpárosnak a lábával akkora $F$ erőt kell kifejtenie a pedálra, hogy az $F \cdot r$ szorzat egyenlő legyen az $S \cdot R$ szorzattal. A rajzon látható $r$ sugár az $F$ erő hatásvonalának az O tengelytől mért távolságával egyezik meg, míg $R$ a velocipéd kerekének sugara.




Az erő hatásvonalának a vonatkoztatási ponttól (forgástengelytől) mért távolsága az erő **erőkar**ja, amit általában $k$-val jelölünk. Az erő és az erőkar szorzata a **forgatónyomaték**, ami az erő forgató hatását fejezi ki:

Forgatónyomaték = (erő) · (erőkar).

A forgatónyomaték jele $\boldsymbol{M}$; $M = F \cdot k$.

A forgatónyomaték mértékegysége: $[M] = [F] \cdot [k] = \text{Nm}$.

Ha egyenletesen halad a jármű, akkor a meghajtott kereke is egyenletesen forog. Ehhez az kell, hogy két ellentétes hatású forgatónyomaték hasson rá, melyek kiegyenlítik egymás hatását. Ha a meghajtott kerék sugara háromszor akkora, mint a pedálkar hossza, akkor lényegében háromszor akkora erővel kell a pedált lefelé taposnunk, mint amekkora az előremutató tapadási súrlódási erő, ami viszont azért kell, hogy a légellenállást legyőzzük. A kerékre ható többi erőnek ($F_{neh}$, $F_{köz}$, $F_{ny}$) hatásvonala átmegy a tengelyen, így nincs erőkarjuk, és így forgatóhatásuk sincs.

Ha nagyobb erővel tapossuk a pedált, akkor nagyobb tapadási súrlódás lép fel, így felgyorsul a velocipéd. Nagyobb sebességnél viszont nagyobb a légellenállás is, tehát nem tudjuk tetszőlegesen nagy sebességre gyorsítani ősi kerékpárunkat, hanem csak egy olyan maximális sebességre, ami fizikai teljesítőképességünktől függ. A mai kerékpárokon általában a hátsó kereket hajtjuk, de nem közvetlenül, hanem láncon és fogaskerekeken keresztül közvetve. Ügyes áttételek segítségével a velocipédhez képest sokkal jobban ki tudjuk használni testi erőnket, és akár 30-40 km/h utazósebességet is elérhetünk. A meghajtás elve azonban a modern kerékpárokon is ugyanez, vagyis a lábunkkal kifejtett forgatónyomatékkal egyensúlyt tart a meghajtott kerékre ható, a tapadási súrlódás által kifejtett ellentétes irányban forgató nyomaték.

A velocipéd és feltalálója, Ernest Michaux

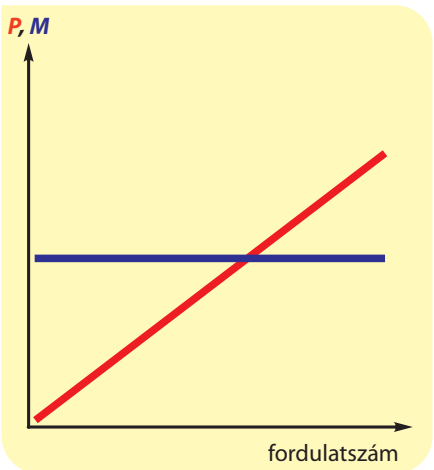
## Ideális motorok

A gépkocsik nem emberi meghajtással működnek, hanem egy belső égésű motor biztosítja a szükséges forgatónyomatékot. Autó vásárlásakor a kiválasztásnál az esztétikai szempontok és az autó fogyasztása mellett fontos szerepet játszanak az autó motorjának jellemzői is. Az autó maximális $P$ teljesítményét és legnagyobb $M$ forgatónyomatékát érdemes elsősorban figyelni. Használat közben rendszerint nem a legnagyobb teljesítménnyel, illetve a legnagyobb forgatónyomatékkal üzemel a gépjármű. Elméleti megfontolások alapján a motor $P$ teljesítménye és $M$ forgatónyomatéka adott $f$ fordulatszámon egyenesen arányos egymással:

$$P = M \cdot (2\pi f)$$

A fordulatszám megmutatja, hogy a gépkocsi főtengelye (ezt forgatja meg a motor) másodpercenként hányat fordul. A technikai leírásokban, továbbá az autók műszerfalán a fordulatszámot nem fordulat/másodperc, hanem fordulat/perc egységben adják meg. Ha például 3000 fordulat/perc a motor fordulatszáma, akkor a másodpercenkénti fordulatszám 50 fordulat/másodperc.

Ha a motorban az üzemanyag égési folyamata minden fordulatszámon ideális lenne, és nem lennének belső veszteségek, akkor a nyomaték minden fordulatszámon azonos lenne. Ekkor a nyomaték-fordulatszám függvényt egy vízszintes egyenes, a teljesítmény-fordulatszám függvényt pedig egy origón átmenő egyenes ábrázolná.




Ideális motor forgatónyomatékának és teljesítményének fordulatszámfüggése

## Hallottál róla?

A technika nyelvezetében gyakran egyszerűen nyomatéknak rövidítik a forgatónyomatékot. Így amikor azt mondják, hogy nagy nyomatékú autó, akkor ez egyszerűen azt jelenti, hogy az autó erős, vagyis a motorja nagy forgatónyomaték kifejtésére képes.
A kisvárosi autók nyomatéka 100 Nm körül van, míg a legerősebb luxusautók nyomatéka közelíti az 1000 Nm-t.

## JÁRJ UTÁNA!

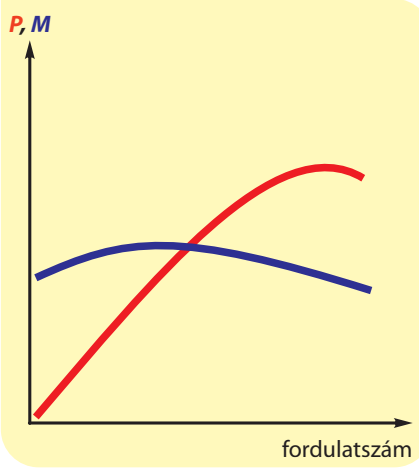
Az interneten járj utána, hogy a kedvenc autódnak mekkora a maximális teljesítménye, legnagyobb forgatónyomatéka, fogyasztása!

## VALÓDI MOTOROK *(Olvasmány)*

Az égési folyamat hatékonysága – teljesítménye – függ az elégetett üzemanyag-levegő keverék mennyiségétől, a levegő minőségétől és az égésre rendelkezésre álló időtől, tehát a motor fordulatszámától. A motor ténylegesen leadott nyomatékát fékpadon lehet mérni. A motorok valódi nyomaték- és teljesítménygörbéi eltérnek az ideálistól.

A motor által leadott nyomaték a fordulatszám növekedésével először nő, majd a legnagyobb értékének az elérése után csökken. A legtöbb motort úgy alakítják ki, hogy a nyomaték-fordulatszám maximuma egy konkrét üzemállapot (kb. 3000 fordulat/perc) közelében legyen. Szakemberek több technológiát dolgoztak már ki annak érdekében, hogy a nyomatékmaximum minél szélesebb és minél nagyobb érték legyen.

A nyomaték a motortól a meghajtott kerékig többféle fogaskerekes áttétellel juthat el. Ezeket a lehetőségeket nevezzük sebességfokozatoknak. A következő oldali ábrán látható jelleggörbék azt mutatják, hogy az egyes sebességfokozatokban hogyan függ a nyomaték a sebességtől.




Valódi motor forgatónyomatékának és teljesítményének fordulatszámfüggése

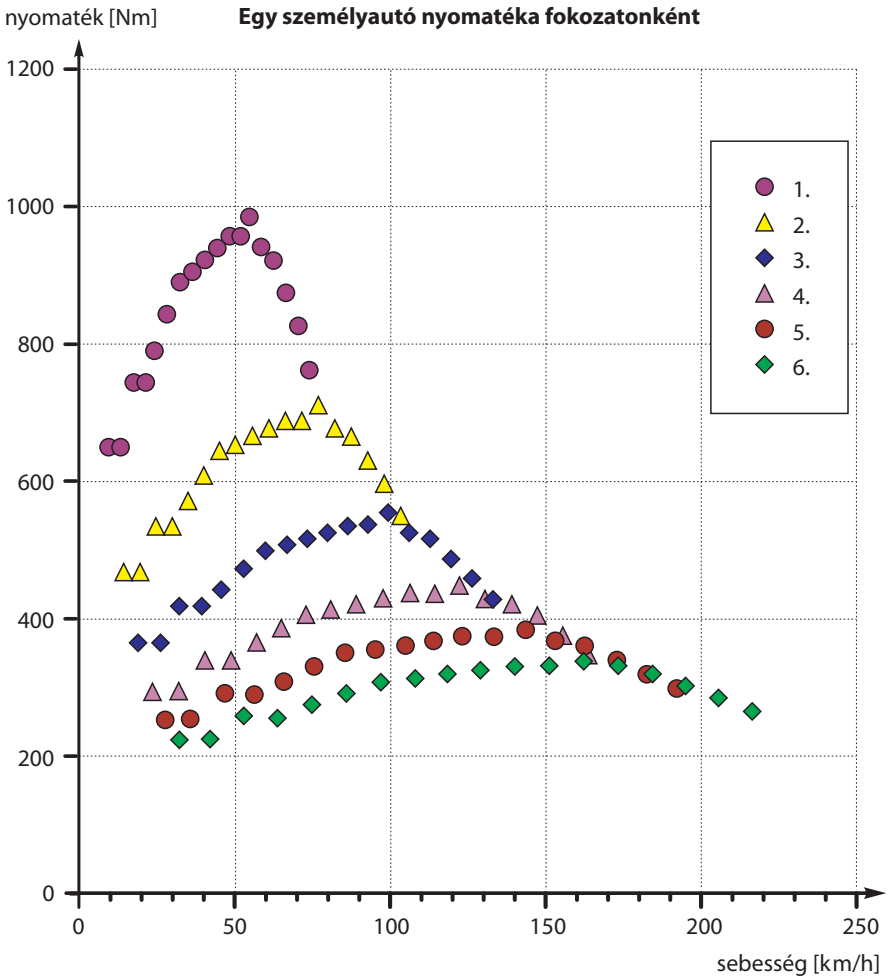
## Tőled függ!

A **KRESZ** szerint a közúti forgalomban való kerékpáros részvételhez az alábbiak szükségesek: fehér színű első lámpa, vörös színű hátsó lámpa, vörös színű hátsó prizma, két, egymástól független fék, csengő, borostyánsárga színű küllőprizma legalább az első kereken, valamint lakott területen kívül fejvédő sisak, fényvisszaverő ruházat.

## NE HIBÁZZ!

Sok helyen láthatjuk, hallhatjuk azt a megfogalmazást, hogy „a járműveket a motor húzóereje hajtja". Ez az állítás azonban hibás!
Kívülről nézve (vagyis a járművet akár egy tömegpontnak tekintve) a járművekre a nehézségi erő, a talaj kényszerereje, a súrlódási erő (ami lehet csúszási, de jó esetben inkább tapadási legyen), illetve a légellenállási erő hat. Ezek eredője gyorsítja a gépkocsit, hiszen éppen erről szól Newton második törvénye.
Persze tudjuk, hogy a motor hajtja a gépjárműveket, a motor gyorsítja a kocsit a vízszintes talajon, a motor hatására tud a jármű felmenni a lejtőn. Ezt lényegében úgy éri el, hogy megforgatja a kerekeket, melyek (hacsak nem tükörjégen van az autó) a talajjal olyan érintkezési kölcsönhatásba lépnek, hogy létrejön a járműre ható megfelelő nagyságú és irányú súrlódási erő.

Kézi váltó




Egy személyautó forgatónyomatékának sebességfüggése különböző sebességfokozatokban. Milyen sebességfokozatban (hányasban) és mekkora sebesség mellett a legerősebb a jármű?

Mit olvashatunk le ezekről a jelleggörbékről?

- Érthetővé válik, hogy miért van szükség sebességváltóra a motorokban. Ha csak az 1. fokozat lenne, akkor 70 km/h fölé nem gyorsulna a jármű. Ha csak a legnagyobb fokozatunk lenne, igen nehezen tudnánk elindulni. Azért indulunk 1-es fokozatban, mert így kb. 5-ször nagyobb nyomaték biztosítható, mint a legnagyobb sebességfokozatban.
- Előzés megkezdése, illetve hegymenet megkezdése előtt célszerű egy sebességi fokozattal visszaváltani, mert így nagyobb nyomatékot tudunk biztosítani.
- A jármű akkor gyorsul a legjobban, ha a rá ható, előremutató eredő erő a legnagyobb. Ehhez nemcsak a kereken megjelenő nagy nyomaték kell, hanem az is, hogy a közegellenállás kicsi legyen. Jól látható, hogy alacsony fokozatban, kis sebességek mellett gyorsulnak a járművek a legjobban.
- Gyorsítás közben, bizonyos sebesség elérésekor, valamivel a nyomatékmaximum után érdemes sebességet váltani felfelé. A sebességfokozatok helyes megválasztása esetén gyakorlatilag a görbesereg felső burkológörbéje mentén üzemel a jármű motorja.

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Mivé alakul a benzinben tárolt kémiai energia? (A föld kőolajmezői végesek, és lassan kimerülőben vannak. Tanulságos végigszámolni, mivé alakul az üzemanyagban tárolt energia. Tekintsünk egy 90 km/h sebesség mellett 5,4 liter/100 km fogyasztású, 1000 kg tömegű autót, mely 100 km-t tesz meg. A további adatokat becsléssel állapítsuk meg.)

*Megoldás:* Haladjon a személyautó városon kívül, vízszintes úton, állandó 90 km/h sebességgel. Az autó a 100 km úton elfogyaszt 5,4 liter benzint. A benzin sűrűsége 0,7 kg/l, így az 5,4 liter üzemanyag tömege 3,78 kg.
A benzin égése során kilogrammonként $4{,}7 \cdot 10^7$ J energia szabadul fel. A jármű 100 km-es útja során az üzemanyagból $3{,}78 \cdot 4{,}7 \cdot 10^7\ \text{J} \approx 1{,}78 \cdot 10^8$ J energia szabadul fel.

A motor csak a gördülési és a légellenállás ellenében végez munkát. Számoljuk ki ezeket a munkákat! Aszfaltúton a gördülési ellenállás $\mu_g \approx 0{,}015$, az autó tömege 1000 kg, így a gördülési ellenállás ellenében végzett munka:

$$W_g = \mu_g \cdot F_{ny} \cdot s = \mu_g \cdot mg \cdot s = 0{,}015 \cdot 1000\ \text{kg} \cdot 10\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10^5\ \text{m} = 1{,}5 \cdot 10^7\ \text{J}.$$

A légellenállási erőt az $F = \frac{c}{2} A \rho v^2$ összefüggés adja meg, ahol $c = 0{,}3$ a gépkocsi alaki tényezője, $A = 2{,}5\ \text{m}^2$ az autó sebességére merőleges keresztmetszet (az úgynevezett homlokfelület), $\rho = 1{,}3\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ a levegő sűrűsége, $v = 90\ \frac{\text{km}}{\text{h}} = 25\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ a jármű sebessége.
A légellenállási erő ellenében végzett munka:

$$W_l = F \cdot s = \frac{c}{2} A \rho v^2 \cdot s = 0{,}15 \cdot 2{,}5\ \text{m}^2 \cdot 1{,}3\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(25\ \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 10^5\ \text{m} \approx 3 \cdot 10^7\ \text{J}.$$

Az autó 100 km-es úton történő mozgásához $W = W_g + W_l = 4{,}5 \cdot 10^7$ J mechanikai munkavégzésre van szükség.

Az autó a befektetett $1{,}78 \cdot 10^8$ J energiából $4{,}5 \cdot 10^7$ J energiát hasznosított, ami az üzemanyag energiájának kb. 25%-a. A befektetett energiának a nagyobb része közvetlenül hővé alakult, ami veszteségként jelentkezik. (Vegyük észre azonban azt is, hogy az egynegyednyi, úgynevezett hasznos munka szintén hővé válik a gördülési és a légellenállás során!)

## A hatásfok

A hatásfok egy 0 és 1 közötti arányszám, mely megmutatja, hogy a befektetett munka (energia) hányadrésze lesz a hasznos munkavégzés.
A hatásfok jele: $\eta$ (éta).

$$\eta = \frac{W_{\text{hasznos}}}{W_{\text{befektetett}}}.$$

A hatásfokot sokszor százalékos alakban adjuk meg. Ilyenkor a hatásfok mindig 0% és 100% közé eső érték.

## Tőled függ!

Lejtőn lefelé haladva – a gázpedált nem nyomva – nem ajánlatos üresbe váltani, mert így kikapcsoljuk az úgynevezett motorféket. Ha nem nyomjuk a gázt, és a motor valamilyen sebességfokozatban van (lehetőleg egy alacsonyabb fokozatban, ahol nagy a fordulatszáma), akkor a mai autókban nem jut üzemanyag a motorba, és eközben a motor fékezi a lejtőn lefelé haladó gépkocsit. Ez nemcsak a fékek kopását, túlmelegedését gátolja, hanem biztonságosabbá is teszi a haladást. (Ha túl forró lenne a fék, akkor felforrna rajta az olajszennyezés, ami egy légpárnát hozna létre, és nulla lenne a fékerő.) A mai, modern gépkocsik ilyen helyzetben automatikusan teljesen kikapcsolják a motor benzinadagolását, vagyis takarékosabbá teszik az autózást. A régebbi kocsikban ilyen szerkezet nincs, így is csak kb. 2 l/100 km az autó fogyasztása lejtmenetben.

A motor teljes kikapcsolása viszont életveszélyes lehet, mert akkor ugyan nulla lehet a fogyasztás, de kikapcsolt motor mellett sem a fékrásegítő, sem a kormányzást segítő berendezések nem működnek. Sőt, ha ilyenkor bekattan a kormányzár, akkor az autó teljesen irányíthatatlanná válik.

## Hallottál róla?

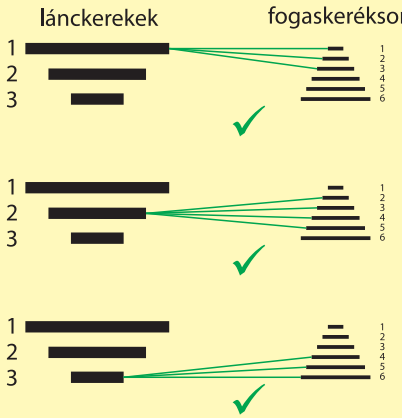
A Formula–1-es versenyautók magas, 7-8 ezer fordulat/perc fordulatszámon működnek optimálisan, szemben a személygépkocsik 3 ezer fordulat/perc optimális fordulatszámával. A versenyző pilóták nem sebességváltó kar, hanem a kormányon elhelyezett gomb segítségével tudnak magasabb vagy alacsonyabb fokozatba váltani.

## Tőled függ!

A kerékpár ülése alatt lévő tengelyen több, különböző méretű lánckereket, a hátsó tengelyen pedig fogaskeréksort találunk. A lánckereket a hajtókar és a pedál segítségével hajtjuk, a forgatónyomatékot a lánc juttatja el a hátsó kerékhez.

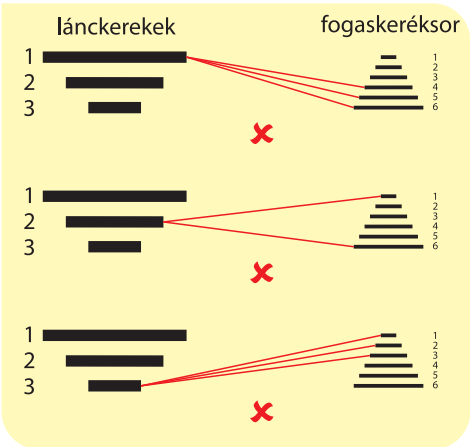
A kerékpározást megkönnyíti a váltó használata. A láncot egy kisebb lánckerékre mozgatva a pedálozás könnyebbé válik (lefelé váltás). A láncot egy nagyobb lánckerékre váltva a pedálozás nehezebbé válik (felfelé váltás). A hátsó keréknél fordított a helyzet. A legnagyobb (hátsó) fogaskerék és a legkisebb (első) lánckerék együttes használata a legmeredekebb emelkedőkhöz alkalmas. A legkisebb hátsó és legnagyobb első kombináció pedig a legnagyobb sebességhez.

Hová válthatsz a folyamatos haladásnál?




## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Keresd meg az interneten, hogy tavaly melyik gépkocsi nyerte az év autója címet! Hány lóerő, illetve hány kW a teljesítménye? Mekkora a maximális nyomatéka?
2. Milyen előnyei és milyen hátrányai vannak a nagyobb teljesítményű, nagyobb nyomatékú személygépkocsi megvásárlásának?
3. A kerékpárral való kényelmes haladáshoz elengedhetetlen a váltók helyes használata. Miért nem helyes a képen látható keresztbe váltás?




4. Ha túlmelegedik a fék, akkor jelentősen csökken, esetleg meg is szűnhet a fékerő. Miért?
5. Mozgásba lehet-e hozni az autót 2-es sebességfokozatban?
6. Lejtmenetben miért nem szabad üresbe rakni az autót? Milyen nem kívánt hatása lehet ennek? Milyen veszélyek rejlenek lejtmenetben a motor teljes kikapcsolásában?

## Hallottál róla?

A **Stringbike** kerékpár egy új magyar szabadalom. Az új technológiának köszönhetően a kerék meghajtásánál nem használnak láncot. Páratlanul könnyű és puha hajtási élményt kapunk az új szimmetrikus hajtási rendszernek köszönhetően.

## NE FELEDD!

**Az erők forgató hatását a forgatónyomaték jellemzi:**

Forgatónyomaték = (erő) · (erőkar), $M = F \cdot k$.

**A motorok alaptulajdonságait a forgatónyomaték-fordulatszám és teljesítmény-fordulatszám görbék jellemzik.**

**A jármű biztonságos és takarékos működését a megfelelő sebességfokozat használata biztosítja.**

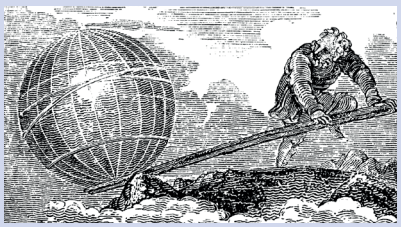
**A hatásfok:** $\eta = \frac{W_{\text{hasznos}}}{W_{\text{befektetett}}}$.

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Az 1 kg tömegű vödörrel 12 liter vizet tudunk a kútból felhúzni. Mekkora a vízkiemelésünk hatásfoka? (A vödröt tartó kötél tömege csekély.)
2. Lehet-e 1-nél (100%-nál) nagyobb hatásfokú motort, gépet készíteni? Miért?
3. Végezzünk becslést arra vonatkozóan, hogy egy kerékpáros mekkora gyorsulással képes vízszintes úton elindulni! A kerékpáros tömege 60 kg, a kerékpáré 15 kg. A hajtóerő legyen a hajtó súlyának a fele. A meghajtott kerék sugara kétszerese a hajtókar hosszának. Számít-e az, hogy a biciklilánc éppen mely fogaskerekeken van?
4. Egy 60 lóerős, 900 kg tömegű autó csúcssebessége vízszintes egyenes pályán 160 km/h. Mekkora közegellenállási erő hat ekkor az autóra? Mekkora lesz az 1200 kg tömegű gépjármű lassulása abban a pillanatban, amikor lábunkat levesszük a gázpedálról és benyomjuk a kuplungot?
5. Mi szab határt annak, hogy egy autó gyorsulása tetszőlegesen nagy legyen? Mi szab határt annak, hogy egy autó sebessége tetszőlegesen nagy legyen?

# 2. | Az egyensúly feltétele

*Világunkban minden mozog. Ennek ellenére sokszor nyugalomra vágyunk. Az egyensúlyban lévő tárgyak nyugalmi állapota viszonylagos, a kiszemelt test általában a közvetlen környezetéhez képest van nyugalomban. A tartós nyugalmi helyzethez egyensúlyra van szükség, aminek a vizsgálatával már Arkhimédész is sikeresen foglalkozott a Kr. e. III. században.*



## Pontszerű test egyensúlya

Azonos hosszúságú fonalak egy-egy végét rögzítsük egy testhez! A fonalak másik végét fogva a test nyugalomban marad. Most a fonalak felső végét, azonos magasságban, lassan távolítsuk egymástól! Egyszer csak a fonalak elszakadnak. Mi lehet a jelenség hátterében?

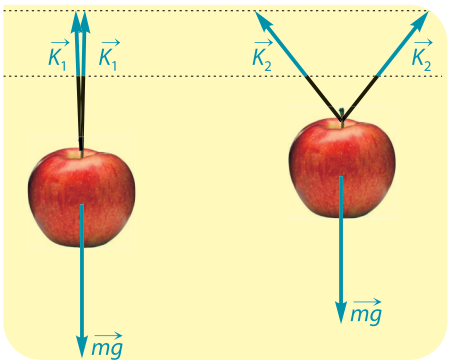
A vizsgált testre az *mg* nehézségi erő és a két fonálban fellépő *K* fonálerő hat. Szimmetrikus elrendezés esetén a fonálerők egyforma nagyok. Amikor a fonalak párhuzamosak, az ábrán látható két $K_1$ fonálerő felfelé, az *mg* nehézségi erő lefelé mutat.

A test nyugalomban van, gyorsulása nulla, ennek dinamikai feltétele, hogy a testre ható erők eredője nulla legyen:

$$\Sigma\vec{F} = 0,$$

$$2 \cdot \vec{K}_1 - \vec{mg} = 0,$$

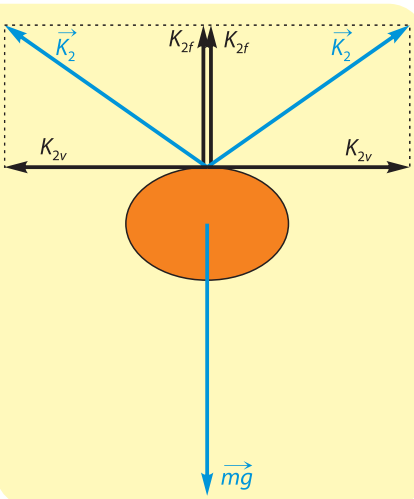
$$K_1 = \frac{\vec{mg}}{2}.$$




Amikor a fonalak felső végét lassan távolítjuk egymástól, a test nyugalmi állapota megmarad, a gyorsulása továbbra is nulla, melynek dinamikai feltétele, hogy a testre ható erők eredője továbbra is nulla legyen. Most viszont a testre ható erők nem azonos irányúak, hatásvonaluk különböző. A két szimmetrikus $K_2$ fonálerőt bontsuk fel $K_{2f}$ függőleges és $K_{2v}$ vízszintes összetevőkre. A vízszintes összetevők egymás hatását kiegyenlítik, hiszen azonos nagyságú ellentétes irányú erők. Az egyensúly miatt a függőleges erők eredője nulla:

$$\Sigma\vec{F}_f = 0 \Rightarrow K_{2f} = \frac{\vec{mg}}{2}.$$

Minél inkább a vízszinteshez közelít a *K* fonálerő, annál nagyobbnak kell lennie, mert csak így lehetséges, hogy függőleges összetevője mindvégig $\frac{\vec{mg}}{2}$ maradjon. A két fonál soha nem lehet teljesen vízszintes, mert a fonál véges szakítószilárdsága miatt előbb-utóbb elszakad.




Általános érvényű az a megállapítás, hogy a **pontszerű testek egyensúlyának dinamikai feltétele** az, hogy a testre ható erők eredője nulla legyen:

$$\Sigma\vec{F} = 0.$$

Ekkor a test egyensúlyban van, nem gyorsul, sebessége állandó. Az egyensúlyban lévő test, ha kezdetben nyugalomban volt, akkor úgy is marad. A fizikában akkor is egyensúlyról beszélünk, ha a test nem nyugszik, hanem egyenes vonalú egyenletes mozgást végez.

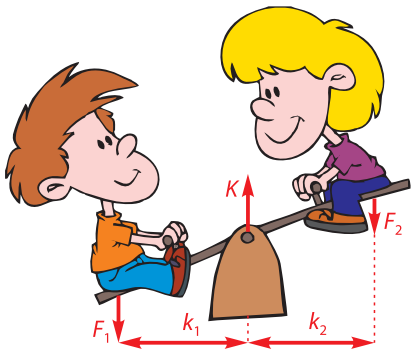
### SZÁMOLD KI!

Azonos hosszúságú fonalak egy-egy végét 40 dkg tömegű almához erősítjük. A fonalak másik végét azonos magasságban tartjuk. Mekkora erő feszül a fonalakban, ha

- a fonalak függőlegesek?
- a fonalak a függőlegessel 60°-os szöget zárnak be?

## Merev test egyensúlya

A mérleghinta kedvelt játék. Hasonlóan működik mint a kétoldalú mérleg. Vizsgáljuk meg egyensúlyának feltételeit. A hintára három erő hat: a gyerekek által kifejtett $\vec{F}_1$ és $\vec{F}_2$, valamint a tengelynél fellépő $\vec{K}$ kényszererő. Ezek eredője nulla kell hogy legyen, hiszen a hinta egyensúlyban (nyugalomban) van, nem gyorsul.




$\Sigma\vec{F} = 0 \Rightarrow F_1 + F_2 = K.$

A hinta viszont a tengelye körül könnyen elfordulhat. A forgás szempontjából a mérleghinta akkor marad egyensúlyban, ha a rá ható erők forgató hatása kiegyenlítődik. A forgató hatást a forgatónyomatékkal vesszük figyelembe: $M = Fk$. Legyen a forgatónyomatékok vonatkoztatási pontja a hinta tengelyének középpontja. Ekkor a $K$ erőnek nulla az erőkarja, nulla a forgatónyomatéka. Az $F_1$ és $F_2$ erők a tengely körül ellentétes körüljárás szerint forgatnának. A hinta forgási egyensúlyának feltétele:

$M_1 = M_2$,

$F_1 \cdot k_1 = F_2 \cdot k_2$.

A kiterjedt testek közül azokat, amelyeknek sem mérete, sem alakja nem változik meg, bármilyen erőhatás is éri őket, **merev test**eknek nevezzük. (Ez persze egy modell, egy jó közelítés, a valóságban nincs ilyen.)

**A merev testek egyensúlyának feltételei:**

**A testre ható erők erdője legyen nulla:** $\Sigma\vec{F} = 0$.

**A testre ható forgatónyomatékok előjeles összege legyen nulla:** $\Sigma M = 0$.

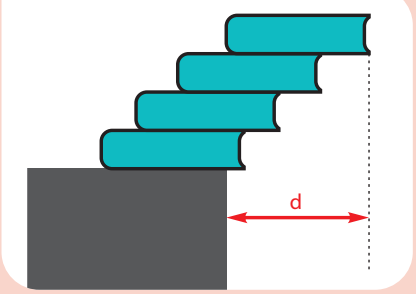
### NE HIBÁZZ!

Amikor a merev testre ható forgatónyomatékokat akarjuk figyelembe venni, nagyon fontos a vonatkoztatási pont kijelölése. Elvileg akárhol kijelölhetjük ezt a pontot, de a gyakorlatban célszerű oda helyezni, ahol ismeretlen nagyságú, illetve irányú erő hatásvonala halad át, mert ennek az erőnek így nulla lesz a forgatónyomatéka a kedvezően kiválasztott pontra vonatkoztatva.

Sok esetben, mint például a mérleghintánál is, a rendszernek (technikai értelemben is) valódi forgástengelye van. Máskor ilyen forgástengely nincs, például, ha egy létrát támasztunk a falhoz. Bármely test egyensúlya esetén, a test akármelyik pontját választhatjuk vonatkoztatási pontnak, vagyis akármelyik pontjára felírhatjuk a forgatónyomatékok egyensúlyát, a forgatónyomatékok előjeles összegének nullát kell kiadni, hiszen a kiválasztott pont körül sem fordul el a test.

### KÍSÉRLETEZZ!

Négy azonos méretű könyvet helyezz el egymáson a képen látható módon az asztal szélén.
El lehet úgy helyezni őket, hogy a legfelső könyv teljes egészében az asztallapon túlra lógjon? Megfigyelési tapasztalatodat ellenőrizd számítással is!




### SZÁMOLD KI!

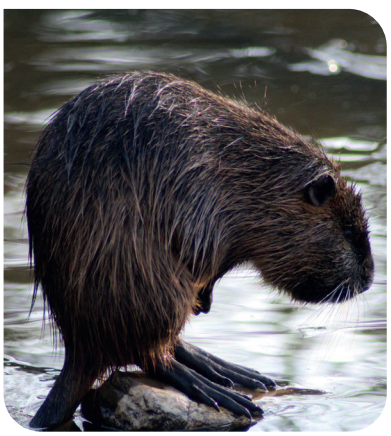
Egy apa gyermekei mérleghintázását szeretné segíteni. András 40 kg, Bea 30 kg tömegű, a mérleghinta teljes hossza 3 méter. A két gyermek a mérleghinta rúdjának két végén ül. Hol és legalább mekkora erőt kell a hintáztatás közben a segítő apának kifejtenie?

### NE HIBÁZZ!

Az erőkar a vonatkoztatási pont és az erő hatásvonalának távolsága.

### Hallottál róla?

Európa legnagyobb rágcsálói, a folyóparton élő hódok által kidöntött fák többnyire a víz felé esnek. Mi lehet ennek az oka?



A folyóparton növekvő fa több fényhez jut, ha a víz felé hajlik, vagy nagyobb lombkoronát növeszt a víz felé. A hód a termeténél fogva nem képes meghatározni a megrágott fa dőlésének irányát. Viszont amikor a fa törzsét a hód egy helyen már jelentősen körberágta, a fa elkezd a nehezebb, a víz felőli oldalra dőlni. A súlypontja a fatörzs alapkörén kívül van. A meggyengült fatörzsre igen nagy forgatónyomaték hat, és már nem képes megtartani a hatalmas, aszimmetrikus lombkoronát.

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Egy 10 kg tömegű létrát a nagyon sima (súrlódásmentes) falnak támasztunk úgy, hogy a létra 30°-os szöget zárjon be a fallal. Mekkora erővel nyomja a létra a falat, illetve az igen érdes padlót?

*Megoldás:* A létrára három erő hat:

– az *mg* nehézségi erő függőlegesen lefelé mutat,

– a fal által kifejtett $F_1$ nyomóerő vízszintes, hiszen a fal súrlódásmentes,

– a padló által kifejtett $F_2$ erő. Ezt az erőt vízszintes és függőleges összetevőkre bonthatjuk; a függőleges összetevője a padló által kifejtett nyomóerő, a vízszintes összetevője pedig a fal felé mutató tapadási súrlódási erő, ami megakadályozza a létra elcsúszását.

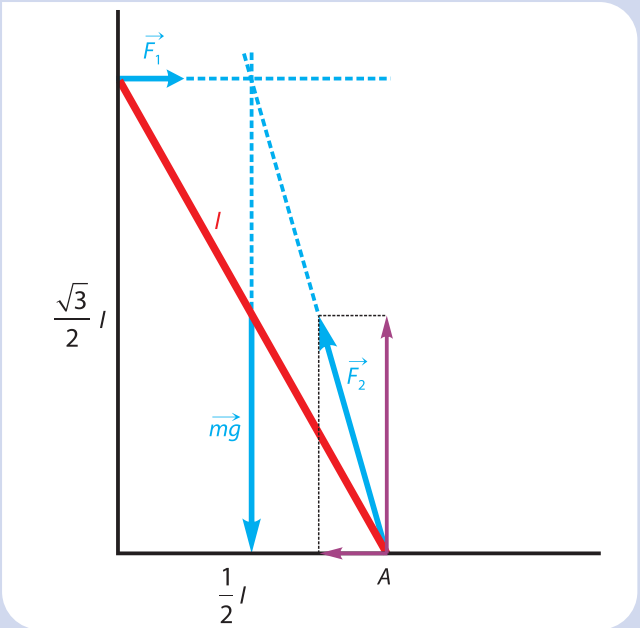
Az erők összegének nullának kell lenni. Ezért a padló nyomóereje egyenlő nagyságú a nehézségi erővel, továbbá a fal nyomóereje megegyezik a tapadási súrlódási erő nagyságával.

A fal nyomóerejét úgy számíthatjuk ki, ha a merev test egyensúlyának két feltétele közül a forgatónyomatékokra vonatkozót alkalmazzuk az *A* pontra:

$\Sigma M = 0$ (*A*).

Azért célszerű az *A* pontot vonatkoztatási pontnak kijelölni, mert az ismeretlen nagyságú és irányú $F_2$ erő hatásvonala áthalad rajta, így az $F_2$ erőnek erre a pontra vonatkozóan nincs erőkarja, nulla a forgatónyomatéka. Az $F_1$ és az *mg* erők *A* pontra vonatkozó erőkarjainak meghatározásánál felhasználjuk, hogy egy *l* átmérőjű, 30°-os derékszögű háromszög kisebb befogója *l*/2, a nagyobb befogó pedig $\frac{\sqrt{3}}{2}l$. Az $F_1$ és az *mg* erők *A* pontra vonatkozó forgatónyomatékai egyenlők:

$$F_1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} l = mg \cdot \frac{1}{4} l,$$




$$F_1 = \frac{1}{2\sqrt{3}} \cdot mg = \frac{\sqrt{3}}{6} \cdot mg = \frac{\sqrt{3}}{6} \cdot 10\ \text{kg} \cdot 10\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 28{,}9\ \text{N}.$$

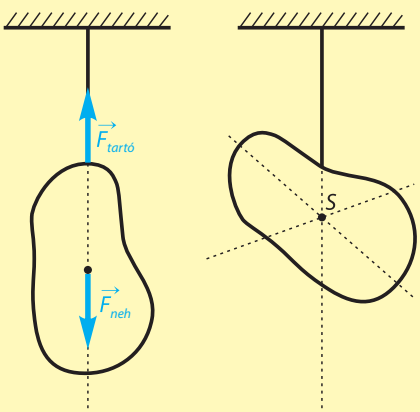
Megállapíthatjuk tehát, hogy az $F_2$ erő vízszintes összetevője (a tapadási súrlódási erő) $F_1$ = 28,9 N nagyságú, míg a függőleges összetevője *mg* = 100 N értékű.

Az $F_2$ erő nagyságát a Pitagorasz-tétel segítségével kaphatjuk meg:

$$F_2 = \sqrt{(F_1)^2 + (mg)^2} = \sqrt{(28{,}9\ \text{N})^2 + (100\ \text{N})^2} \approx 104\ \text{N}.$$

Mindeddig a létrára ható erőket számítottuk ki, viszont ezek ellenerejére vonatkozik a feladat. Tehát a falat 28,9 N erővel, a padlót 104 N erővel nyomja a létra.

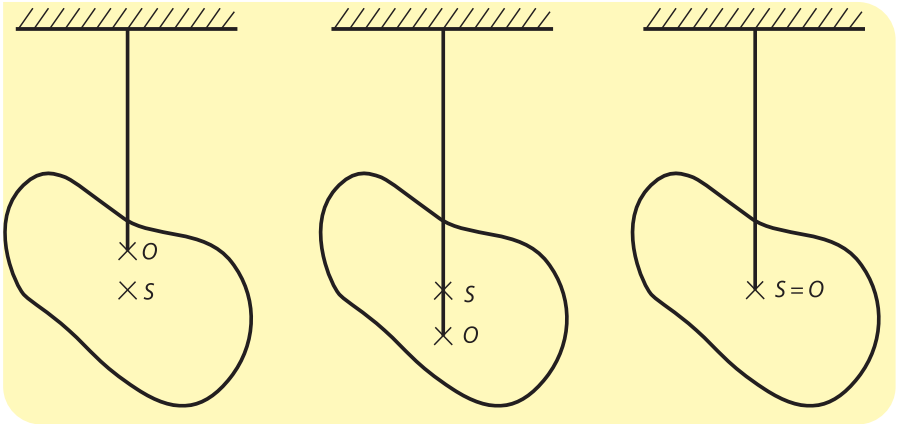
*Megjegyzés:* Az ábrán azt látjuk, hogy az egyensúlyban lévé létrára ható három erő hatásvonalai egy ponton mennek át. Honnan tudjuk, hogy ennek így kell lennie?




## Egyensúlyi helyzetek

A felfüggesztett, nyugvó testre csak két, azonos hatásvonalú erő hat, a nehézségi erő és a tartóerő. A test súlya a tartóerő ellenereje (ilyenkor a felfüggesztésre ható erő a súly). A nehézségi erő és a tartóerő közös hatásvonalát **súlyvonal**nak nevezzük. Minden testnek végtelen sok súlyvonala van, de mind egy ponton, a **súlypont**on halad át. (Megjegyezzük, hogy homogén nehézségi erőtérben a súlypont és az úgynevezett tömegközéppont megegyezik.) A súlypont (illetve a tömegközéppont) úgy viselkedik, mintha a merev test összes tömege abban a pontban lenne koncentrálva.

Ha egy testet egyensúlyi helyzetéből kissé kimozdítunk, majd magára hagyjuk, akkor a test visszatérhet az egyensúlyi helyzetébe, de az is lehet, hogy még messzebbre kerül az előző egyensúlyi állapotától. Ennek alapján osztályozhatjuk az egyensúlyi állapotokat:




**Stabil** (biztos): ha a test visszatér eredeti helyzetébe. A felfüggesztett, stabil egyensúlyi helyzetben lévő test súlypontja legyen a felfüggesztési pont alatt. Ha a testet ebből a helyzetéből egy picit kitérítjük, akkor a rá ható nehézségi erőnek a felfüggesztési pontra vonatkoztatott forgatónyomatéka olyan értelmű, hogy a testet visszaforgatja az egyensúlyi helyzetébe.

**Labilis** (bizonytalan): nem tér vissza, hanem a kitérítés irányába tovább mozog. A felfüggesztett, labilis egyensúlyi helyzetben lévő test súlypontja legyen a felfüggesztési pont felett. Ha a testet ebből a helyzetéből egy kicsit kitérítjük, akkor a rá ható nehézségi erőnek a felfüggesztési pontra vonatkoztatott forgatónyomatéka olyan értelmű, hogy a testet tovább távolítja a korábbi egyensúlyi helyzetétől.

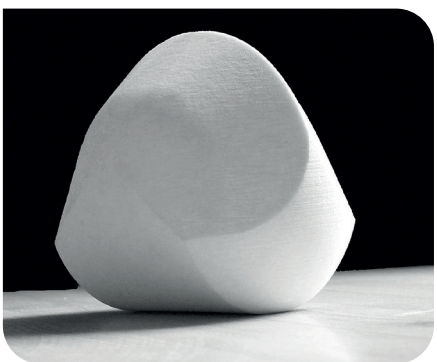
**Indifferens** (közömbös): a test a kimozdított helyzetében marad egyensúlyban. A biztos és a bizonytalan egyensúlyi helyzetben lévő, felfüggesztett testre ható két erő támadáspontja különböző. Ha a testre ható két erő közös támadáspontú, azaz a testet a súlypontjában függesztjük fel, akkor a test közömbös egyensúlyi helyzetben van. A test minden helyzetében érvényes, hogy a rá ható forgatónyomaték nulla.

**Metastabil:** kis kitérés esetén stabil, nagyobb kitérítés esetén labilis egyensúlyi helyzet.

■ Hogyan változik a test helyzeti energiája, ha kitérítjük egyensúlyi helyzetéből?

## KÍSÉRLETEZZ!

Engedd „legurulni” a képen látható V alakú lejtőn a kettős kúpot. Aztán próbáld meg, hátha „felgurul”. Végezd el a kísérletet a V alak különböző nyílásszögeinél! Értelmezd a tapasztalatot! (Papírból készíthetsz kettős kúpot. Hurkapálcából vagy fakanalakból kialakíthatod a V alakú lejtőt.)



■ A gömböc egy olyan homogén háromdimenziós test, melynek összesen csak két – egy stabil és egy instabil – egyensúlyi helyzete van, felfedezői magyarok, Domokos Gábor és Várkonyi Péter

## Hallottál róla?

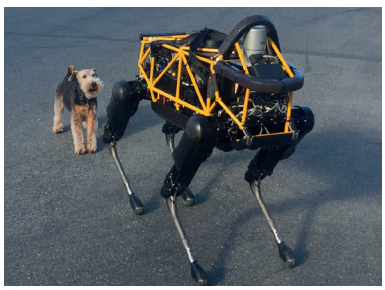
A Formula-1-es versenyautókat a mérnökök a lehető legkönnyebbre tervezik. Ezután nehezékeket rögzítenek a legalacsonyabban lévő helyekre, hogy a jármű súlypontja minél közelebb legyen a talajhoz, mert ekkor a kocsi jobban fekszik az úton, nehezebben borul fel.

## KÍSÉRLETEZZ!

Hozz létre te is egyensúlyi helyzetet a képen látható módon egy villával, egy kiskanállal (vagy két villával) és fogvájókkal! Tudsz még másféle hasonlóan érdekes konstrukciót létrehozni?

## Nézz utána!

A huszadik század második felében indult el fejlődési pályáján a robotika. A robot az ember által írt program szerint, a számítógép felügyeletével olyan munkát végez, ami ember számára veszélyes, vagy unalmas. Robotok dolgoznak termelő üzemek futószalagjai mellett (járműgyártás). Megjelentek a harcászatban (rakéták, drónok), gyógyászatban, közlekedésben (önvezető jármű). Járj utána, hogy mit jelent a mesterséges intelligencia! Beszélgess társaiddal a robotok elterjedésének előnyeiről, hátrányairól!



Kutya és a biomechanikus harcikutya

## NE FELEDD!

**Kicsiny, pontszerű testek egyensúlyának dinamikai feltétele, hogy a testre ható erők eredője nulla legyen:** $\Sigma\vec{F} = 0$.

**Azt a kiterjedt testet, amelynek sem mérete, sem alakja nem változik külső erő hatására sem, merev testnek nevezzük.**

**Merev test egyensúlyának feltételei:**

**A testre ható erők eredője és a forgatónyomatékok algebrai összege nulla:** $\Sigma\vec{F} = 0$ és $\Sigma M = 0$.

**A test által kifejtett súlyerő hatásvonala a súlyvonal. A testek súlyvonalai egy ponton, a súlyponton haladnak át.**

**Négy egyensúlyi helyzetet különböztetünk meg: stabil, labilis, indifferens, metastabil.**

## Nézz utána!

James Watt gőzgépe cséplőgépként használva

Ebben a leckében a mechanikai gépekkel ismerkedtünk meg. A gőzgép a gőz energiáját alakítja mechanikai munkává. Az első gőzgépet Héron építette meg Kr. e. I. században, ami akkor csak érdekesség maradt. A 18. század végén James Watt által megalkotott gőzgép viszont az ipari forradalmat indította el. A gőzgép sok helyen munkába állt: üzemekben, malmokban, szivattyúknál, járművekben. Az elektromos gépek a 19. század végén jelentek meg. Az interneten keresett adatok segítségével hasonlítsd össze a következő gépek teljesítményt, hatásfokát: gőzgép, benzinmotor, dízelmotor, villanymotor.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Ajtók, ablakok kilincsét vajon miért az ajtópántokkal (zsanérokkal) szemközti szélen helyezik el?
2. Milyen trükk használatával mehet végig a kötéltáncos a kötélen biztosítás használata nélkül?
3. Lehet-e egy merev test súlypontja a testen kívül?
4. Egy kacsalábon forgó házat hogyan érdemes megépíteni? Hol legyen a súlypontja?
5. Bizonyos vitorlás hajók fontos része a tőkesúly. Mi a szerepe?
6. Ha a keljfeljancsi bábut kibillentjük egyensúlyi helyzetéből, mindig visszaáll a talpára. Mi lehet ennek az oka?
7. Hogyan áll a keljfeljancsi enyhe hajlásszögű lejtőn?
8. Magyar találmány a Gömböc nevű alakzat. Járj utána az interneten, hogy mi a Gömböc sajátossága! A természetben melyik állatfaj használja ezt a formát? Mi az előnye?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Azonos hosszúságú fonalak felső végeit azonos magasságban tartjuk, a másik végeiket egy 30 dkg tömegű almához erősítjük. Az alma a fonalakon lóg. A két fonál felső végét lassan eltávolítjuk egymástól. A fonalak akkor szakadnak el, amikor pontosan merőlegesek egymásra. Legfeljebb mekkora erőt „bírnak ki" a fonalak szakadás nélkül?
2. A 30 kg tömegű András és az 50 kg tömegű Emma egy 3 méter hosszú, középen tengelyezett hintán mérleghintázik. András a hinta egyik végén ül. Hova üljön Emma, hogy a mérleghinta egyensúlyban legyen?
3. A híd egyharmadánál megáll egy 15 tonnás kamion. Mekkora többletterhelést okoz ez a híd végeinél lévő pilléreknek?
4. Egy 40 kg tömegű gyermek ül a hinta 6 kg tömegű ülésében. Mekkora erővel tudjuk a hintát előre vagy hátra kimozdítani úgy, hogy 45 fokos szöget zárjon be a függőlegessel? A hintára vízszintes irányú erőt fejtünk ki, a hinta kötele nagyon könnyű.
5. Az edzőteremben a 6 kg tömegű, 1,5 m hosszú edzőrúd egyik végére 8 kg, a másik végre 16 kg tömegű súlytárcsát helyezünk. Körülbelül hol érdemes egy kézzel megfogni a rudat, hogy azt billenés nélkül meg tudjuk emelni?

# 3. | Többet ésszel, mint erővel

*Régi magyar közmondás a „többet ésszel, mint erővel”, aminek tömör jelentése egyszerűen ez: gondolkodj! Évezredek óta töpreng azon az ember, hogyan tud egy igen nehéz tárgyat kicsi erővel megemelni.*
*Gondolkodjunk mi is!*

## Emelők vizsgálata

A képen látható lány a két kezével nem tudná megemelni a kutyakölyköket. A talicskával viszont könnyedén szállítja őket. Hogyan lehetséges ez?

A talicskát tekinthetjük merev testnek, ami a kerekének a tengelye körül könnyen forgatható. Vizsgáljuk meg, milyen erők hatnak a talicskára!

A talicskára és a rakományára ható nehézségi erőt jelöljük $mg$-vel, a talaj által a kerékre kifejtett erőt $\vec{K}$-val, az általunk kifejtett erőt $\vec{F}$-fel. A talicska mint merev test akkor van egyensúlyban, ha teljesül rá a következő két feltétel:

$\Sigma\vec{F}=0$ (erőegyensúly), $\Sigma M=0$ (forgatónyomaték-egyensúly).

Az erők egyensúlyára vonatkozó feltételből ez következik:

$\overrightarrow{mg}=\vec{F}+\vec{K}$.

Ebből az egyenletből látjuk, hogy a teher ($mg$) egy részét a lány ($F$), a másik részét a talaj ($K$) tartja. Ez azt is jelenti, hogy a lány $mg$-nél kisebb $F$ erőt fejt ki: $F < mg$.

A másik feltétel, a forgatónyomatékokra vonatkozó egyenlet arra ad lehetőséget, hogy az $F$ erő értékét pontosan meghatározzuk. Válasszuk a talicska tengelyén az $A$ vonatkoztatási pontot. Az $A$ pontra vonatkozóan a $K$ erőnek nincs erőkarja, és így forgatónyomatéka sem. Az $F$ és az $mg$ erők az $A$ pontra vonatkozóan ellentétes körüljárás szerint forgatnának, forgatónyomatékaik azonos nagyságúak:

$F \cdot k_1 = mg \cdot k_2$,

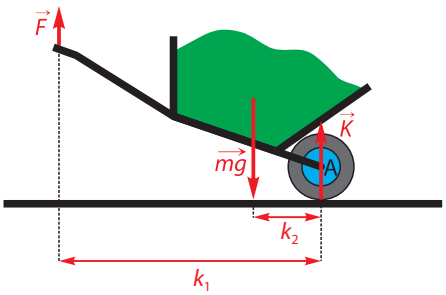
$F=\frac{k_2}{k_1}\cdot mg$.

Mivel a $k_2$ láthatóan kisebb $k_1$-nél, így a rakomány $mg$ súlyánál annyiszor kisebb $F$ erőt kell kifejtenünk, ahányszor a $k_1$ erőkar hosszabb a $k_2$ teherkarnál.

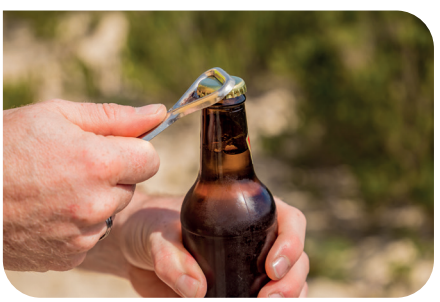
**Egyszerű gép**nek olyan erőátviteli eszközt nevezünk, amely alkalmas egy erő irányát kedvezőbbé tenni vagy nagyságát csökkenteni.

A talicska esetében a teherkar és az erőkar a forgástengelytől nézve egy oldalon van, ezért **egyoldalú emelő**nek nevezzük. Egyoldalú emelő még a feszítővas, a sörnyitó, a képen látható diótörő stb.

Ma már csak látványosság a vidéki élet egyik vízkiemelő szerkezete, a gémeskút. A vízzel telt vödör súlyának egyensúlyozására a gém másik végére nehe-



Feszítővas



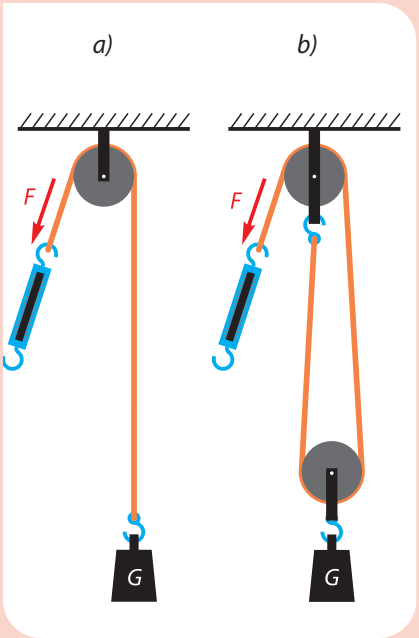
Sörnyitó

Diótörő

zékként követ erősítenek. A gémeskút esetében a teherkar és az erőkar a forgástengelytől nézve két oldalon van, ezért **kétoldalú emelő**nek nevezzük. Az erő és a teher közötti összefüggés egyensúly esetén most is igaz: $F = \frac{k_2}{k_1} \cdot mg$, ahol $k_1$ az erőkar, $k_2$ pedig a teherkar. Kétoldalú emelő még a karos mérleg, a sorompó, a villás evezőlapát stb.

Emelőrendszerű gépek közé sorolhatók a csigák, a csigasorok és a hengerkerék (mely lényegében két egymáshoz rögzített csigából áll), melyeket már az ókorban is ismertek, de használatuk manapság is nélkülözhetetlen.

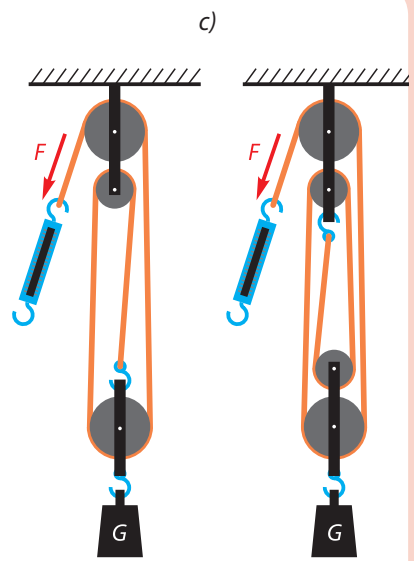
## KÍSÉRLETEZZ!




*a)* Egy rögzített tengelyű állócsigán vess át egy fonalat, melynek egyik végére akassz egy ismert tömegű nehezéket. A fonal másik végére akassz egy rugós erőmérőt, és olvasd le, mennyit mutat a műszer! Változtasd az általad kifejtett erő irányát! Most mennyit mutat a műszer? Fogalmazd meg az állócsiga használatának előnyeit!

*b)* A képen látható módon a fonál egyik végét erősítsd egy állócsiga rögzített tengelyéhez. A mozgócsiga tengelyére akassz egy ismert tömegű nehezéket! A fonál másik végén – egy erőmérő közbeiktatásával – fejts ki *F* erőt. Mérd meg, mekkora *s* úton, mekkora *F* erő hatására tudod a *G* súlyú nehezéket lassan egyenletesen 10 cm-rel megemelni! Fogalmazd meg a mozgócsiga használatának előnyeit!

*c)* Állítsd össze a képen látható csigasorokat is! Mérd meg, mekkora *s* úton, mekkora *F* erő hatására tudod a *G* súlyú nehezéket lassan egyenletesen 10 cm-rel megemelni! Fogalmazd meg a csigasor használatának előnyeit!




## Mit gondoltak régen?

Arkhimédész (Kr. e. III. évszázad) görög természettudós alapozta meg a statikának (vagyis a testek egyensúlyának) a tudományát. Bevezette a tömegpont fogalmát, emelőket, csigasorokat alkotott. A legenda szerint Szürakusza védelmére olyan daruszerű szerkezeteket készített, amelyek egész hajókat képesek voltak felborítani. Neki tulajdonítjuk a következő kijelentést: „Adjatok egy fix pontot, és én kifordítom sarkaiból a világot.”

## Kisebb erővel, ugyanakkora munkával

Az egyszerű gépek egy része arra is alkalmas, hogy a terhet a súlyánál kisebb erővel mozgassuk meg. Természetesen ilyenkor is ugyanakkora munkát végzünk, mint gép nélkül, csak kisebb erőt fejtünk ki hosszabb úton.

Ha súrlódás vagy egyéb okok miatt nincs veszteség egy egyszerű gép működésében, akkor ahányszorosára nő a munkavégzésünk úthossza, annyiszor kisebb erőt kell kifejtenünk a gép használatakor.

Evezőlapát

## A lejtő vizsgálata

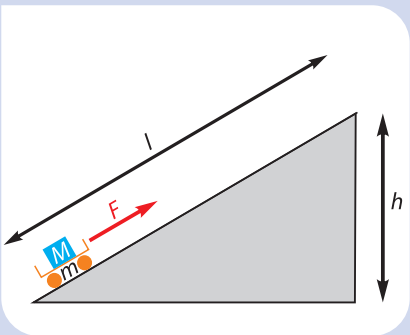
A képen látható két munkás nem tudná megemelni a teli hordót. A deszkából kialakított lejtőt használva viszont sikerül a teherautó platójára juttatniuk. Hogyan lehetséges ez?

A lejtőn hosszabb úton juttatjuk fel a testet a magasba, mintha egyszerűen felemelnénk. Mivel a hasznos munka mindkét esetben ugyanakkora, így a lejtő segítségével a testet a súlyánál kisebb erővel tudjuk felfelé mozgatni ($F < mg$, mert $h < l$). A lejtőrendszerű gépek a **lejtő**, az **ék** és a **csavar**.

### SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Lassan, egyenletesen, egy 10 kg tömegű kiskocsi segítségével toljunk fel az 5 m hosszú, 2,5 m magas lejtőn egy 100 kg tömegű ládát! Mekkora erőt kell kifejtenünk?

*Megoldás:* Vegyük észre, hogy az $F$ erő $l$ úton végzett munkája az $(M + m)$ tömegű testen megegyezik annak helyzetienergia-változásával:




A lejtőn a láda súlyánál kisebb erő elegendő a láda feltolásához

$$W_F = \Delta E_{helyz.}$$

$$F \cdot l = (M + m)gh.$$

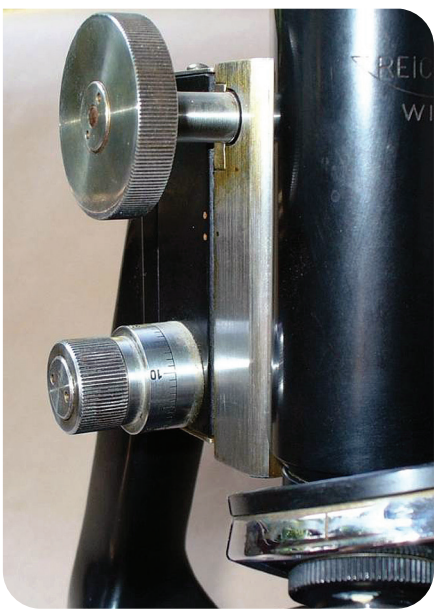
$$F = (M+m)g \cdot \frac{h}{l} = (100\ \text{kg} + 10\ \text{kg}) \cdot 10\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{2{,}5\ \text{m}}{5\ \text{m}} = 550\ \text{N}.$$

Az ék segítségével – ami tulajdonképpen egy lejtő – nehéz testeket lehet kisebb erő használatával megemelni, illetve kitámasztani, sőt akár széthasítani.

A gyakorlatban az egyszerű ék mellett ék jellegű eszköz többek között a kés, a véső és a fejsze.

A csavar egy feltekert lejtőnek tekinthető. Műszerek beállító csavarjaként kicsiny elmozdulást lehet vele létrehozni, például a mikrométer vagy a mikroszkóp beállító csavarjaival. A csavar viszonylag kis erővel való forgatása nagy erőt okozhat hosszirányban.

A csavar végállásban ékszerű módon megszorul, bontható kötéseknél ezt használják ki.



Mikroszkóp beállító csavarja

Nehéz tárgyak helyes és helytelen emelése

### Tőled függ!

Bár fiatalon csak ritkán okozhat problémát a tárgyak felemelése, mégis jó, ha már most odafigyelünk rá.

A legfontosabb szabály, hogy nyújtott lábbal, előrehajolva ne emeljünk nehéz tárgyat!

Ilyenkor olyan erők jelennek meg a gerincoszlopunkban, amelyek a csigolyák közötti porckorongot (kocsonyás anyag) kigyűrik a helyéről.

A gerincünket egyenesen tartva, térdünket behajtva nyúljunk le a felemelendő tárgyért!

## Gondold meg!

Ha valamilyen egyszerű gép használatával kisebb erőt kell kifejtenünk, akkor a hosszabb úton keletkező több veszteség miatt nagyobb lesz a munkavégzésünk ahhoz képest, mintha nem használtunk volna gépet. Ideális esetben, ha mondjuk az út kétszeres, akkor az erő csak feleakkora, azt mondjuk, hogy feleakkora erővel kétszer akkora úton ugyanakkora munkát végzünk. Azonban a valóságban nem ideálisak a feltételek, ezért érdemes néhány esetet részletesen megvizsgálni.

Ha lejtőn tolunk fel egy ládát, akkor a súrlódás miatt nagyobb lesz a munkavégzésünk, mintha egyszerűen felemelnénk. A súrlódást úgy csökkenthetjük, ha a ládát megfelelő kocsira tesszük, így viszont a kocsit is fel kell tolnunk. Mégis megéri a lejtő használata, mert ugyan kissé nagyobb munkát végzünk, de az emeléshez képest jelentősen kisebb erőt kell kifejtenünk.

Ugyanez érvényesül az egyoldalú emelő, mint például a talicska használatakor. Nemcsak a hasznos terhet kell megemelnünk, hanem az emelőt is, mégis sokkal könnyebb az emelés. Ha mondjuk, vízszintes úton toljuk a talicskát, akkor annyi munkát kell végeznünk, amennyit a talicskára ható gördülési ellenállás megkövetel. Ha ezzel szemben kézben szállítjuk a terhet, akkor fizikai értelemben nincs munkavégzésünk. Mégis érdemes talicskát használni, mert a hosszabban, nagyon erősen megfeszített izmaink miatt biológiailag viszonylag hamar kifáradunk.

Azt mondjuk, hogy az állócsiga használatakor csak az erő iránya változik (számunkra kedvezőbb lesz), azonban sem az erő nagysága, sem a munkavégzésünk nem változik, ahhoz képest mint amikor kézben visszük fel a vödröt. Ha például a malterral teli vödröt egyszer kézzel visszük fel az épülő ház tetőterébe a földszintről, máskor meg a tetőgerendához rögzített állócsiga segítségével, akkor lényegében ugyanakkora a munkavégzésünk a vödrön (bár a csiga kicsiny súrlódását is le kell győznünk, de ez általában elhanyagolható). Mégis jobban elfáradunk, mert a kézi szállításkor a saját testünket is fel kell emelnünk, ami jelentősen több energiába kerül, mint a teli vödör felvitele, „tehát a munkavégzésünk hatásfoka kisebb lesz”.

Ha legközelebb edzőteremben jársz, figyeld meg, hogy milyen egyszerű gépeket használnak

## Hallottál róla?

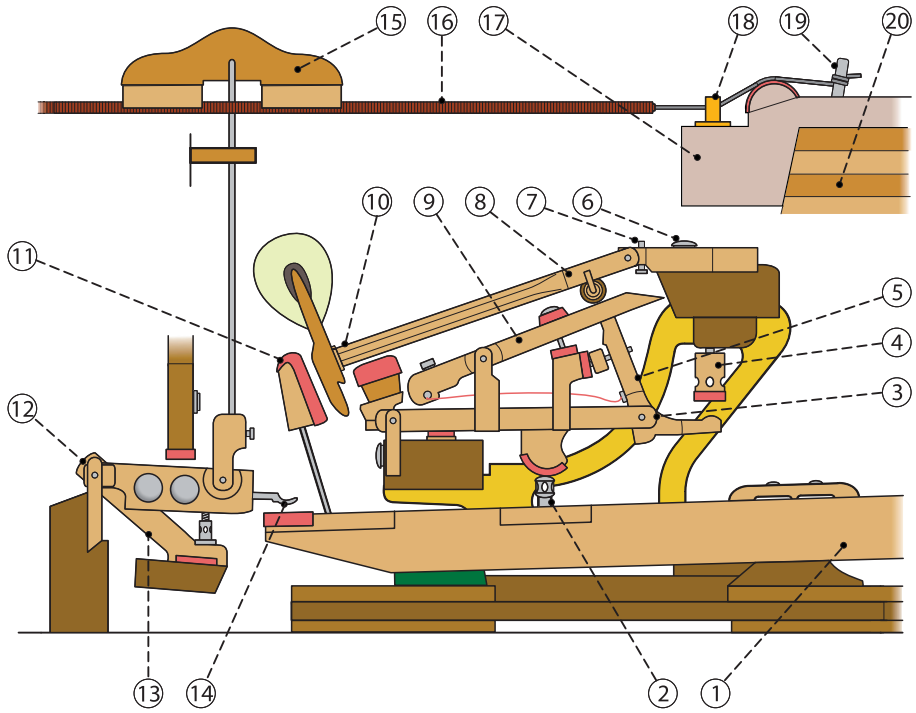
Az edzőtermekben lévő gépek nagy részénél több alkatrész mellett csigák is vannak, amelyek egyrészt a kifejtendő erő irányát (álló csigák) hivatottak megváltoztatni, másrészt változtatható velük az erő nagysága is (mozgó csigák).

A magas hegyekre vezető utakat szerpentinnek (kanyargós útnak) építik meg. Így könnyebb rajtuk felmenni, sőt közönséges gépkocsival csak így lehet átjutni a hegyi hágókon. Gyakran előfordul, hogy meredek emelkedőkön akár egyes sebességfokozatba is vissza kell kapcsolnunk, mert így képes az autó motorja maximális forgatónyomatékot kifejteni. Hosszabb úton és sokkal lassabban tudnak a járművek a szerpentineken haladni, ezért a legforgalmasabb helyeken alagutakat építenek a hegyekben, ezek kialakítása viszont igen drága.

A hegytetőről lefelé a szerpentineken a hegyoldalhoz képest kisebb a lejtés, ezért tudunk viszonylag biztonságosabban lejutni. A lejtőkön felelőtlenül lefelé haladva könnyen felgyorsulhatunk, ami igencsak megnehezíti a következő szerpentinkanyar bevételét. Lefelé haladva is viszonylag alacsony sebességfokozatba kell kapcsolnunk, hogy motorfékkel is hatásosan fékezzük felgyorsulni vágyó gépkocsink mozgását.

A szerpentineken speciális közlekedési táblákkal jelzik előre az út lejtését, illetve emelkedését. Ezek közepén egy lejtő, illetve egy emelkedő látható, továbbá egy százalékos érték. Például 12%, ami azt jelenti, hogy az emelkedőn 100 méter út megtétele során körülbelül 12 métert emelkedünk.

## Hallottál róla?




1 Billentyű
2 Oszlopcsavar
3 Alsó szár
4 Lökőnyelv-szabályozó
5 Lökőnyelv
6 A kalapácstengelytok rögzítőcsavarja
7 Beállítócsavar
8 Kalapácstengely
9 Mérlegnyelv
10 Kalapács
11 Visszafogó
12 Tompító alsótag
13 Tompítóhordozó
14 Kanál
15 Tompító
16 Húr
17 Keret
18 Agráf
19 Hangolószög
20 Tőke

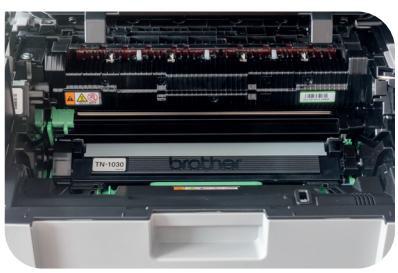
■ A modern angol mechanikás zongora billentyűjének mechanikája

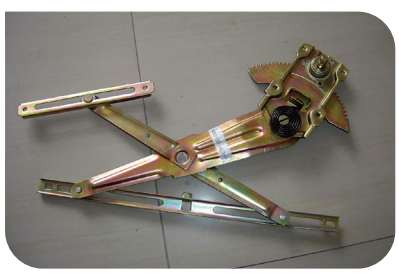
Amikor leütjük a zongorabillentyűt, akkor a két réteg filccel borított fakalapács megüti a húrt, és a hangszer megszólal. Az ábrát nézve a laikus szemlélő számára szinte követhetetlen, hogyan közvetíti a billentyűre ható erőt az emelőkből álló bonyolult rendszer a húrt megütő kalapácsig.

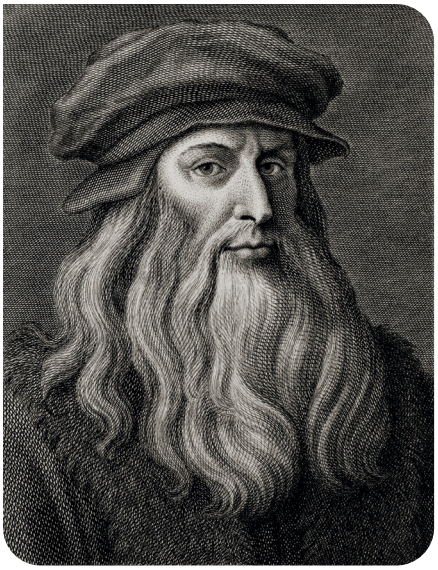
## Gondold meg!

Az egyszerű gépek mai modern eszközeinkben is jelen vannak, azonban sokszor nem látjuk őket, mert valamilyen borítás rejti el látványukat a szemünk elől. Néha nem is sejtjük, milyen bonyolult szerkezeteket alakítanak ki egyszerű gépek kombinációjából.

Az alábbi három képen egy lézernyomtató papírtovábbító szerkezete, egy horgászorsó belseje és egy személygépkocsi elektromos ablakemelője látható. Melyik képen melyik eszköz látható? Hogyan működnek ezek az eszközök?







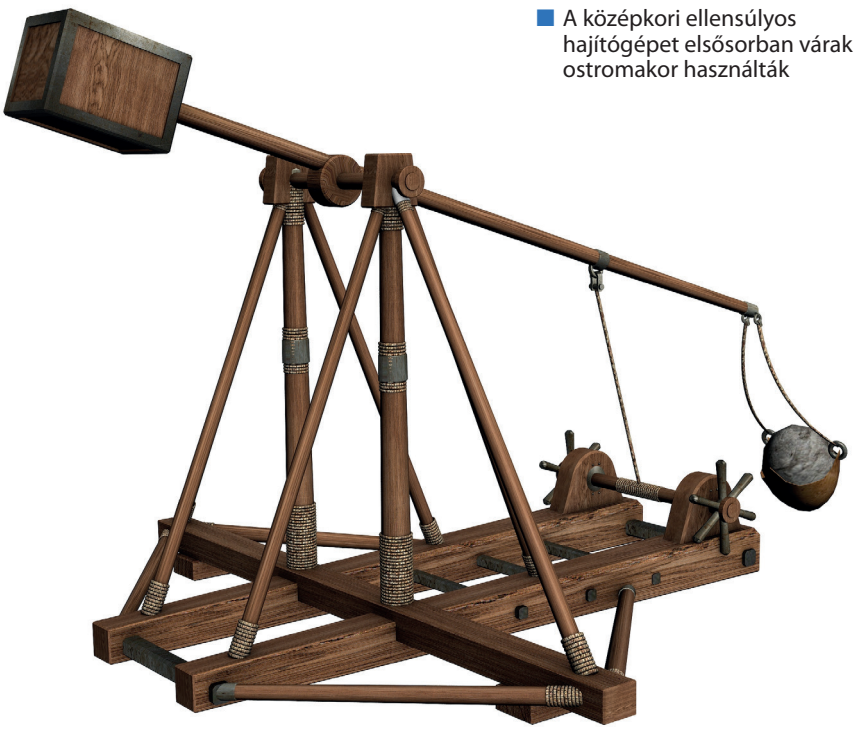
Leonardo da Vinci

## LEONARDO DA VINCI (1452–1519)

*Leonardo da Vincire* elsősorban mint festőre gondolunk, holott ő korának legjelentősebb polihisztora volt. Művészi tevékenysége mellett ismertek matematikusi, hadmérnőki munkái. Az egyik érdekes találmánya egy olyan híd, amit egyenes fadarabokból lehet összerakni, és nincs szükség sem szögekre, sem kötelekre. Egy ilyen „mobilhídat” szükség esetén a középkori katonák gyorsan összeállíthattak egy nagyobb patak felett, majd könnyen szétszedhették, és vihették magukkal tovább.

Építs te is Leonardo-hidat néhány pálcikából!

Leonardo tervezett és készített ostromágyúkat, hajítógépeket. Hadmérnöki vázlatai között találunk repülőszerkezeteket, harckocsit, különleges bombák, és egyéb hadigépek.



A középkori ellensúlyos hajítógépet elsősorban várak ostromakor használták

### NE FELEDD!

**Egyszerű gépek használatával kedvezőbbé tehető a kifejtendő erő iránya, illetve csökkenthető az erő nagysága.**

**A merev testek egyensúlyának feltételei az egyszerű gépekre is érvényesek:**

$\Sigma\vec{F} = 0$ (erőegyensúly),
$\Sigma M = 0$ (forgatónyomaték-egyensúly).

**Egyszerű gépet használva kifejthetünk ugyan kisebb erőt, de hosszabb úton, ideális esetben ugyanakkora munkát végezve, mint gép nélkül.**

**Emelőrendszerű gépek közé tartozik az egyoldalú emelő, kétoldalú emelő, állócsiga, mozgócsiga, hengerkerék, csigasorok.**

**A lejtőrendszerű gépek a lejtő, az ék és a csavar.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Az 1 kg tömegű testet könnyűnek érezzük, mégis súlyzóként lehet vele erősíteni. Hogyan?
2. Gondold végig, hogy a targonca milyen típusú egyszerű gép elvén működik!
3. Járj utána, akár az internet használatával, hogy az archimédeszi csigasornak milyen az összetétele, szerkezete! Milyen erőátvitel jellemzi?
4. A kerekes kút (hengerkerék) „lelke" a közös tengelyű, 30 cm átmérőjű henger és a 80 cm átmérőjű kerék. Mekkora erőt kell kifejtenünk, miközben 20 liter vizet nagyon könnyű kötélen 1 kg tömegű vödörben 15 méter mélyről húzunk fel a kerekes kúttal? Mennyi munkát végzünk eközben?
5. A szerpentinút milyen egyszerű gépnek tekinthető?
6. Nézz körül otthon, milyen egyszerű gépek vannak a lakásotokban!

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Julcsi egy igen könnyű talicskával szeretne eltolni 40 kg tömegű homokot. Egy 10 kg tömegű testet képes a két kezével kényelmesen megemelni. A talicska rakfelülete kb. téglatest alakú, melynek hosszabb oldala ugyanolyan hosszú, mint a talicska nyele. El tudja-e tolni Julcsi a talicskát a 40 kg homokkal?
2. A 21. oldalon lévő fotón egy diótörőt látsz. Vonalzóval mért adatok alapján adj becslést arra vonatkozóan, hogy a diótörő mint egyszerű gép hányszorosára növeli az általad kifejtett erőt!
3. A csónakban lévő evezők hossza 180 cm, a lapátrész hossza 45 cm, a csónak villája 60 cm-re van az evező végétől. Végezz becslést arra vonatkozóan, hogy az evező mint egyszerű gép hogyan változtatja meg az általad kifejtett erőt!

4. Egy 0,5 kg tömegű mozgó csigán 5 kg tömegű test függ. Mekkora erővel tudjuk lassan, egyenletesen 2 m magasra emelni? Mennyi munkát végzünk eközben?
5. Tervezz meg egy olyan csigasort, amivel egy 200 kg tömegű alkatrészt fel tudnál emelni úgy, hogy 500 N nagyságú erőnél nem kell többet kifejtened!
6. A kedvelt mecseki kerékpárút emelkedő része Pécs határában, a tengerszint felett 257 m magasan kezdődik, és 5600 méter út megtétele után, a 464 méter magasságban lévő Remete-réten ér véget. A kerékpáros és a kerékpár együttes tömege 80 kg. Az út meredekségét tekintsük állandónak. A kerékpáros az utat 25 perc alatt teszi meg. Legalább mekkora erő hat az útburkolat és a kerekek között? Mekkora a kerékpáros hasznos átlagteljesítménye?

## Egy amerikai platánfába

*csap a mennykő a képen. Az ilyen fák tipikus magassága 30-40 méter. Ennek alapján becsüljük meg, hogy mekkora lehet a villám fényes kisülési csatornájának vastagsága! Sokan meglepődnek a becslés eredményén, mert sokkal vékonyabbnak képzeljük a villámot a valóságosnál.*

## Villámhárítóval ellátott esernyő!

*Mi a feladata a talajjal érintkező vezetéknek? Hatásos védelmet nyújt ez a megoldás a villámok ellen? (Mindenesetre ne próbáld ki!)*

## Ez aztán gitárszóló!

*Hogyan hozhatják létre a képen látható kisülést? Miért nem sérül meg a gitáros?*

# SZIKRÁK ÉS VILLÁMOK

A Faraday-kalitkában

*lévő emberek teljes biztonságban vannak.*
*És ha kidugnák az ujjukat a rács nyílásain?*

# 4. | Vigyázz, szikrázik!

*Félelmetes tud lenni egy villám. Nemcsak mi, emberek, de még a háziállataink is félnek vihar idején.*

*Igen elterjedt, hasznos eszköz a fényképezőgépen a vaku. Érdekes, hogy a villám és a vakulámpa működése is az elektromosságon alapul.*

*A testek elektromos állapota hétköznapi tapasztalataink közé tartozik, gyakran okozhat meglepetést is számunkra.*

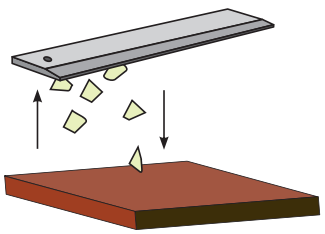
## Elektromos alapjelenségek

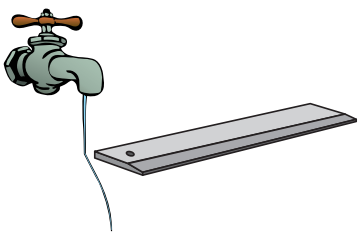
Műszálas pulóverünkből való kibújáskor gyakran hallunk pattogásokat, sötétben még kis szikrát is láthatunk. Az egymáshoz súrlódó műszálas és pamut ruhadarabok összetapadnak, vonzzák egymást. Van, hogy megérintünk egy hétköznapi tárgyat (bevásárlókocsit, gumilabdát, autóból kiszállva a kilincset stb.), és azt érezzük, hogy egy szikra „ugrott” ránk.

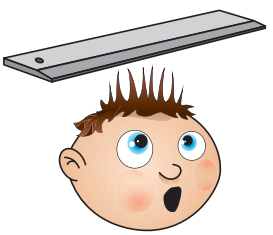
### KÍSÉRLETEZZ!

Műanyag vonalzót dörzsölj meg szőrmével vagy száraz papírral! Közelítsd az asztalon fekvő apró papírdarabkákhoz, vékonyan csordogáló vízsugárhoz, osztálytársad hajához! Mit tapasztalsz?

Különböző minőségű anyagok összedörzsöléskor **elektromos állapot**ba kerülhetnek. Az elektromos állapotú testek a közelükben lévő bizonyos más testekre vonzó-, illetve taszítóerővel hatnak.







### KÍSÉRLETEZZ!

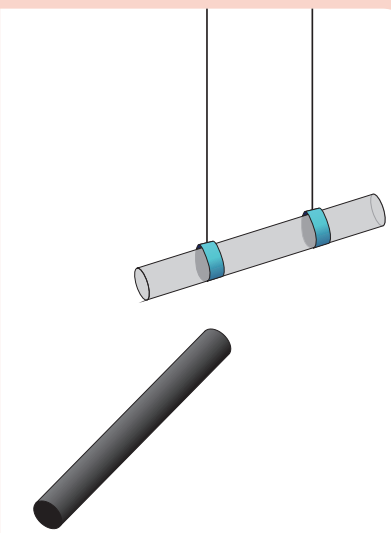
Az ebonitrudat dörzsöljük meg szőrmével, az üvegrudat bőrrel! Az ábrán látható módon függesszük fel egymás után a megdörzsölt testeket! Közelítsünk hozzá egy másik megdörzsölt rudat, illetve a dörzsölőanyagot!

Figyeljük meg a különböző testek között fellépő kölcsönhatásokat! A kísérlet során szerzett tapasztalatainkat könnyen megfogalmazhatjuk:

- Az azonos módon elektromos állapotba került azonos anyagú rudak kölcsönösen taszítják egymást.
- A különböző módon elektromos állapotba került különböző rudak kölcsönösen vonzzák egymást.
- A megdörzsölt test és a dörzsölőanyag kölcsönösen vonzzák egymást.

*Megjegyzés:*

A kialakuló elektromos állapot nemcsak attól függ, hogy a test milyen anyagú, hanem attól is, hogy mivel dörzsöljük meg. Ugyanaz a test kétféle elektromos állapotba is kerülhet attól függően, hogy milyen anyaggal dörzsölik.

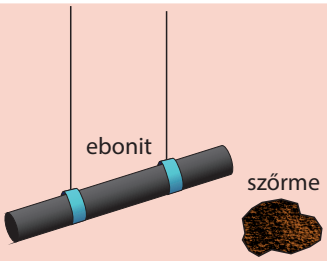


## Az elektromos töltés

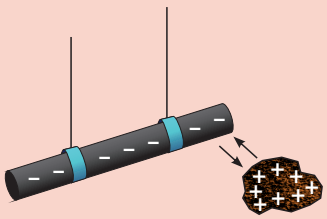
Az elektromos állapotért az **elektromos töltés** felelős. Az elektromos töltés jele *Q*.

Kétféle elektromos töltés van, melyeket **pozitív**nak és **negatív**nak nevezünk. Megállapodás szerint a bőrrel dörzsölt üveg pozitív, a szőrmével dörzsölt műanyag negatív töltésű. Az **elektrosztatika** a nyugalomban lévő elektromos töltések kölcsönhatásával foglalkozik.

Ma már tudjuk, hogy minden anyag atomokból épül fel. Az atom összességében semleges: pozitív atommagból és negatív elektronokból áll. Dörzsöléskor az egyik testről elektronok kerülnek a másik testre. Így lesz az egyik test negatív, a másik pozitív töltésű. Az anyagokban az elektronok különböző erősségű kötésekkel rendelkeznek, ezért dörzsöléskor a testek eltérő mértékben kerülhetnek elektromos állapotba.



összedörzsölés előtt


összedörzsölés után

Dörzsöléskor az elektromos töltéseket csupán szétválasztjuk egymástól. Az elektromos töltés nem semmiből keletkezik, ugyanakkor a már meglévő töltés nem is tűnik el. Az **elektromostöltés-megmaradás törvénye**: zárt rendszer összes elektromos töltése állandó.

Az elektromos állapot ránézésre nem állapítható meg. A kimutatására több eszközt is használnak. Ezek közül a legismertebb az **elektroszkóp**, ami az azonos előjelű elektromos töltések taszításán alapul. Az elektroszkóp többféle változata terjedt el.

Különböző elektroszkópok

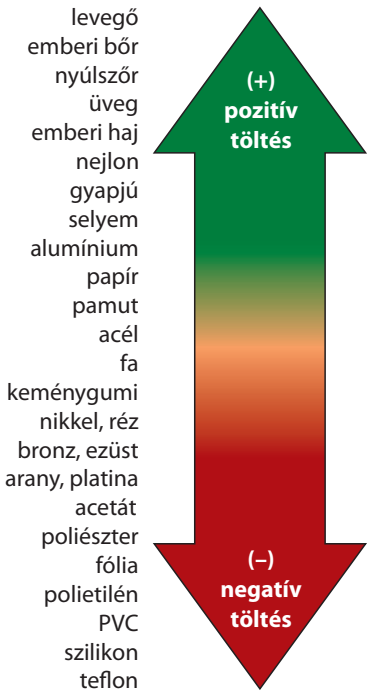
Vannak olyan anyagok, amelyekben az elektromos töltések könnyen elmozdulnak, a töltéseket vezetik, ezeket **vezetők**nek nevezzük. Szabad töltéshordozókat nem tartalmazó anyagok a **szigetelők**.

### FIGYELD MEG!

Egy selyemmel megdörzsölt vonalzó segítségével vigyünk elektromos töltéseket az elektroszkópra. A műszer kivezetőgömbjét érintsük meg különböző anyagokkal: kezünkkel, műanyaggal, száraz fával, nedves fával, üveggel, grafittal, fémmel. Figyeljük a műszer mutatóját, és állapítsuk meg, mely anyag vezeti az elektromos töltéseket, és melyik nem!

### *Hallottál róla?*

Az anyagok eltérő mértékben hozhatók elektromos állapotba. Az alábbi ábrán különböző anyagokat helyeztünk sorrendbe aszerint, hogy dörzsöléskor milyen előjelű és nagyságú elektromos töltés kerül rá.



**dörzselektromossági sorozat**

Az ábrát úgy kell értelmezni, hogy ha két anyagot kiválasztunk a sorozatból és ezeket összedörzsöljük, akkor mindig a listán feljebb lévő lesz a pozitív, míg a másik a negatív töltésű. A töltésszétválás annál erősebb, minél távolabb vannak a listán a kiválasztott anyagok egymástól.

### KÍSÉRLETEZZ!

Te magad is könnyen készíthetsz – akár otthon is – elektroszkópot.

Szájával lefelé fordított műanyag pohárra gemkapocsból állványt erősítünk, melyre egy kettéhajtott alufólia csíkot rögzítünk.

Így például könnyen ellenőrizhetjük egy selyemmel megdörzsölt szívószál elektromos állapotát.

## Tőled függ!

A dörzselektromos szikrák elkerülése miatt régebben benzint csak fémkannába tankolhattak. Ma már a benzinkútnál is lehet kapni olyan műanyag kannát, amelybe lehet tankolni.

Benzin szállítására alkalmas kanna

## NE HIBÁZZ!

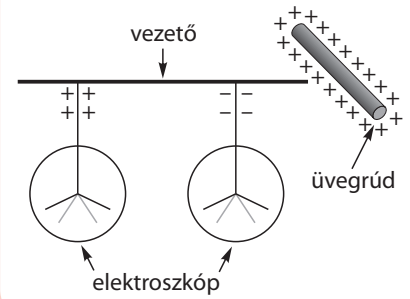
Gyakran tapasztaljuk, hogy a korábban már sokszor bemutatott elektrosztatikai kísérletek egyszer csak nem sikerülnek. Ilyenkor nem szabad azt gondolni, hogy a régóta ismert természettörvények nem igazak. A természettörvények attól még igazak/érvényesek, de a levegő páratartalma jelentősen csökkentheti az elektromos állapot kialakulását, illetve tartósságát. Esős, párás időben, csukott ablakú tanteremben (ahol a diákok a légzésükkel is bepárásítják a levegőt) kérdéses az elektrosztatikai kísérletek kimenetele.

## Elektromos megosztás

Az **elektromos megosztás** az a jelenség, amikor külső elektromos töltések hatására egy vezetőben töltésszétválasztódás jön létre.

### KÍSÉRLETEZZ!

Két elektroszkópot egy fémpálcával kössünk össze! A műszerek ekkor nem jeleznek töltést. Közelítsünk az elektroszkóppárhoz bőrrel megdörzsölt (pozitív töltésű) üvegrudat! Ekkor mindkét műszer töltést jelez, pedig mi kívülről nem vittünk rájuk töltést. Hogyan lehetséges ez?




A magyarázat a következő: a pozitív töltésű üvegrúd maga felé vonzza a vezetőrendszer szabad, könnyen elmozduló elektronjainak egy részét, így az üvegrúdhoz közelebb lévő elektroszkóp negatív töltésű lesz, míg a másik pozitív töltést jelez.

Ugyancsak az elektromos megosztással magyarázhatjuk azt az ismert kísérletet, amikor egy elektromosan töltött rudat apró papírdarabkákhoz közelítünk, és a rúd magához vonzza a papírdarabkákat. Az elektromos megosztás hatására töltésszétválás jön létre a papírdarabkákban. A megdörzsölt rúdhoz közelebbi (ellentétes) töltéseket a rúd nagyobb erővel vonzza, mint amennyire a távolabbi (azonos) töltéseket taszítja, így végeredményben eredő vonzóerő lép fel.

## Földelés

A föld is tekinthető vezető anyagnak. Földelésnek nevezzük azt az eljárást, amikor egy testet fémes vezetővel összekötünk a földdel. Ezzel azt biztosítjuk, hogy a testen ne halmozódhasson fel töltés.

Az elektrotechnikában biztonsági szerepet ellátó földelés jele: ⏚.

Épületeink fontos, nélkülözhetetlen biztonságtechnikai eszköze a villámhárító. Az épület mellett futó villámhárító a földbe vezeti a töltéseket. A villámhárítók hegyes csúcsai bizonyos mértékben „leszívják" a felhők töltését, az épületek élein végigfutó csupasz fémvezetékek pedig arról gondoskodnak, hogy a villámcsapás ne az épületet érje, hanem a villámhárítóba csapjon, és így ne okozzon tüzet

## Hallottál róla?

- A legtöbb csomagolóanyag szigetelőanyagból készül. Ezek gyártásánál elkerülhetetlen a dörzselektromosság megjelenése. Az elektromosan töltött testek vonzzák a port, ami gyengébb gyártási minőséget okoz. A sztatikus feltöltésből származó szikrák kellemetlenek lehetnek a dolgozóknak, és tűzveszélyesek. Mindezek megelőzésére olyan készülékeket használnak, amelyek megfelelő számban juttatnak az üzemcsarnok terébe pozitív vagy negatív ionokat.
- Bizonyos ipari technológiákhoz viszont éppen sztatikus elektromosság szükséges, például elektrosztatikus festékszórás, elektrosztatikus permetezés, elektrosztatikus gáztisztító kamra, leválasztási technológiák.

## NE FELEDD!

**Dörzsöléssel testek elektromos állapotba hozhatók. Az elektromos állapotért az elektromos töltés a felelős, jele: *Q*. Az azonos előjelű töltések taszítják, az ellentétes előjelű töltések vonzzák egymást. Az elektrosztatika a nyugalomban lévő elektromos töltések kölcsönhatásával foglalkozik. Az elektromostöltés-megmaradás törvénye: zárt rendszer összes elektromos töltése állandó.**

**Az anyagok egy része vezető, másik része szigetelő.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A megdörzsölt vonalzó a kezdetben semleges papírdarabkákat magához vonzza. (Ennek oka, hogy a vonalzó töltéseinek hatására a papírdarabkákban a pozitív és a negatív töltések úgy válnak szét, hogy a vonzóerő erősebb lesz, mint a taszítóerő.) Rövid idővel később a vonalzó a papírdarabkák egy részét eltaszítja, egy részét nem. Vajon miért?
2. A legtöbb hálózati csatlakozót ma már védőföldeléssel látják el. A képen hol vannak a földelést biztosító kapcsolati pontok?

3. A játszótéri csúszdázás során előfordul, hogy valamelyik gyereknek „égnek áll" a haja. Mi lehet ennek az oka? Mitől függ, hogy melyik gyereknél fordul elő ez a jelenség nagyobb valószínűséggel?
4. A leckében található dörzselektromossági ábrát használva döntsd el, hogy az alábbi, összedörzsölt anyagpárok tagjai közül melyik lesz pozitív, melyik negatív!

   nyúlszőr – réz  fa – üveg  gumi – alumínium

5. Amikor egy bevásárlóközpont parkolójában kiszállunk az autóból és megérintünk egy bevásárlókocsit, gyakran egy szikra csípi meg az ujjunkat. Értelmezd a jelenséget!

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen anyagszerkezeti magyarázata van annak, hogy a megdörzsölt műanyag vonalzó „elgörbíti" a keskeny vízsugarat?
2. A megdörzsölt műanyag vonalzó „elgörbíti" a keskeny vízsugarat. Mi történik, ha a vizet körömlakklemosóval (aceton) helyettesítjük? Mi lehet ennek az oka? Próbáld is ki!
3. Mi lehet az oka annak, hogy ha égő gyertyát viszünk feltöltött elektroszkóp közelébe, akkor az hamar elveszíti a töltését?
4. Mivel magyarázható az a jelenség, hogy az elektroszkóp már akkor is jelez, amikor a megdörzsölt test közelít hozzá, de még nem érinti meg?
5. Hogyan lehet megállapítani, hogy egy feltöltött elektroszkóp töltése pozitív vagy negatív?

## Mit gondoltak régen?

- Már az ókori görögök észrevették, hogy a borostyánból készült gombok a szőrszálakat magukhoz vonzzák. Thalész az Kr. e. VI. században írta le, hogy a szőrmével megdörzsölt borostyánkő bizonyos könnyű testeket magához vonz, és szikrákat is tud pattintani. Az elektromosság szó a görög elektron szóból ered, jelentése borostyánkő.

- Az elektromos töltések pozitív és negatív elnevezése Benjamin Franklintől származik. Ő azt feltételezte, hogy csak egyfajta, mozgásra képes elektromos töltés létezik, és a töltéstöbbletet nevezte pozitívnak. Tévedése abban állt, hogy a megdörzsölt üvegrúdról gondolta, hogy töltéstöbbletet tartalmaz, ezért ezt hívta pozitívnak. Sokkal később derült csak ki, hogy a szilárd anyagokban a mozgásra képes töltések az elektronok, és a megdörzsölt üveg elektronhiányos. Nem lehetett már mást tenni, mint az elektronok hiányát nevezni továbbra is pozitív elektromos állapotnak, és így lettek az elektronok negatív töltésűek Franklin tévedésének köszönhetően.

# 5. | Hogyan működik a fénymásoló és a lézernyomtató?

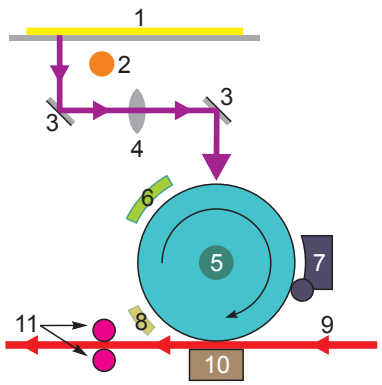
*A szövegek sokszorosítása az ókorban és a középkorban kézírással történt. A papír európai elterjedésével jelent meg a kódex. Az igazi áttörést a könyvnyomtatás felfedezése jelentette: Kínában 1041, Európában 1450 körül. A könyv az élet egyre több területén terjedt el. Ma már hihetetlennek tűnik, de a dokumentumok másolása még 30-40 évvel ezelőtt is nehezen ment: kézzel, indigóval, esetleg stencilgéppel, fényképezéssel történt. A fénymásológép napjaink nélkülözhetetlen eszköze.*

Ma már vagyont érnek a középkorban kézzel másolt könyvek

## A fénymásoló

A fénymásoló működése az ellentétes előjelű töltések vonzásán alapszik. Az analóg készülékeknél a fénymásolat elkészítésének főbb lépései:

- A készülék a bekapcsolást követően pozitív töltéssel tölti fel a berendezés lelkét alkotó hengert (dobot), amit olyan különleges anyaggal (speciális félvezetővel) vonnak be, ami sötétben nem, megvilágítva viszont vezeti az elektromosságot.
- A START gomb lenyomásakor egy lámpa erős fénye végigpásztázza a másolandó dokumentumot. Eközben a henger forog, és a megvilágított papír üres részeiről fényt kap. A nem üres részek elnyelik a rájuk eső fényt, ezért innen nem jut fény a hengerre.
- A henger megvilágított részén a felület vezetővé válik, és ott elveszti a töltését.
- A megvilágított rész így semleges lesz, a sötét rész pozitív töltésű marad.
- A száraz, negatív töltésű festékpor a henger elektrosztatikusan feltöltött részéhez tapad.
- Ezután gördül végig a hengeren a pozitív töltésű papírlap, amelyre a negatív töltésű festékpor rátapad.
- A papír felmelegedése a festék „beégését", rögzülését eredményezi.
- A készülék letisztítja a hengert, és újra pozitív töltéssel látja el a felszínét a következő másolathoz.



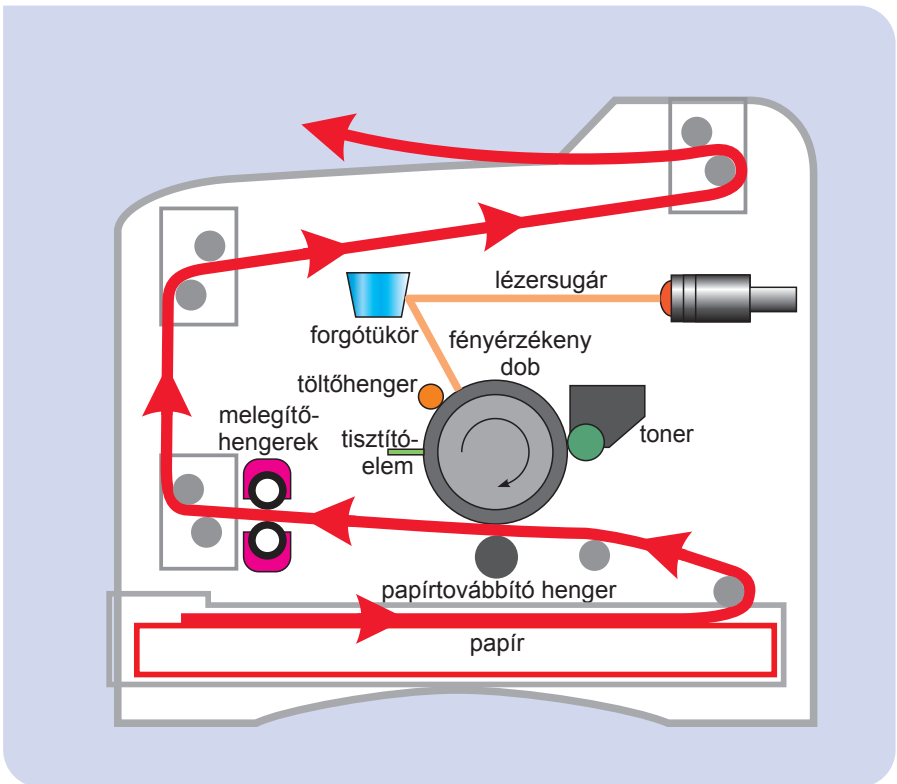

1. másolandó anyag az üveglapon
2. fényforrás
3. tükrök
4. lencse
5. fotokonduktor dobegység (fényérzékeny dob)
6. töltőelem
7. tonerkazetta
8. tisztítóelem
9. papírpálya
10. koronavezetékek
11. beégetőegység

Az analóg fénymásolók nem olyan régi készülékek, de manapság már nem használjuk őket. A múlt század végén már megjelentek a digitális fénymásolók, melyek a másolandó anyagot letapogatják, idegen szóval szkennelik, és az információt digitális formában tárolják. A másolat bennük pontosan úgy készül, ahogy a lézernyomtatóban. Tehát a digitális fénymásoló először szkenner üzemmódban dolgozik, majd lézernyomtatóként. Ha egynél több másolatot kell készíteni, csak egyszer tapogatja le a berendezés a másolandó lapot (nem úgy, mint a régi analóg készülékekben), és miközben elkészíti a másolatokat, már cserélhetjük is az anyagot a bemeneti oldalon (a fejlettebb készülékekben lapadogató dolgozik helyettünk). Ezek a készülékek mind multifunkcionálisak, ami azt jelenti, hogy szkenner, nyomtató, fénymásoló, fotónyomtató üzemmódban is működnek.

Nyomtató és fénymásoló egyben

A lézernyomtató nagyon hasonlóan működik a régi analóg fénymásolóhoz. Néhány különbség:

- A kép forrása a fénymásoló esetében a másolandó dokumentum, a lézernyomtatónál a számítógépen tárolt digitális jelek.
- A hengeren az elektrosztatikus kép a fénymásoló esetén az üres területekről jön létre (fehérírás), a lézernyomtatónál a lézerfény a nyomtatandó betűket, ábrákat rajzolja meg (feketeírás). A fény hatására a henger (dob) nem elveszti a töltését, hanem éppen fordítva, megvilágítás hatására elektronok lépnek ki a henger felületéről (ezt fényelektromos hatásnak nevezzük), és így válik töltötté a henger azokban a pontokban, ahová majd a toner festékszemcséi odaragadnak.




## Hallottál róla?

Ma már nemcsak fekete-fehér lézernyomtatók, fénymásolók léteznek, hanem színesek is. Ezek négy különböző színű száraz festéket (tonerport) használnak: ciánt (kékes szín), magentát (pirosas szín), sárgát és feketét. Vannak olyan készülékek, melyekben egy hengeren négyszer megy végig a papír, és négy részletben kapja meg a végső színt, vannak olyanok is, melyekben mind a négy szín felkerül a hengerre, és utána ezek egyszerre kerülnek a papírra. A legjobb minőségű másolatok úgy készülnek, hogy ezekben a berendezésekben négy henger található a négy szín számára, és a papír ezen a négyes hengersoron fut végig.

Otthoni használatra úgynevezett tintasugaras multifunkcionális készülékeket ajánlanak a gyártók. Ezek ára vonzóan alacsony, és ha csak arra van szükségünk, hogy néha készítsünk egy-egy másolatot, illetve kevés oldalt akarunk kinyomtatni, akkor ezekkel a tintasugaras készülékekkel járunk jól. A lézernyomtatók jelentősen drágábbak, viszont velük sokkal gazdaságosabban nyomtathatunk. Tehát akkor vásároljunk lézernyomtatót, ha nagyon sokat akarunk nyomtatni.

## Coulomb-erő

Az elektromosan töltött testek közötti kölcsönhatás minőségi jellemzése után nézzük meg a mennyiségi leírást!

*Charles Augustin de Coulomb* (1736–1806) francia fizikus 1785-ben végzett mérései alapján fogalmazta meg két ponttöltés között ható erőhatás jellemzőit.

A képen látható Coulomb-mérleg (vagy -inga) légüres terében torziós szálon (nagyon vékony, könnyen elforduló fémszálon) egy szigetelőrúd van, a végein egy-egy fémgolyóval.

A műszer szélén egy vezetőszál alsó végén egy ugyanilyen fémgömb van. Az utóbbi fémgömbre kívülről töltést lehet vinni.

Ezt a töltést – megfelezve – meg lehet osztani a szigetelőrúdon lévő fémgolyóval egyszerű hozzáérintéssel. Az azonos töltésű golyók közötti taszítóerőt a torziós szál elcsavarodásából lehetett kikövetkeztetni.

A golyókra vitt töltéseket Coulomb meg tudta felezni, negyedelni és így tovább.

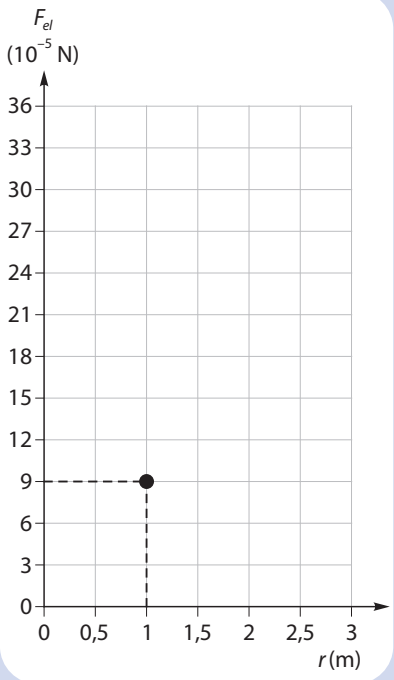
Coulomb-mérleg

## SZÁMÍTSD KI!

Két pontszerű, egymástól 1 méter távolságban lévő, elektromosan töltött test között $9 \cdot 10^{-5}$ N erő hat. Változtassuk meg a ponttöltések közötti távolságot.

*a)* Jelöljük be a grafikonon az egymástól 0,5; 2; 3 méter távolságban lévő testek között ható erők értékét!

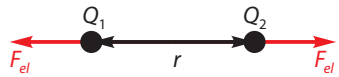
*b)* Kössük össze a grafikonon jelölt pontokat egy törésmentes görbe vonallal!




A mérések alapján megfogalmazható Coulomb törvénye:

Két elektromosan töltött (pontszerű) test között fellépő erő egyenesen arányos a két töltés ($Q_1$, $Q_2$) szorzatával, és fordítottan arányos a köztük lévő $r$ távolság négyzetével:

$$F_{el} \sim \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}.$$




Az arányossági tényezőt $k$-val jelölve:

$$F_{el} = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}.$$

Egyelőre a $Q$ elektromos töltés és a $k$ arányossági tényező egyike sincs pontosan megfogalmazva. Először önkényesen definiáljuk az elektromos töltés egységét:

1 C (coulomb) az a töltés, amely ugyanakkora töltésre vákuumban 1 méter távolságról $9 \cdot 10^9$ N erővel hat.

Most már könnyen megkapjuk a $k$ arányossági tényező értékét vákuumra. Legyen két pozitív elektromos töltés nagysága $Q_1 = Q_2 = 1$ C, a köztük lévő távolság $r = 1$ m. A töltés mértékegységének definíciója szerint a töltött testek között ható erő ekkor $9 \cdot 10^9$ N. Használjuk a Coulomb-törvényt!

$$F_{el} = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}.$$

Fejezzük ki a vákuumban (vagy levegőben) érvényes $k$ Coulomb-állandót:

$$k = \frac{F_{el} \cdot r^2}{Q_1 \cdot Q_2} = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot (1 \text{ m})^2}{1 \text{ C} \cdot 1 \text{ C}} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}.$$

(Az elektromos töltés mértékegység-választásának történeti okai vannak. Kezdetben a $k$ arányossági tényezőt egyre pontosabban mérték, majd végül az értékét rögzítették: $k = 8{,}98755179 \cdot 10^9$ Nm$^2$/C$^2$ ≈ $9 \cdot 10^9$ Nm$^2$/C$^2$.)

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Két kicsiny fémgolyó egymástól 20 cm távolságra van. A köztük ható elektromos taszítóerő $10^{-7}$ N. Mekkora azonos töltéssel rendelkeznek?

*Megoldás:* Adatok: $r = 20$ cm = 0,2 m, $F_{el} = 10^{-7}$ N, $Q_1 = Q_2$

Alkalmazzuk a Coulomb-törvényt!

$$F_{el} = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Használjuk fel, hogy a két töltés egyenlő, majd fejezzük ki $Q$-t!

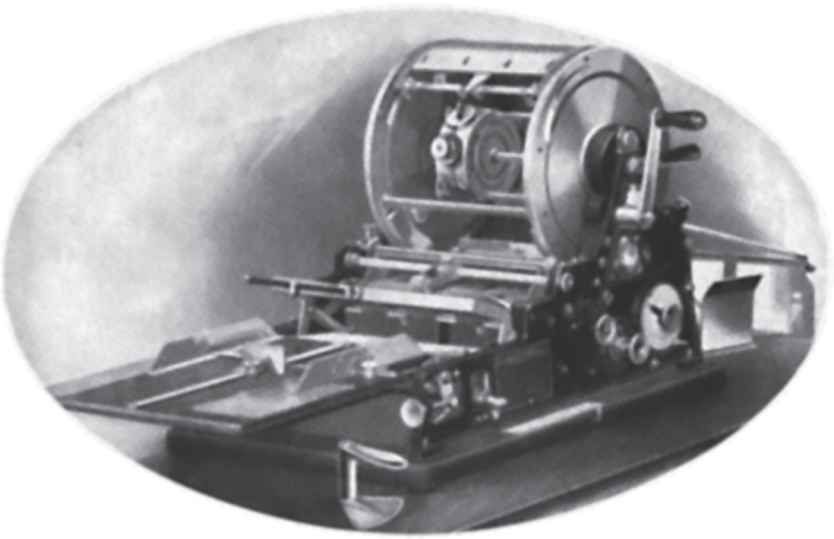
$$F_{el} = k \cdot \frac{Q \cdot Q}{r^2} = k \cdot \frac{Q^2}{r^2}$$

$$Q^2 = \frac{F_{el} \cdot r^2}{k}$$

$$Q = \sqrt{\frac{F_{el} \cdot r^2}{k}} = \sqrt{\frac{10^{-7} \text{ N} \cdot (0{,}2 \text{ m})^2}{9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}}} = 6{,}67 \cdot 10^{-10} \text{ C}$$

## Hallottál róla?

- Elmúlt idők technikája a stencilezés. A sokszorosítandó dokumentumot viasszal bevont papírlapra (stencillapra) gépelték, aminek segítségével rotációs technikával készítettek legfeljebb pár száz, gyenge minőségű másolatot. A stencillapot átütötte az írógép nekicsapódó betűje, és ezeken a lyukakon szivárgott a festék a papírra. Az 1980-as évekig használt technikával sokszorosították az iskolai dolgozatokat, iratokat, étlapokat, szamizdatokat.



Stencilgép 1918-ból

- Az elektromos töltésnek van legkisebb része, egysége. Az elektron elektromos töltése $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, a protoné $+1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, a neutron semleges. Az elektromos töltés egysége: $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, amit elemi töltésnek nevezünk.
- A ponttöltések között ható (Coulomb-) erőtörvény $\left(F_{el} = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}\right)$ nagyon hasonló a testek között ható gravitációs erőtörvényhez $\left(F_{gr} = f \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}\right)$. Viszont amíg a gravitációs kölcsönhatás csak vonzó, az elektromos (azonos előjelű töltések között) taszító is lehet.
- Az 1 C igen nagy egység. Dörzsöléssel elektromos állapotba került testek töltése ennek csak töredéke (1 μC = $10^{-6}$ C, 1 nC = $10^{-9}$ C) lehet.

## NE HIBÁZZ!

Ne feledkezz meg arról, hogy a Coulomb-törvény szigorúan a pontszerű töltések közötti erőhatást írja le! Az egymáshoz közel lévő, kiterjedt testek közötti kölcsönhatást nem tudjuk közvetlenül kiszámolni. Ilyenkor a testen (felszínen) lévő töltéseket sok pici részre osztjuk. A pici töltések már tekinthetők ponttöltésnek, és kölcsönhatásuk leírására használhatjuk a Coulomb-törvényt.

Ha az elektromosan töltött kiterjedt testek távolsága sokkal nagyobb a testek méreténél, akkor az elektromos kölcsönhatás szempontjából a testek tekinthetőek pontszerűnek.

## Tőled függ!

Törekedjünk a takarékoskodásra! Nyomtatásnál a kisebb betűméret választása, a kétoldalas nyomtatás papírt takarít meg.

Az újrahasznosítás jele: a környezettudatos viselkedés egyik eleme a szemét szelektív gyűjtése

## Mit gondoltak régen?

Selényi Pál (1884–1954) fizikaprofesszor leginkább a fénytani kutatásai miatt vált ismertté. Képrögzítési kísérletei igazolták, hogy megfelelő szigetelőn töltéskép hozható létre, melyet elektromosan töltött festékporral láthatóvá lehet tenni. 1935-ben elsőként publikált az elektrosztatikus képátvitel, a xerográfia lehetőségéről.

Járj utána, hogy Selényi Pálnak még milyen témájú kutatásai voltak!

## NE FELEDD!

**A fénymásoló és a lézernyomtató működése az ellentétes előjelű töltések elektrosztatikus vonzásán alapul.**

**A Coulomb-törvény a pontszerű, elektromosan töltött testek közötti erőhatást írja le:**

$$F_{el} = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad .$$

**A $k$ Coulomb-állandó értéke vákuumban vagy levegőben nagy pontossággal $9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$.**

A Coulomb törvényét Charles-Augustin de Coulomb (1736–1806) francia hadmérnök és fizikus fedezte fel

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi az oka annak, hogy a lézernyomtatóval frissen készült fénymásolat meleg?
2. Hány darab elektron rendelkezik összesen –1 C elektromos töltéssel?
3. Hogyan változik két ponttöltés között ható erő nagysága, ha a köztük lévő távolságot felezzük, harmadoljuk, megkétszerezzük, megháromszorozzuk?
4. Az egy protonból és egy elektronból álló hidrogénatom egyetlen elektronja legnagyobb valószínűséggel $r = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m távolságra helyezkedik el a protontól. Mekkora elektromos vonzóerő hat a két részecske között ekkora távolság mellett?
5. Nézz utána, hogyan működtek régen, és hogyan működnek manapság a tintasugaras nyomtatók!

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Coulomb a mérlegében lévő gömbökön hogyan tudta felezni, negyedelni, nyolcadolni az elektromos töltést?
2. Három azonos méretű fémgömb közül bármelyik kettő között elektromos vonzás van. Amennyiben a három gömböt egymáshoz érintjük, majd eltávolítjuk őket egymástól, a továbbiakban nem tapasztalunk elektromos kölcsönhatást köztük. Mit mondhatunk a gömbök kezdeti töltéséről?
3. Számold ki az 1 liter vízben lévő elektronok számát és tömegét! A szükséges adatokat a Függvénytáblázatból keresd ki!
4. Két kicsi, azonos méretű fémgolyó elektromos töltése –20 mC, illetve +60 mC, távolságuk $r_1$. A két gömböt összeérintjük, majd elválasztjuk egymástól. A golyók $r_2$ távolságra vannak egymástól, amikor a köztük lévő elektromos kölcsönhatás ismét akkora lesz, mint korábban $r_1$ távolságban. Mekkora az $r_1 / r_2$ arány?
5. Két kicsi, azonos méretű fémgolyó egyikének elektromos töltése +10 mC. A két gömböt összeérintjük, majd elválasztjuk egymástól, és az eredeti helyükre mozgatjuk őket vissza. Most a két golyó közötti elektromos kölcsönhatás nagysága negyede a korábbinak. Mekkora lehet a másik fémgolyó elektromos töltése?

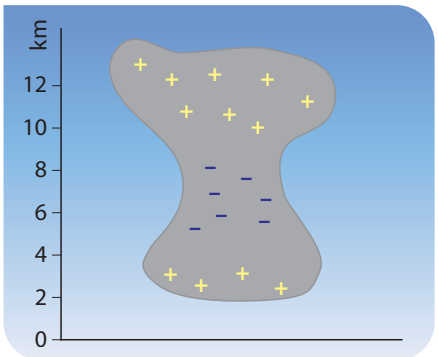
# 6. | Milyen a villámok világa?

## Villámok

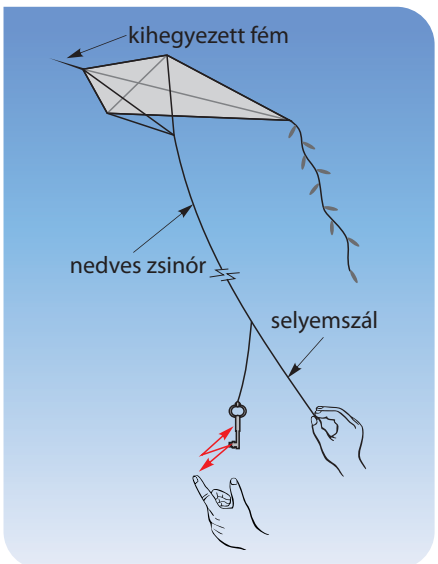
A hevesen feláramló zivatarfelhő vízcseppjei, jégkristályai egymáson való súrlódásos mozgása miatt a felhőn belül sajátos töltéseloszlás alakul ki.

Villámok elsősorban az ábrán látható felhőtípus kiálló részei és a föld között (lecsapó villám), valamint a felhők között (felhővillám) jönnek létre. A **villám** nagy energiájú természetes töltéskisülés, töltéshordozók egyirányú, heves elmozdulását jelenti.

A villámlást sokáig a természet titokzatos és félelmetes jelenségének tartották. Benjamin Franklin feltételezte, hogy a villámlás hatalmas elektromos szikra. Ezt úgy igazolta, hogy 1752-ben papírsárkányt engedett egy zivatarfelhőbe, és sikerült onnan szikrákat vezetnie a felszínre. Ezzel igazolta a villám elektromos jellegét. Franklin a kísérlet során gondosan el volt szigetelve a sárkánytól, mások viszont, mint például Georg Wilhelm Richmann Szentpétervárott, halálos áramütést szenvedtek, miközben a kísérlet megismétlésével próbálkoztak az eredeti kísérlet utáni hónapokban. Franklin elektromosságtani kísérletei vezettek később a villámhárító felfedezéséhez. (Erről a következő leckében tanulunk majd.)



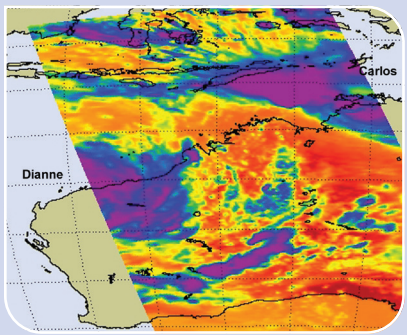

A zivatarfelhőben kialakuló sajátos töltéseloszlás




A legenda szerint így kísérletezett Franklin. Nehogy megpróbáld utánozni, mert halálos villámcsapás érhet!

*A rövid távú (max. 3 órás) időjárás-előrejelzésben fontos szerepe van a távérzékelési eszközök használatának.*

*A műholdképekből és a belőlük alkotott filmből meg lehet állapítani a felhők fajtáit, magasságát, hőmérsékletét, vastagságát, kialakulását, mozgását, feloszlását.*




*A radarképek segítségével a felhőkben található csapadék mennyisége is kimutatható.*

*A zivatarok felismerése a bennük történő villámlás detektálásával a legeredményesebb. A villámlokalizációs rendszer a villámlás helyét és idejét észleli. A villámokat időpontjuk sorrendjében eltérő színekkel jelölik, így a zivatar haladási iránya és sebessége is látszik a térképen.*

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Hogyan tudjuk meghatározni, hogy egy villámlás tőlünk kb. milyen messze történt?

*Megoldás:* A villámlás során egyrészt erős fény, másrészt erős hang (mennydörgés) jön létre. A fényt a gyorsan mozgó töltéshordozók által gerjesztett atomok bocsátják ki. A kisülés hatására felhevülő levegő hirtelen kitágul, ez okoz nagy robajt, mennydörgést.

Az egyszerre születő fény- és hangjelenség különböző időpontokban érkezik el hozzánk. A fény terjedési sebessége kb. 300 millió m/s, a hangé kb. 340 m/s ≈ 1/3 km/s. Látjuk, hogy a két sebesség között 6 nagyságrendnyi eltérés van. A fény terjedési idejével gyakorlatilag nem érdemes foglalkozni.

## Hallottál róla?

„–Tánc, zene nélkül, a fény mögött lemarad a hang

Van a kar a kötéllel és később szólal meg a harang
A villám is elől vágtat
A mennydörgés loholó kutya”
(Kiscsillag: Tánc)

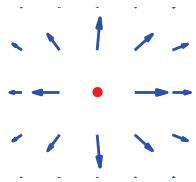
Hányszor szerepel ebben a dalrészletben, hogy a fénysebesség sokkal nagyobb, mint a hangsebesség?

(Párizsból 5 ms alatt érne Budapestre a fény, a hangnak 72 percre lenne szüksége.) Elég a villám felfénylése után azt mérni, hogy mennyi idő múlva halljuk a mennydörgést. Ezt a $t$ időtartamot megszorozva a hang $c$ terjedési sebességével megkapjuk a villám tőlünk mért távolságát:

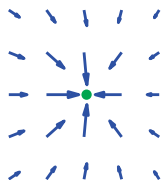
$s = c \cdot t$.

(A $t$ időtartamot lassú számlálással is meg lehet becsülni. Mivel a hang nagyjából 1 km-t tesz meg három másodpercenként, így azt is mondhatjuk, hogy ahányszor három másodpercet számoltunk, annyi kilométerre csapott le a villám. A villám felvillanása rövid, a dörgés gyakran hosszú. Ez azért van, mert egy nagy méretű villám különböző részei nagyon eltérő távolságra vannak tőlünk, és ezekből a pontokból nem egyszerre ér hozzánk a hang. Emellett hangvisszaverődések is nyújtják a dörgés hosszát.)

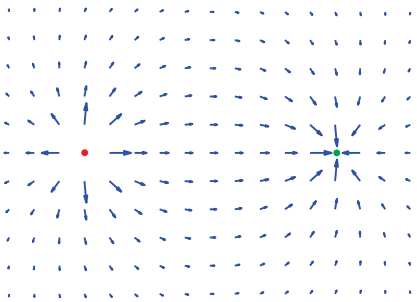
## Az elektromos mező



Az elektromos mező szemléltetése vektorokkal pozitív töltés közelében



Az elektromos mező szemléltetése vektorokkal negatív töltés közelében



Az elektromos mező szemléltetése vektorokkal két azonos nagyságú, ellentétes előjelű töltés közelében (a piros a pozitív, a zöld a negatív töltés)

A különböző töltések akkor is hatnak egymásra, ha légüres térben vannak. Régóta kérdés, hogy hogyan tudnak a töltések távolról, közvetítő közeg nélkül erőt kifejteni egymásra. Michael Faraday brit természettudóstól származik az a magyarázat, hogy a töltött részecskék saját maguk hozzák létre azt a mezőt, amelyen keresztül erőt képesek kifejteni egymásra. Később kiderült, hogy az **elektromos mező** energiát és impulzust hordoz, így anyagi értelemben is létező mezőről beszélhetünk.

Nyugvó töltések esetén a létrehozott mezőt elektrosztatikus mezőnek hívjuk, mivel ez a mező időben állandó. Régebbi szóhasználattal az elektromos mezőt **elektromos tér**nek is nevezzük. Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az elektromosan töltött testek maguk körül elektromos mezőt alakítanak ki, mely közvetíti az elektromos kölcsönhatást a többi elektromos állapotú testnek. Az elektromos mező minden egyes pontját jellemezhetjük a térerősségvektorral. A térerősség jele $\vec{E}$.

A térerősségvektor irányát az adott pontba helyezett pozitív töltésre ható elektromos erő irányával azonosítjuk. A térerősség nagyságának számértéke az adott pontban lévő 1 C töltésű testre ható erő nagyságával egyezik meg. (Természetesen az 1 C nagyságú töltés igen nagy, ekkora töltéssel nem lehet letapogatni a teret. A valóságban csak igen kicsiny töltések alkalmasak az elektromos mező meghatározására, mert ezek az úgynevezett próbatöltések nem változtatják meg a kérdéses rendszer töltéseloszlását.) Tehát az elektromos térerősségvektornak a következő egyenlet adja a meghatározását:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q}.$$

Pozitív próbatöltésnél a térerősség iránya megegyezik a próbatöltésre ható erő irányával, negatív próbatöltés esetén ellentétes vele. Az elektromos mezőt a térerősségvektorokkal szemléltethetjük. A térerősség származtatott mennyiség, mértékegysége:

$$[E] = \frac{[F]}{[Q]} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}.$$

## SZÁMOLJUK KI!

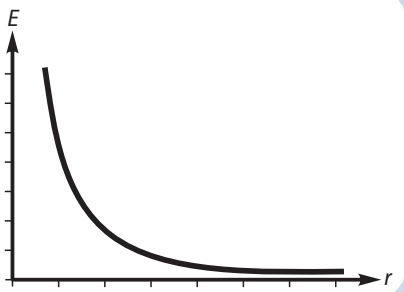
*Feladat:* Határozzuk meg egy pontszerű töltés elektromos terének térerősségét a pontszerű töltéstől vett távolságának függvényében!

*Megoldás:* Alkalmazzuk a térerősséget definiáló összefüggést:

$$E = \frac{F_{el}}{q}.$$

Használjuk fel az egymástól $r$ távolságra lévő $Q$ és $q$ töltések kölcsönhatására vonatkozó Coulomb-törvényt!

$$E(r) = \frac{k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}}{q} = k \cdot \frac{Q}{r^2}.$$

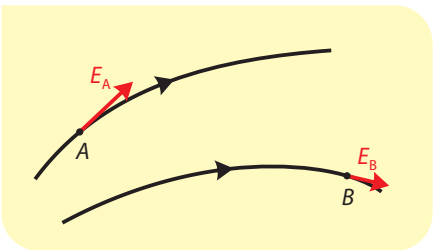



A pontszerű töltés elektromos tere gömbszimmetrikus. A pontszerű töltés elektromos térerőssége egyenesen arányos a teret létrehozó $Q$ töltés nagyságával, és fordítottan arányos a töltéstől mért $r$ távolság négyzetével.

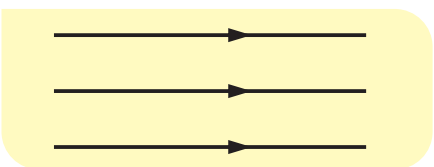
## FIGYELD MEG!

Az alábbi ábrát a füzetedbe másolva rajzold meg a magában álló pozitív, illetve negatív ponttöltés, valamint a dipólus erővonalképét!

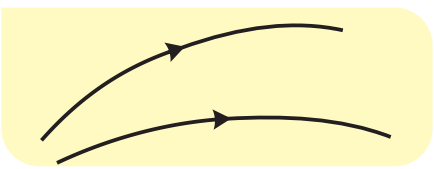
Az elektromos teret vektorok helyett kényelmesebb **erővonal**akkal szemléltetni: ahol nagyobb a térerősség, ott több erővonalat húzunk. Az erővonalak pozitív töltésből indulnak és negatívban végződnek, és így is irányítjuk őket. Az erővonal bármely pontjában húzott érintője az adott pontbeli térerősségvektor irányát adja.




**Homogén** az elektromos tér, ha a tér minden pontjában $\vec{E}$ = állandó. Ilyenkor az erővonalak párhuzamosak, és egyenletes sűrűséggel helyezkednek el.



**Inhomogén** az elektromos tér, ha a tér pontjaiban $\vec{E} \neq$ állandó. Ilyenkor az erővonalak nem párhuzamosak, és nem egyenletesen helyezkednek el.



Megjegyezzük, hogy az erővonalak nem valóságosak, csak a szemléltetést szolgálják, azonban az elektromos mező fizikai valóság.

### Elektromos feszültség

Az elektromos mező azáltal, hogy erőt fejt ki egy töltött testre, munkát képes végezni rajta. Az elektromos tér $A$ és $B$ pontját az $U_{AB}$ **feszültség**gel jellemezzük. A feszültség számértéke az elektromos mező 1 C töltésen végzett munkájával egyezik meg, miközben az $A$-ból $B$-be jut:

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}.$$

Az elektromos feszültség mértékegysége származtatott, és **volt**nak nevezzük:

$$[U] = \frac{[W]}{[Q]} = \frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V (volt)}.$$

## Hogyan volt régen?

A feszültség nértékegységét Alessando Volta (1745–1827) itáliai fizikusról nevezték el.

**NE HIBÁZZ!**

A feszültség a tér két pontját, a potenciál egy pontját jellemzi.

## Tőled függ!

- Nagyon ritka légköri elektromos jelenség a gömbvillám. Laboratóriumi megfigyelése igen nehéz, talán ezért nem alakult ki még elfogadott tudományos leírás a létezésére, természetére. Ezt a hiányosságot használják ki szélhámosok téveszméik hirdetésére.

Gömbvillám egy XIX. századi metszeten

- A villám nem válogat, hogy hol csapjon le. A villámütés elkerülése érdekében zivatar idején igyekezzünk épületbe vagy járműbe jutni. Ha ez mégsem lehetséges, kerüljük a kiemelkedő tereptárgyakat (fa, torony, távvezeték), nagy vízfelületeket! Heves és közeli villámlások idején érdemes az elektromos készülékeink csatlakozóit kihúzni a konnektorokból.

Az $A$ és egy szabadon választott nullpont (ez általában a föld vagy a végtelen távoli pont) közötti $U_{A\infty}$ feszültséget az $A$ pont $U_A$ **potenciál**jának nevezzük. Ez azt is jelenti, hogy a nullpont potenciálja nulla. A potenciál mértékegysége szintén V (volt).

Az $A$ és $B$ pont közötti feszültség megegyezik a két pont potenciáljának különbségével:

$$U_{AB} = U_A - U_B.$$

Az **elektrosztatikus tér konzervatív**, azaz a tér által egy $Q$ töltésen két pont között végzett munka független attól, hogy milyen pályán haladt a töltés az egyik pontból a másikba. Más szavakkal: csak a két pont helyzetétől függ, értékét a két pont potenciálja egyértelműen meghatározza.

**NE FELEDD!**

**A villám nagy energiájú, természetes töltéskisülés. A villámok térbeli és időbeli nyomon követése a zivatargóc haladási irányáról, sebességéről ad felvilágosítást.**

**Az elektromos térerősségvektor az elektromos mező pontjait jellemzi, meghatározása szerint a pozitív egységtöltésre ható elektromos erő nagyságát és irányát adja meg:**

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q}.$$

**Az erővonalakkal az elektromos erőteret tudjuk szemléltetni.**

**Az elektromos tér $A$ és $B$ pontja közötti $U_{AB}$ feszültség számértéke a tér által az 1 C töltésen végzett munka számértékét adja, miközben az $A$-ból $B$-be jut:**

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}.$$

**Az $A$ és egy tetszőlegesen választott nullpont közötti feszültséget az $A$ pont $U_A$ potenciáljának nevezzük.**

**A feszültség és a potenciál mértékegysége V (volt).**

$$U_{AB} = U_A - U_B.$$

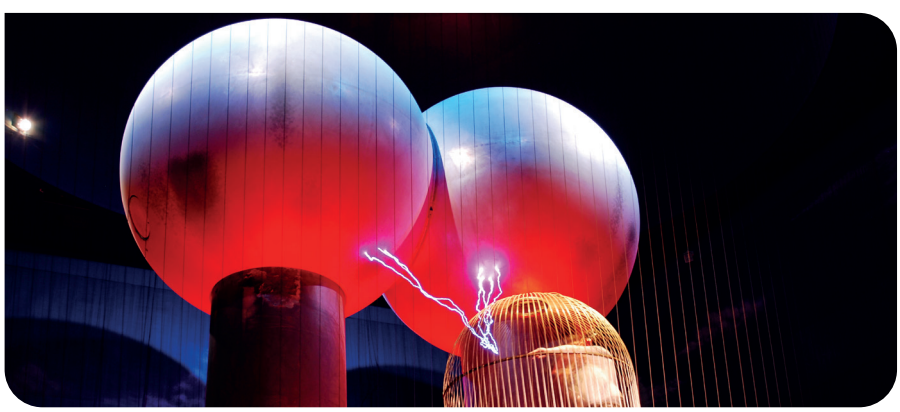
**Az elektrosztatikus tér konzervatív.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Vajon miért főleg nyáron vannak villámok?
2. A villám felfénylését 6 másodperccel követi a mennydörgés. Milyen messze csapott le a villám?
3. Egy $2 \cdot 10^4 \frac{N}{C}$ térerősségű, felfelé irányuló homogén elektromos mezőbe kerül egy elektron. (Az elektron tömege $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg, töltése $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.)
   *a)* Mekkora nehézségi erő hat rá?
   *b)* Mekkora elektromos erő hat rá?
   *c)* Merre fog mozogni? Mekkora gyorsulással?
4. Hogyan változik az elektromos térerősség értéke, ha a pontszerű töltéstől 2-szer, 3-szor távolabb megyünk?
5. Hány joule mozgási energiára tesz szert egy kezdetben álló elektron, miközben az elektromos tér 1 V feszültségű pontok között mozgatja? (Az atomfizikában az 1 eV [elektronvolt] jelöli ezt az energiát vagy munkát.) Mekkora sebessége lesz az elektronnak?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

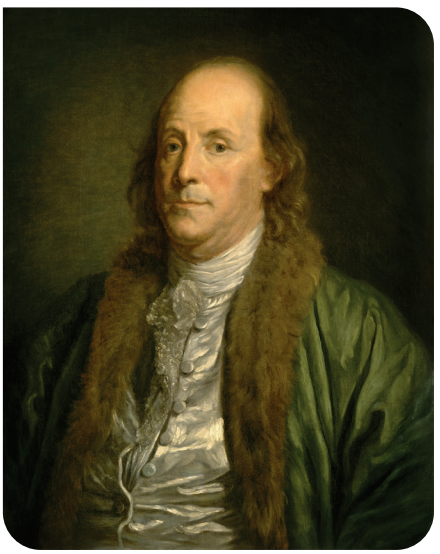
1. Egymás közelében van két +Q töltés. Rajzold meg a töltésrendszer erővonalképét! A rajz elkészítése után keress az interneten olyan szimulációt, amellyel vizsgálhatod a töltésrendszerek erővonalképét, így ellenőrizheted a munkádat. (Pl.: https://phet.colorado.edu/hu/simulations/category/physics) Hol lesz az elektromos térerősség nulla?
2. Egy szabályos háromszög csúcsaiban helyezzünk el három azonos pozitív töltést! Vázoljuk fel a háromszög síkjában, a háromszögön kívül a töltéselrendezés erővonalképét! Hol lesz az elektromos térerősség nulla?
3. Létezik-e olyan erővonalkép, amelyen van olyan (a töltéseken kívüli) pont, amelyen több erővonal halad át? Miért?
4. Egy ponttöltés erővonalképét vizsgáljuk. Hogyan változik az egységnyi felületen áthaladó erővonalak száma, ha a ponttöltéstől kétszer, háromszor távolabb vizsgálódunk?
5. Egymástól *d* távolságra van rögzítve $+Q$ és $-4Q$ elektromos töltésű apró golyó. Hol nulla az elektromos térerősség?
6. Villámcsapáskor a felhő és a talaj között $10^8$ V feszültség is lehet. Mekkora munkát végez az elektromos tér egy egyszeresen töltött ionon? Legfeljebb mekkora sebességre gyorsulna fel egy hidrogénion (proton)? Elérheti-e ezt a sebességet a hidrogénion? Miért?



Van de Graaf-generátor kisülés közben

## Mit gondoltak régen?

- Az elektromos töltés régi – CGS-rendszerbeli – mértékegysége Franklin tiszteletére a *franklin* (Fr) volt: 1 Fr ≈ $3{,}336 \cdot 10^{-10}$ C. A CGS-mértékrendszer a cm, gramm és másodperc (szekundum) alapegységekre épült. A töltést úgy definiálták, hogy 1 franklin töltés 1 cm távolságból egy másik 1 franklin töltésre 1 g·cm/s² = $10^{-5}$ N erővel hat. Érdemes ellenőrizni a franklin átváltását, mert ezzel jól gyakorolhatjuk a hatványokkal történő számításokat és az átváltásokat.



Benjamin Franklin (1706–1790)

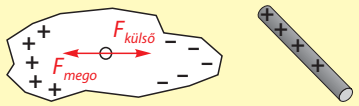
# 7. | Elektrosztatikai jelenségek

*Több természettudományos múzeumnak van olyan közkedvelt terme, ahol hatalmas, látványos szikrákat, villámokat lehet látni, hallani. A mutatvány meghökkentő eleme, amikor egy vállalkozó kedvű látogató egy sűrű szövésű fémkalitkában ülve egész közel kerül a villámokhoz anélkül, hogy baja esne. Michael Faraday (1791–1867) angol fizikus készített először ilyen eszközt, ezért a neve* ***Faraday-kalitka****. Vajon miért nem hatol az elektromos tér a kalitka belsejébe?*

A Faraday-kalitkában álló emberek teljes biztonságban vannak a villámok között

## Elektromos megosztás fémekben és az elektromos mező

A fémekben rengeteg szabad elektron van, melyek elmozdulásra képesek. Ha például egy dörzselektromossággal pozitívvá tett üvegrúddal közelítünk egy fémtárgyhoz, akkor a pozitív töltések negatív töltéseket vonzanak maguk felé, a fémtárgy távolabbi része pedig eközben pozitív töltésű lesz. Az elektromos megosztás töltésszétválasztó folyamata addig tart, amíg a fém belsejében a külső tértől és a szétválasztott töltésektől származó két erő ki nem oltja egymást, vagyis a térerősség nulla lesz. Ehhez rendkívül kis mennyiségű elektron elmozdulása elegendő, ezért szabad szemmel semmi változást nem veszünk észre.

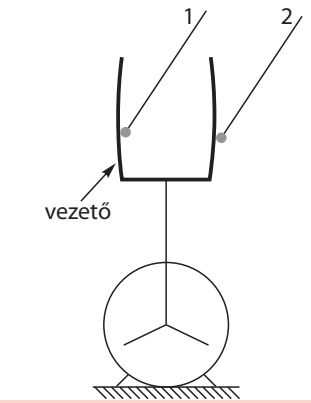



**KÍSÉRLETEZZ!**

Elektroszkóp tányérjára helyezzünk fémpoharat! Adjunk a rendszernek többlettöltést! Szigetelő nyélen lévő fémgömbbel próbáljunk töltést levenni a pohárról, először a belsejéről (1), majd a külsejéről (2)!

Az elektromosan töltött fémpohár belsejéről nem, a külsejéről viszont sikerül töltést levenni.

A fémre vitt többlettöltés mindig a vezető külső felületén helyezkedik el.

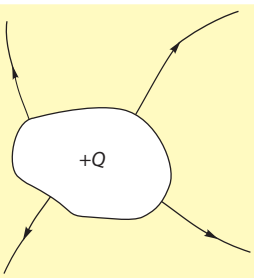



Nyugvó töltések esetén **a vezető belsejében a térerősség mindig nulla**.

## Töltött vezetők

Elektromos **árnyékolás**nak nevezzük azt a jelenséget, amikor az elektromos megosztás hatásaként a vezető belsejében sem többlettöltés, sem elektromos tér nem lehet.

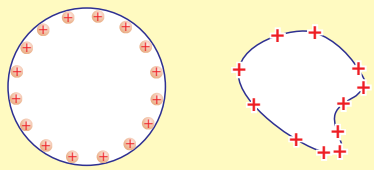
Egy fémtestre vigyünk $+Q$ töltést! A testnek adott többlettöltés nagyon rövid idő alatt – a taszítás miatt – a fém felületén helyezkedik el, ott egyensúlyban van. Jellemezzük a töltött fémtest elektromos terének potenciálját, térerősségét!




Az elektromos potenciál a fémtest minden (belső és külső) pontjában azonos. Ha nem így lenne, akkor a testnek lenne két olyan pontja, amelyek között potenciálkülönbség (feszültség) lenne, a töltések még mozognának.

Az elektromos térerősség a fémtesten belül nulla, a fém felületén merőleges a felületre. Ha nem így lenne, akkor a test belsejében a töltések még mozognának, valamint a felületen lévő térerősségnek lenne a felülettel párhuzamos összetevője, így ott a töltések még szintén mozognának.

A vezetőre vitt többlettöltés általában nem egyenletesen helyezkedik el. Csak a gömbön egyenletes a többlettöltések eloszlása. A szabálytalan alakú test jobban görbült részein sűrűbben vannak a többlettöltések, itt az elektromos térerősség is nagyobb.



**Csúcshatás**nak nevezzük azt a jelenséget, amikor a töltött testek erősen görbült részein, csúcsain igen nagy a töltéssűrűség, és emiatt erős inhomogén elektromos tér alakul ki a csúcsok környezetében.

Az iskolai elektrosztatikai kísérletekhez szükséges többlettöltést, illetve nagy feszültséget gyakran **Van de Graaff-generátor**ral (szalaggenerátorral) állítjuk elő. Működésében szerepet játszik a dörzselektromosság, a földelés, a megosztás és a csúcshatás is.

## KÍSÉRLETEZZ!

- A Van de Graaff-generátor közelébe helyezzünk szigetelő lábon álló, földelt fémgömböt. A töltés beindítását követően hamarosan szikrák jelennek meg. (A száraz levegő átütési feszültsége kb. 21 000 V/cm.) Ha távolítjuk a két gömböt egymástól, akkor ritkábban, de nagyobb szikrák felvillanását láthatjuk.

- Frissen mosott, vékony, puha hajú diák (önként) álljon a szigetelő zsámolyra, és teli tenyérrel fogja meg a generátor előzőleg kisütött fémgömbjét. A generátor bekapcsolásával indítsuk a feltöltést! A diák hajszálai megemelkednek, égnek állnak.

- A Van de Graaff-generátor gömbjére erősítsünk egy tűt, és a közelébe helyezzünk egy égő gyertyát! A bekapcsolt generátor folyamatosan töltéseket szállít a készülék gömbjére. A csúcshatás miatt a hegyes tű környezetében erős elektromos tér jön létre. Ez először megosztással töltésszétválásra kényszeríti a levegőmolekulákat, így magához vonzza, ionizálja, majd eltaszítja őket. Az így kialakuló elektromos szelet a gyertya lángjának elhajlása jelzi. Erős elektromos szél esetén a gyertya elalszik.

- Szintén a csúcshatás következményeként jön forgásba az elektrosztatikus Segner-kerék. A működő generátorról folyamatosan töltéseket juttatunk a Segner-kerékre. A kerék csúcsainál kialakuló elektromos szél visszalökő hatásaként jön forgásba a kerék.

## NE HIBÁZZ!

Az iskolai szalaggenerátorral ijesztően nagy (50–200 kV) feszültség állítható elő, viszont a működése során még szikrázáskor is az áramerősség olyan kicsi, hogy az emberi szervezet számára nem veszélyes, bár kellemetlen tud lenni. A szívritmus-szabályozóval élők természetesen ne próbálják ki!

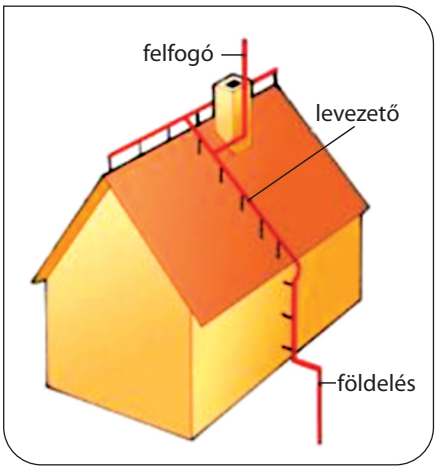
## Mit gondoltak régen?

Az iskolai szalaggenerátor első megalkotójáról, Robert Van de Graaffról (1901–1967), amerikai mérnök-fizikusról kapta a nevét. Az iskolában használt generátorok legfeljebb 200 kV feszültséget állítanak elő. A kutatási céllal épített készülékek akár több millió voltos feszültséget is létrehoznak. Az első magyar részecskegyorsító Van de Graaff-generátort Simonyi Károly mérnök, fizikus építette meg 1951-ben Sopronban.

Segner-kerék

## Tőled függ!

Még abban az esetben is, amikor a villám a villámhárítóba csap, a villám áramának jelentős része az elektromos hálózatba juthat, és túlfeszültséget hozhat létre, ami tönkreteheti elektromos készülékeinket, s tüzet okozhat. Ezért célszerű zivataros időben a csatlakozókat kihúzni a konnektorokból, túlfeszültség-védelmi eszközöket használni.



A Simonyi-féle részecskegyorsító 1 MV (egymillió volt) feszültséget tudott létrehozni. Ezzel a feszültséggel a fénysebesség közelébe (0,94 *c*) gyorsították az elektronokat.

### A villámhárító működése

Benjamin Franklinnak 1752-ben egy papírsárkány zivatarfelhőbe bocsátásával sikerült igazolnia a villám elektromos jellegét. A felhőből szikrákat tudott vezetni a földfelszínre. A kísérlet sikere adta Franklinnak az ötletet a **villámhárító** elkészítéséhez. A villámhárító minden része jól vezető acélból készült. A hegyes felfogót a megóvandó épület tetejére erősítették. A felfogót a földeléssel a levezető kötötte össze. Zivatar idején a nagy (kb. 1–10 C) töltésű felhők a megosztás következtében töltéshordozókat juttattak a felfogóba a földből. A felfogó környezetében a csúcshatás következtében erős elektromos tér, és így elektromos szél alakult ki.

Franklin szerint a villámhárító elsődleges feladata az volt, hogy az elektromos szél által csökkenjen a felhő töltése. Ha a villámlás mégis elkerülhetetlen, akkor az az elektromos szél által kialakított ioncsatornában, a villámhárítón keresztül történjen. Hosszas megfigyelések végül is nem igazolták, hogy hegyes villámhárítókkal hatásosan le lehet szívni a felhők töltését. Ma már az épületeket védő modern villámhárítókban többnyire nincs is csúcs, hanem az épületet Faraday-kalitkaként veszik körül, így nem csap a villám az épületbe.

## Hallottál róla?

- Az autó, repülőgép fémháza is elektromosan árnyékol, megvéd a villámoktól.
- Zivataros időben, amikor a légköri elektromosság erős, a magas hajóárbocok végein a csúcshatás eredményeként elektromos szél, illetve a koronakisüléssel járó fényjelenség (Szent Elmo tüze) jöhet létre. Viharos időben a tengerészek Szent Elmóhoz fohászkodtak.
- A XIX. században elterjedt, hogy a villámhárítót üvegből készült díszekkel vonták be. A dísz vihar utáni törött állapota jelezte a villámütést. Ilyenkor az épületet, villámhárítót átvizsgálták, hogy sérült-e.

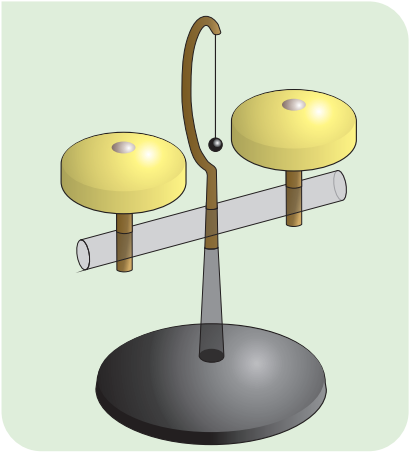
Szent Elmo tüze egy 1886-os illusztráción

### NE FELEDD!

**Elektrosztatikai jelenségek: megosztás, árnyékolás, csúcshatás.**

**A villámhárító fő feladata a villám irányított levezetése, és ezzel az épület megvédése. Ezenkívül a villámhárító a csúcshatás segítségével védi az épületet a villámcsapástól, valamilyen mértékben csendes kisüléssel levezeti a felhők töltését. A villámcsapás másodlagos hatása, a villamos hálózatban fellépő túlfeszültség ellen külön védekezni kell.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK



1. Ha a képen látható elektrosztatikus csengő egyik gömbjére többlettöltést viszünk, akkor a középen, fonálon lógó fémgolyó ide-oda mozgással megszólaltatja a csengőt. Magyarázzuk meg a jelenséget! Miért mozog a fémgolyó sokkal szaporábban a két gömb között, ha a másik gömböt (amelyet nem töltöttünk fel) leföldeljük?
2. Lehet-e egy elektromos töltés terét úgy „árnyékolni", hogy a töltést fémhálóval vesszük körbe, és azt szeretnénk elérni, hogy kívül ne érződjék a töltés hatása?
3. Működne-e a Holdon az elektrosztatikus Segner-kerék? (A Holdnak nincs légköre.)
4. Minden személygépkocsi-típus utastere védelmet biztosít a villámcsapás ellen?
5. Hogyan lehet egyszerű módon hozzávetőlegesen megmérni egy iskolai szalaggenerátor maximális feszültségét?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Az elektromosan töltött testek vonzzák az elektromosan semleges fémtestet. Miért?
2. Elektromos dipólust helyezünk homogén, illetve inhomogén elektromos térbe. Hasonlítsd össze a két esetet dinamikailag!
3. Járj utána, hogyan működik az elektrosztatikus légtisztító!

4. Két gömböt dróttal kötünk össze. Az egyik gömb sugara 20 cm, töltése 10 mC. A másik gömb sugara 10 cm.
   *a)* Mekkora a másik gömb töltése?
   *b)* Hasonlítsd össze a két gömb felületi töltéssűrűségét, illetve felületi pontjainak térerősségét!
   Útmutatás: Egy $R$ sugarú, $Q$ töltésű vezető gömb potenciálja (vagyis a végtelen távoli ponthoz képesti feszültsége) $U = k \cdot \frac{Q}{R}$.
5. A 20 cm sugarú gömbön 1 μC elektromos töltés van.
   *a)* Mekkora a térerősség és a potenciál a gömb középpontjától 10 cm, illetve 30 cm távolságban?
   *b)* Hol lesz az elektromos potenciál 0 V, 9 kV, 45 kV?
   *c)* Hol lesz az elektromos térerősség 0 N/C, 900 N/C, 22,5 kN/C, 45 kN/C?

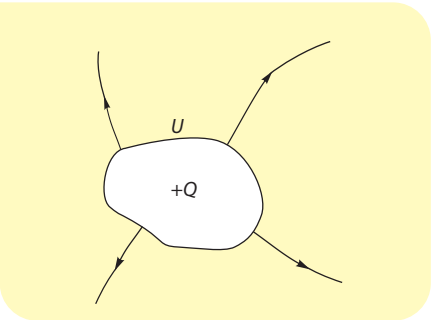
# 8. | Hogyan tárolunk elektromos töltéseket? (kiegészítő anyag)

*A fényképezőgép vakujában lévő elem néhány voltos feszültségét egy elektronikus áramkörrel akár 200 V-ra lehet növelni. Ez már akkora feszültség, hogy néhány másodperc alatt egy megfelelő eszközre elegendő töltést halmozzunk fel. A fényképezés pillanatában ezek a töltések egy villanócsövön hirtelen átrobognak.*

*A hangfelvételek fontos eszköze a mikrofon. Az amerikai Bell Laboratóriumban több mint 100 éve fejlesztették ki, a még ma is használatban lévő, kondenzátor mikrofont. Stúdiókban, legtöbbször akusztikus felvételek elkészítése során használják.*

## A kapacitás

Egy fémtestre vitt $Q$ többlettöltés megváltoztatja a test $U$ feszültségét. A testre vitt $Q$ többlettöltés és az általa okozott $U$ feszültségváltozás egymással egyenesen arányos, vagyis a két mennyiség aránya állandó:




$$Q \sim U \Rightarrow \frac{Q}{U} = \text{állandó}.$$

A vezető testek töltést befogadó képességét a **kapacitás**ukkal tudjuk jellemezni. A kapacitás jele: $C$.

$$C = \frac{Q}{U}.$$

A kapacitás mértékegysége származtatott: $[C] = \frac{[Q]}{[U]} = \frac{\text{C}}{\text{V}}$, vagy röviden F (farad), Faraday tiszteletére. Egy vezető test kapacitásának számértéke szemléletesen azt a töltésmennyiséget adja meg, mely az adott test feszültségét 1 V-al változtatja meg. A kapacitás latin eredetű szó, jelentése befogadóképesség, tárolóképesség.

### SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Egy $R$ sugarú, $Q$ töltésű vezető gömb potenciálja (vagyis a végtelen távoli ponthoz képesti feszültsége) $U = k \cdot \frac{Q}{R}$. Határozzuk meg a gömb kapacitását! Mekkora sugarú az a gömb, amelynek a kapacitása 1 F?

*Megoldás:* Használjuk a kapacitás fogalmát és a töltött gömb potenciálját kifejező összefüggést!

$$C = \frac{Q}{U}.$$

$$C = \frac{Q}{k \cdot \frac{Q}{R}} = \frac{R}{k}.$$

Az imént kapott összefüggésből fejezzük ki a gömb $R$ sugarát!

$$C = \frac{R}{k} \Rightarrow R = C \cdot k = 1\,\text{F} \cdot 9 \cdot 10^9\ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} = 9 \cdot 10^9\ \text{m} = 9 \text{ millió km}.$$

Látjuk, hogy az 1 F általában igen nagy egység, ezért az elektrotechnikában általában a törtrészeit használjuk:

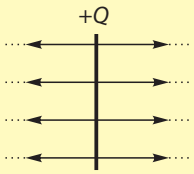
$1\ \text{mF} = 10^{-3}\ \text{F},\ 1\ \mu\text{F} = 10^{-6}\ \text{F},\ 1\ \text{nF} = 10^{-9}\ \text{F},\ 1\ \text{pF} = 10^{-12}\ \text{F}.$

### Hallottál róla?

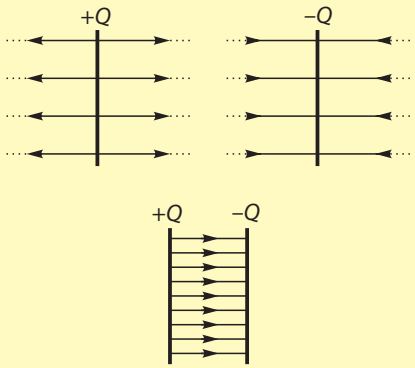
Viszonyításképpen: a Napunk sugara 0,7 millió km, ami kevesebb, mint a tizede az 1 F kapacitású gömb sugarának!

## A kondenzátor

Hogyan lehetne nagyobb töltésbefogadásra képes eszközt létrehozni? Induljunk ki egy nagy felületű, töltött, téglalap alakú vezetőből!

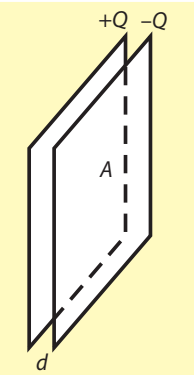



A $+Q$ töltésű fémlap elektromos tere közel homogén, és kitölti a teljes teret.




Ugyanilyen módon vegyünk egy $-Q$ töltésű fémlapot is. A kezdetben egymástól távol lévő $+Q$ és $-Q$ töltésű, azonos méretű sík fémlapokat közelítsük egymáshoz! A két ellentétes töltésű fémlap elektromos tere a lemezeken kívül ellentétes irányú, a két lemez közötti térben viszont egyező irányú. Amikor a két lemezt egymáshoz közel helyezzük el, a lemezeken kívül nem lesz elektromos tér, mert ott az ellentétes irányú terek kioltják egymást. Az elektromos tér csak a két fémlap közötti térben sűrűsödik. A pozitív töltések vonzzák a negatívokat, a negatív töltések pedig a pozitívokat, így azáltal, hogy ebben az eszközben egyszerre tárolunk pozitív és negatív töltéseket, a rendszer töltéstároló képessége, vagyis a kapacitása jelentősen megnő.

Az ilyen (két vezetőből álló) rendszert, melynek egyik tagjára $+Q$, a másikra $-Q$ töltést viszünk, **kondenzátor**nak nevezzük. A kondenzátor szó jelentése: sűrítő. A kondenzátor két tagját fegyverzetnek nevezzük. A kondenzátor áramköri jele: ⊣⊢.




Az imént megismert síkkondenzátor két $A$ területű, egymástól $d$ távolságra álló $+Q$, illetve $-Q$ töltésű fémlapból áll.

Megmutatható, hogy a síkkondenzátor kapacitása:

$$C_{\text{sík}} = \frac{1}{4\pi k} \cdot \frac{A}{d},$$

ahol $k$ a Coulomb-törvényben szereplő állandó. Az egyszerűség kedvéért vezessünk be egy új állandót:

$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$, ahol $\varepsilon_0$ neve a **vákuum dielektromos állandója**. Az új állandó segítségével a síkkondenzátor kapacitása:

$$C_{\text{sík}} = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}.$$

A levegő (nem túl nagy térerősség esetén) ugyan nem vezető, hanem viszonylag jó szigetelő, azonban a kondenzátor fegyverzetei között többnyire mégsem levegő van, hanem valamilyen más szigetelőanyag. Egyrészt, hogy biztosan tartsa a fegyverzetek közötti távolságot, másrészt megmutatható, hogy megfelelő anyagú szigetelővel tovább növelhető a kondenzátor kapacitása, töltésbefogadó képessége:

$$C_{\text{sík}} = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}.$$

Az összefüggésben megjelenő $\varepsilon_r$ együttható neve a **szigetelőanyag relatív dielektromos állandója**. Az $\varepsilon_r$ egy arányszám, ami megmutatja, hogy hányszorosára nő egy kondenzátor kapacitása, ha a fegyverzetek közötti teret vákuum helyett az adott szigetelőanyag tölti ki.

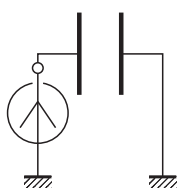
### KÍSÉRLETEZZ!

**Készíts kondenzátort!**

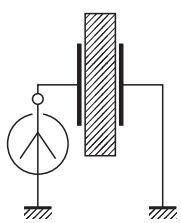
Két hosszú, azonos méretű alufólia szalag (fegyverzetek) közé szigetelőnek rakj papírt vagy polietilén fóliát! A kondenzátorlemezekhez egy-egy drótot erősíts kivezetésként, és már kész is a kondenzátor. Tovább növelheted a kondenzátorod kapacitását, ha még egy szigetelő fóliát alkalmazol, és így feltekered az általad készített eszközt. Hányszorosára növeli a feltekerés a kapacitást? Multiméterrel mérd meg a kondenzátorod kapacitását!

A rajzon a síkkondenzátor moddellje látható.

Hogyan változik az elektroszkóp feszültsége, a kondenzátor kapacitása, ha a fegyverzetek távolságát növeljük?



Hogyan változik az elektroszkóp feszültsége, a kondenzátor kapacitása, ha a fegyverzetek közé szigetelőanyagot helyezünk?

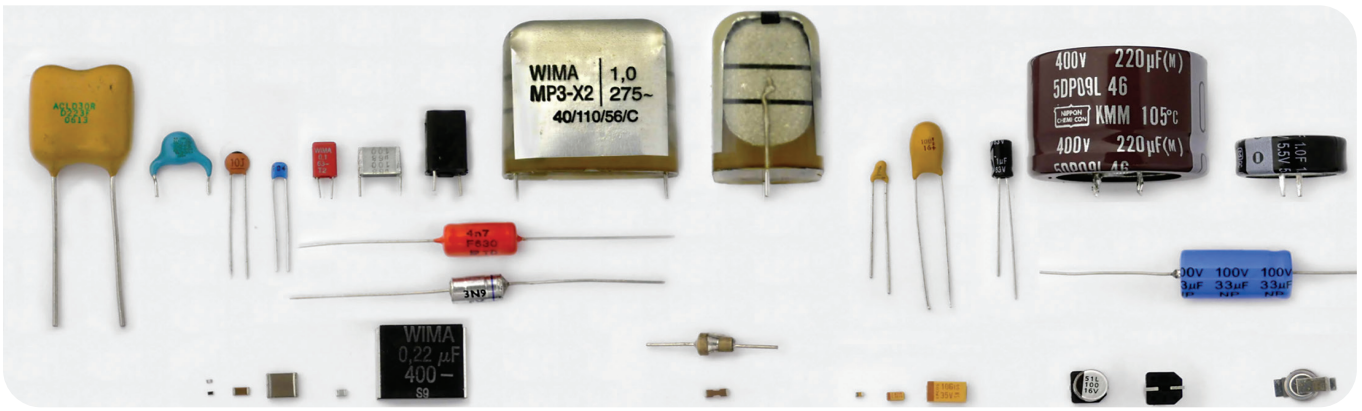


**Néhány anyag relatív dielektromos állandója:**

| Anyag | $\varepsilon_r$ |
|---|---|
| Levegő | 1,00059 |
| Papír | 3,3 |
| Üveg | 5–16 |
| Porcelán | 6 |
| Víz | 81 |
| Speciális kerámiák | ~100 |
| Bárium-titanát | ~1000 |

A táblázat alapján megállapíthatjuk, hogy a levegő relatív dielektromos állandója jó közelítéssel $\varepsilon_r = 1$, ami azt jelenti, hogy nem túlzottan nagy feszültségek esetén a kondenzátorok szempontjából a levegő és a vákuum (légüres tér) ugyanolyan viselkedésű.

Az elektronikában sokféle kondenzátort használnak. A kondenzátorokat megkülönböztetjük alakjuk (sík, henger) és a szigetelőanyaguk (elektrolit, fólia, kerámia) szerint. A felhasználásuk széles körű: váltófeszültségből származó egyenáram stabilizálása, váltóáramok összetevőinek szűrése, rezgőköri alkatrész. Használják még töltések tárolására, ami a vakunál, illetve villanymotorok indításánál hasznos.




Különböző kondenzátorok

## A kondenzátor energiája

**NE HIBÁZZ!**

A kondenzátor elektromos terének energiájára a $W_{el}$ jelölést használjuk, hisz az $E$ betűt már használjuk az elektromos térerősség leírására.

A kondenzátor feltöltését elképzelhetjük úgy is, hogy az egyik fegyverzetéről (lemezéről) elektronokat ragadunk ki, és ezeket átvisszük a szemben lévő lemezre, ami így egyre negatívabb lesz. Ugyanekkor az a lemez, ahonnan kiemeltük az elektronokat, fokozatosan egyre pozitívabbá válik. Ezért egyre nehezebben tudjuk a pozitív lemezről kiemelni a negatív töltésű elektronokat, illetve egyre nehezebb átvinni ezeket a negatívra töltődő lemezre. A feltöltés során így az elektromos töltéseket a kialakuló tér ellenében mozgatjuk, vagyis munkát végzünk. A feltöltött kondenzátor legfeljebb ugyanekkora munka végzésére képes. Megmutatható, hogy a $C$ kapacitású, $U$ feszültségű kondenzátor elektromos terének energiája:

$$W_{el} = \frac{1}{2} C \cdot U^2.$$

A szuperkondenzátorban (vagy ultrakapacitásban) tárolható energiasűrűség több ezerszerese a hagyományos elektrolitos kondenzátorénak. Az elektromos dupla réteg alapja, hogy a kondenzátor porózus szigetelőből és aktív szénből áll. Már kapható 5000 F kapacitású is. Szuperkondenzátort legelőször a nagy tömegű járművek motorjának indításánál használtak. Rövid idő alatt képes az energiát felvenni és leadni, ezért egyre inkább terjed az energiatakarékos (hibrid, elektromos) gépjárművekben a használata. A fékezés során a mozgási energia egy részét elektromossá lehet alakítani, és azt célszerű ilyen szuperkondenzátorban tárolni. A közeljövőben a szuperkondenzátor az akkumulátor kiegészítője és akár vetélytársa is lehet.

A modern elektromos és hibrid autókban az akkumulátor mellett szuperkondenzátor is van már

**Hallottál róla?**

Egy akkumulátor feltöltéséhez órák kellenek. A szuperkondenzátor feltöltéséhez kevesebb mint 1 másodperc elegendő.

## NE FELEDD!

**Vezető testek töltéstároló képességét jellemzi a kapacitás (a töltés és a feszültség hányadosa): $C = \frac{Q}{U}$, mértékegysége $\frac{C}{V}$, röviden F (farad). A kondenzátor két vezetőből álló rendszer, melynek egyik tagjára $+Q$, a másikra $-Q$ töltést viszünk. A síkkondenzátor kapacitása függ a fegyverzetek $A$ felületétől, $d$ távolságuktól és a lemezek közötti szigetelőanyagtól ($\varepsilon_r$):**

$$C_{sík} = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}.$$

**A feltöltött kondenzátor elektromos terének energiája:**

$$W_{el} = \frac{1}{2} C \cdot U^2.$$

**A kondenzátorok felhasználása széles körű. Az elektronikában áramkörök, rezgőkörök működésben játszanak fontos szerepet. A kondenzátorokat töltés- és energiatárolásra is használjuk.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

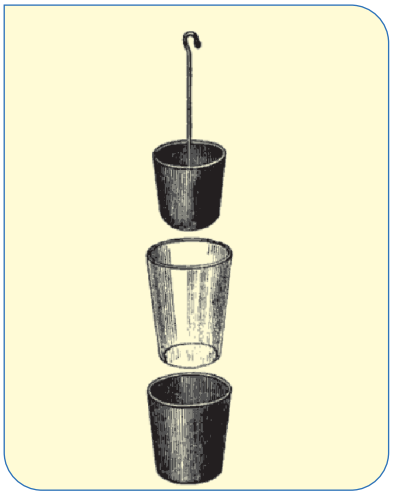
1. A Föld sugara kb. 6400 km. Mekkora bolygónk elektromos kapacitása?
2. Egy kondenzátor két fegyverzetére 100 V feszültséget kötünk. A lemezeken $+10^{-5}$ C, illetve $-10^{-5}$ C töltés jelenik meg. Mekkora a kondenzátor kapacitása?
3. Minden kondenzátort jellemez a kapacitása és a maximális feszültsége. Ha a kondenzátoron eső feszültség túllépi ezt az értéket, a kondenzátor tönkremegy. Legfeljebb mekkora töltés vihető biztonságosan egy 75 µF-os 700 V-os fóliakondenzátorra?
4. Mekkora annak a síkkondenzátornak a kapacitása, amelynek a fegyverzetei levegőben vannak, a lemezek területe 2 dm$^2$, egymástól való távolságuk 1 cm?
5. Mekkora elektromos energia tárolható a képen látható 2,7 V-os, 3000 F-os szuperkondenzátorban? Ekkora energia felhasználásával milyen magasra emelhető egy 72 kg tömegű ember?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

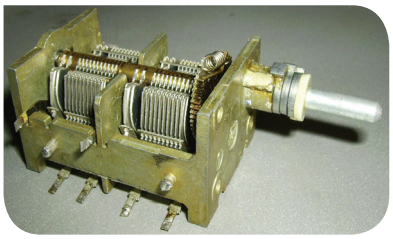
1. Hogyan változtatható a forgókondenzátor kapacitása? Miért?
2. Egy 10 nF kapacitású kondenzátor egyik lemezét földeljük, a másikra $2 \cdot 10^{-8}$ C elektromos töltést viszünk. Mekkora lesz a kondenzátor feszültsége?
3. Egy fizikatanár leydeni palackot készített. A kivezetéseit egymáshoz közelítve azt tapasztalta, hogy 3 cm-es szikrák jöhetnek létre. A palack kapacitását multiméterrel megmérte: 1,5 nF. Becsüld meg, mennyi elektromos töltés került a palackra feltöltéskor! (A levegő átütési feszültsége kb. 20 kV/cm.)
4. A $C$ kapacitású síkkondenzátor lemezein lévő elektromos töltések $+Q$ és $-Q$ értékűek. A lemezek távolságát megduplázzuk. Mennyi munkát végzünk eközben? Mennyivel változik eközben a kondenzátor energiája?
5. A $C$ kapacitású síkkondenzátor egyik fegyverzetén $-Q$, a másikon $+3Q$ elektromos töltés van. Mekkora a két lemez közötti feszültség?

## Mit gondoltak régen?

- Az első kondenzátort Pieter van Musschenbroek (1692–1761) holland fizikus a leydeni egyetemen készítette el, ezért a neve leydeni palack. Két egymásba illő fémpohár között egy üvegpohár a szigetelő. Ez az elrendezés meglepően sok töltés tárolására képes, ha igen nagy feszültséggel töltjük fel, például szalaggenerátorral. Házilag is könnyen elkészíthető, de akár kellemetlen áramütéssel is járhat a vele való kísérletezés!



- Az első síkkondenzátornak a Franklin-féle tábla tekinthető: egy üveglap két oldala ónnal van bevonva. A két fémfólia egyenlő méretű, és pontosan egymással szemben helyezkedik el.
- Korda Dezső (1864–1919) tekinthető a változtatható kapacitású forgókondenzátor feltalálójának. Az általa megalkotott világvevő (rádiókészülék) állomáskereső gombját tekerve változott a vevőantennában lévő kondenzátor kapacitása, és így foghatók voltak a különböző hullámhosszú rádióadások.

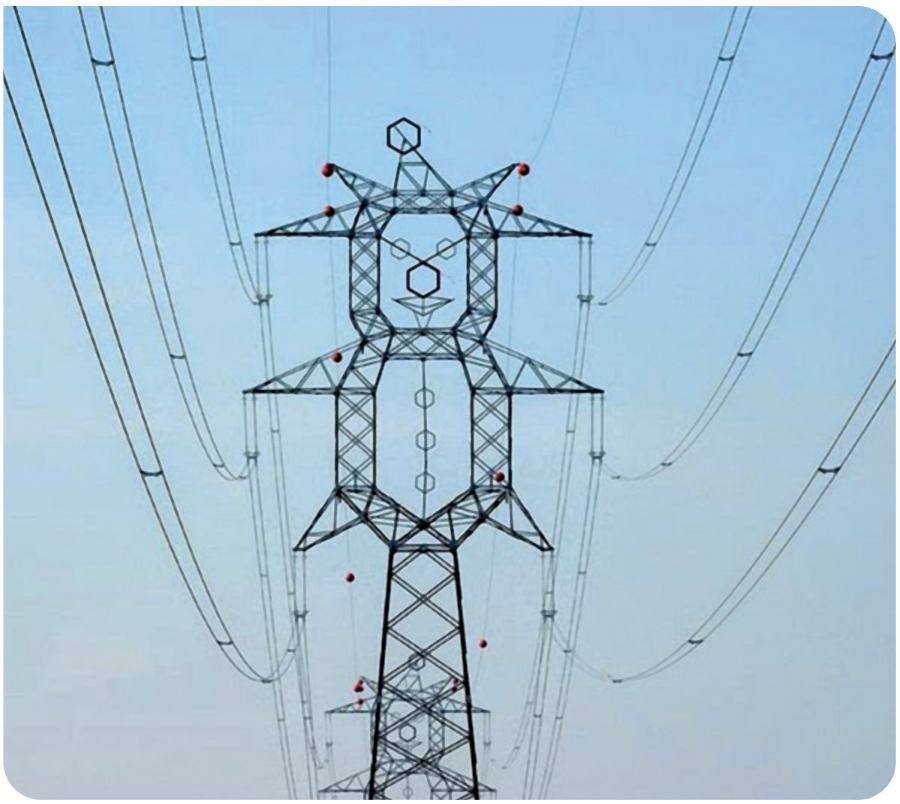


## Az A23 elem

*nyolc gombelemből áll, nem tölthető, vagyis egyszer használatos, garázs- és kapunyitók távirányítóiban szokás ilyet használni. Hány voltos lehet ez az elem?*

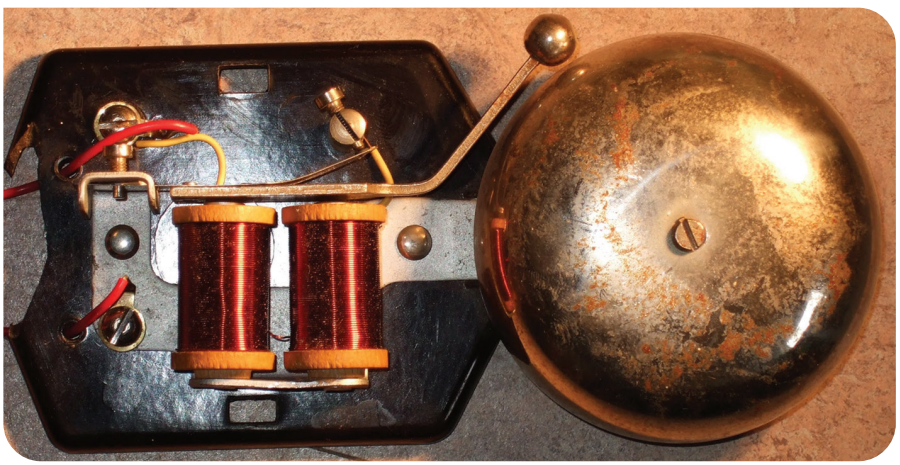
## Két darab, egyenként

*52 méter magas, mosolygós bohócokat formázó távvezetékoszloppal színesítette az M5-ös autópálya egyik szakaszát a Mavir Zrt. Újhartyánnál. Milyen szempontokat kell figyelembe venniük a tervezőknek, ha ilyen tréfás megoldást akarnak megvalósítani?*



## A villanycsengőkben

*hagyományosan mindig két elektromágneses tekercset találhatunk, azonban az áramköri rajzokon általában csak egyet. Miért van szükség mindkét tekercsre?*



# ELEKTROMOSSÁG A KÖRNYEZETÜNKBEN

## Hol készült ez a fénykép?

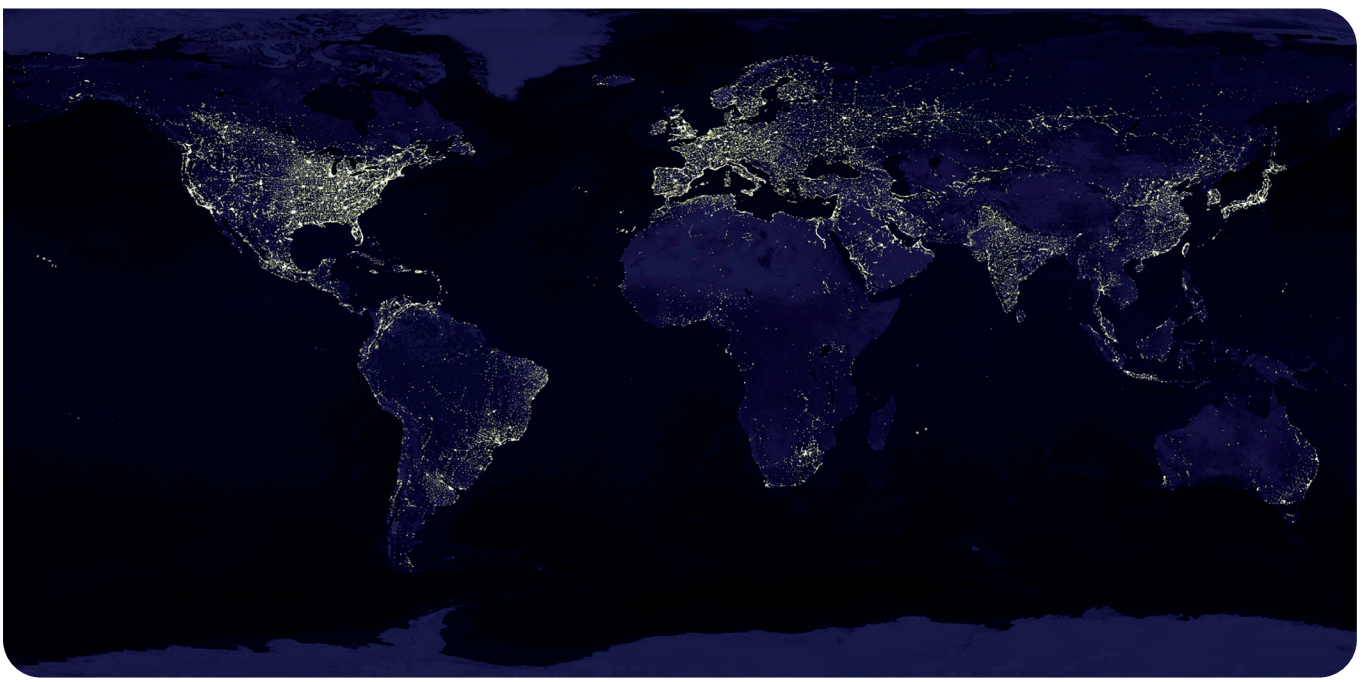
*Régebben ennyi fény létrehozása sokkal több elektromos energiát igényelt, mint manapság. Mitől lett olcsóbb ez a pazarlás?*

# 9. | Mi az elektromos áram?

*Aligha van még egy olyan találmánya az emberiségnek, amely annyira fontos lenne, mint az elektromos áram.*
*Az elektromos áram része mindennapjainknak. Nélküle már nem tudnánk elképzelni életünket. Gondoljunk csak arra, hogy mi történik például akkor, ha nagy ritkán hirtelen áramszünet következik be. Az ember teljesen kiesik a mindennapi élet ritmusából. Nem számítógépezhet, nem nézhet tévét, jobb esetben kedélyesen elbeszélget gyertyafénynél, rosszabb esetben magatehetetlenül ül a sötétben, és várja, hogy az áramszolgáltató mihamarabb rendbe tegye a hibát. Közben nem megy a fűtés, egyre hidegebb lesz, leáll a mosógép, és kezd kiolvadni a mélyhűtő. Nagyvárosokban pedig katasztrofális állapotok alakulhatnak ki.*

## Miért az elektromos áram lett a legfontosabb energiahordozó?

Miért használunk olyan sok, az elektromos áram energiáját alkalmazó eszközt? Egyrészt aligha van még egy olyan energiafajta, amely ennyire könnyen szállítható. Csak ki kell húzni egy drótot és kész, mondhatjuk kicsit leegyszerűsítve. Másrészt nincs még egy olyan energiafajta, amely ennyire könnyen átalakítható és munkára fogható.
Az elektromos áram ugyanakkor furcsa dolog. A szenet látja az ember, amikor nagy halmokba gyűjtik. A földgáz áramlását is halljuk időnként, ahogy suhogva áramlik a gázóránál. Szagát is érezzük, meggyújtva látjuk a lángját. Az elektromos áram más. Nem halljuk és nem látjuk a vezetékben. (Az ismert villanyszerelő vicc szerint: „Az áram alatt lévő alkatrész ugyanúgy néz ki, mint amelyik nincs áram alatt. Csak más a fogása.” Ki ne próbáld!) Mégis jelen van mindennapjainkban, itt van közöttünk, és sok mindenre felhasználjuk: Melegít és gépeket hajt, világít és olyan bonyolult berendezéseket üzemeltet, mint a számítógép vagy egy okos telefon.



A Föld éjszakai képe. Hol vannak, és hogyan jellemeznéd a legvilágosabb helyeket? A fénykép alapján miért volt jó ötlet az Atacama-sivatagba telepíteni nagy csillagászati távcsöveket? Vajon ez a fénykép egy távoli műholdról készült, vagy több kisebb képből lett összerakva?

## Hallottál róla?

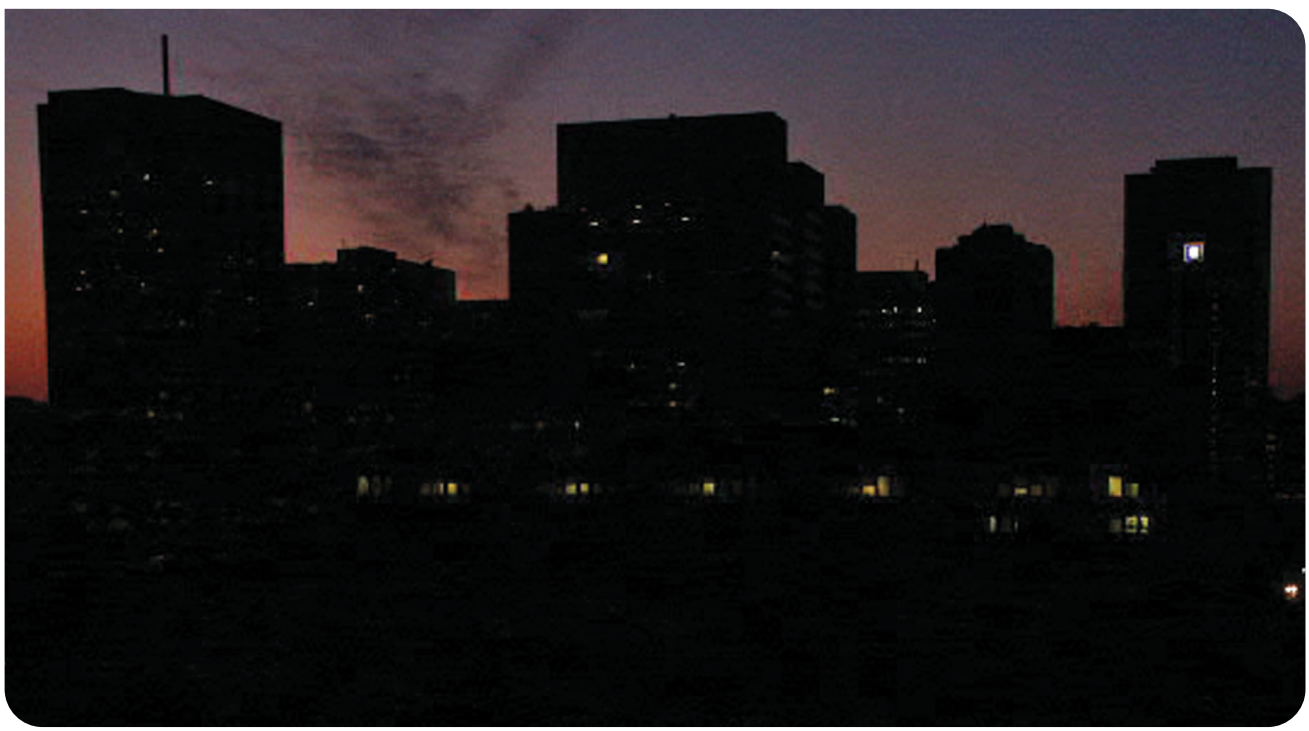
Az áram annyira fontos a mai ember számára, hogy egy-egy áramszünet bevonulhat a történelembe is.

Tanulságos esemény volt az 1977-es nagy New York-i áramszünet. Egy forró nyári nap estéjén rengeteg áram fogyott, mert mindenki járatta a légkondicionáló berendezését, nézte a tévét, villanyt gyújtott, és maximumra állította a hűtőgépét. Az évek óta elnapolt fejlesztéseket nyögő villamos elosztórendszer túlterhelődött. A közvetlen katasztrófát az okozta, hogy villámcsapás ért egy elektromos elosztóközpontot, aminek hatására dominószerűen összeomlott a város áramellátása. Több mint 7 millió ember maradt áram nélkül 25 órán keresztül. A sötétség leple alatt a város egyes részein anarchikus állapotok alakultak ki. Az emberek nekiálltak üzleteket fosztogatni, törtek, zúztak, több mint 1600 boltot és áruházat raboltak ki. A New York-i rendőrségnek is fekete napja lett ez, sok gyilkosság és erőszakos esemény történt. Több mint háromezer embert tartóztattak le egyetlen nap alatt.

Nagyfeszültségű és középfeszültségű elektromos távvezetékek. Miért kell sokkal nagyobb tartóoszlopokat építeni nagyfeszültségű vezetékekhez?

Nemcsak a villamosmérnököknek kellett kellemetlen kérdésekkel szembenézniük, de a politikusoknak és társadalomtudósoknak is: „Miként volt lehetséges, hogy míg egyes kerületekben nyugodtan, már-már kedélyesen élték meg az áramszünetet, addig a város más, hasonló részein elszabadult a pokol?"

2003 augusztusában ismét hatalmas áramszünet volt az Egyesült Államok keleti partvidékén és Kanada szomszédos területein, ami 55 millió embert érintett. Mindenki attól tartott, hogy az 1977-es erőszakhullám fog ismét fellángolni, de az csak Kanada egy-két városában fordult elő, New York nyugodt maradt. A szakértők úgy vélik, hogy a 2001. szeptember 11-i terrortámadás után a katasztrófavédelem sokkal összehangoltabban reagált az eseményekre, másfelől mivel sokáig terrorista akciót gyanítottak az áramszünet hátterében, az emberek szolidaritási érzése tört elő. Csak később derült ki, hogy az áramszünetet az elektromos elosztórendszer szoftverének hibája indította el.

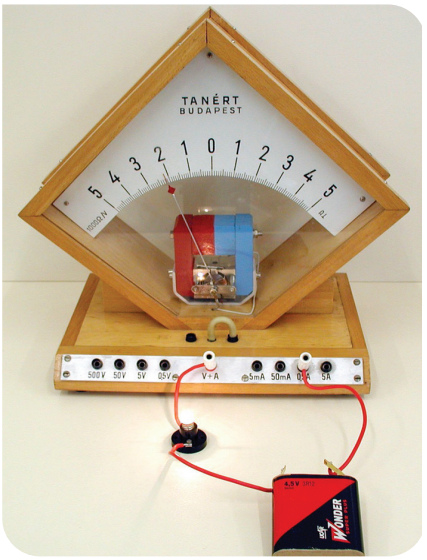


Az elsötétülő Toronto a 2003-as nagy áramszünet idején. Áramszünet idején áramfejlesztőkkel (aggregátorokkal) vagy akkumulátorokkal biztosítható egy ideig az elektromos áram

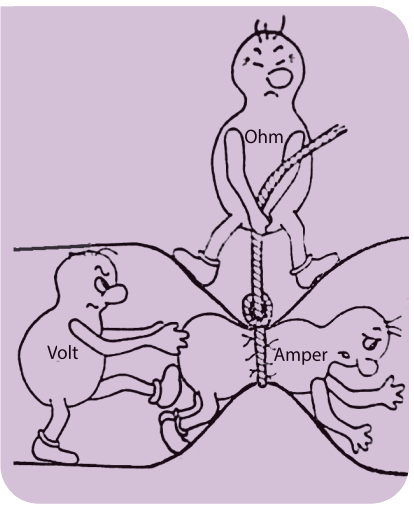
## EMLÉKEZTETŐ

Az általános iskolás tananyagban is tanultunk már az elektromos áramról. Hallhattunk az elektromos áram hatásairól, mérhettük az áram jellemzőit, egyszerűbb kapcsolásokat is összeállítottunk. Láthattál már elektromos áramkört, mérőműszert, hallhattál az Ohm-törvényről. Tudod, hogy az elektromos áramnak van hőhatása, mágneses hatása, és ha valamiben áram folyik, akkor abban kémiai változások is bekövetkezhetnek. És persze tudsz arról, hogy az áram megrázhat, ezért óvatosan kell vele bánni.

Ebben a fejezetben sok hasznos és érdekes dolgot fogsz tanulni az elektromos áramról.




Fénykép egy iskolai tanulói készletről. Nevezd meg, milyen áramköri elemeket látsz a képen! Mit mérhet a műszer?

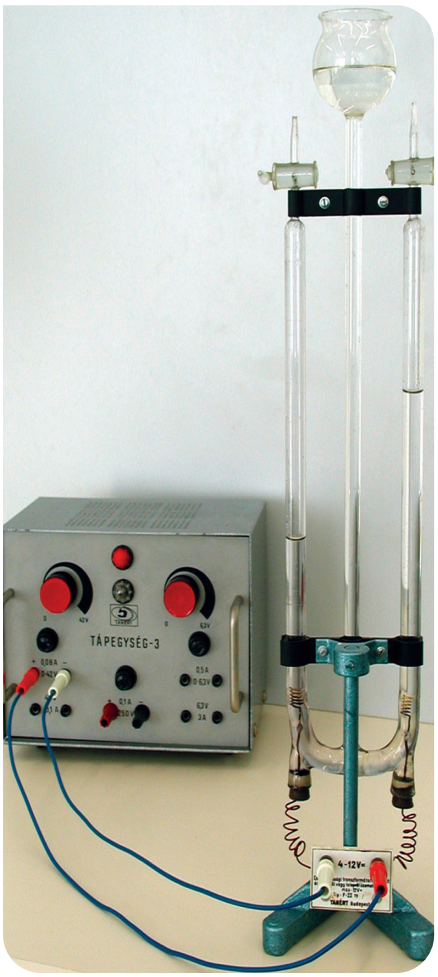



A karikatúra segítségével próbáld felidézni az iskolai tanulmányaid alapján, hogy mit tanultál az elektromos áramról! Minek a hatására folyik egy áramkörben elektromos áram? Mit jelképez az Ohm feliratú alak?

## Az elektromos áram hatásai

Egy izzólámpát áramkörbe kapcsolva nemcsak fényt bocsát ki, hanem energiájának legnagyobb része hő formájában távozik. A távozó hő az üvegbúrát is felforrósítja, ami akár égési sérüléseket okozhat. Az izzólámpának tehát egyaránt van **hő- és fényhatása**. Az elektromágnes bizonyítja, hogy az elektromos áramnak **mágneses hatása** is van.

A kémiából is ismert vízbontó készülék arra bizonyíték, hogy az elektromos áramnak **vegyi hatása** is van. Ha kevés savval elektromos vezetővé tett vízen keresztül elektromos áramot vezetünk, akkor a víz hidrogénre és oxigénre bomlik.



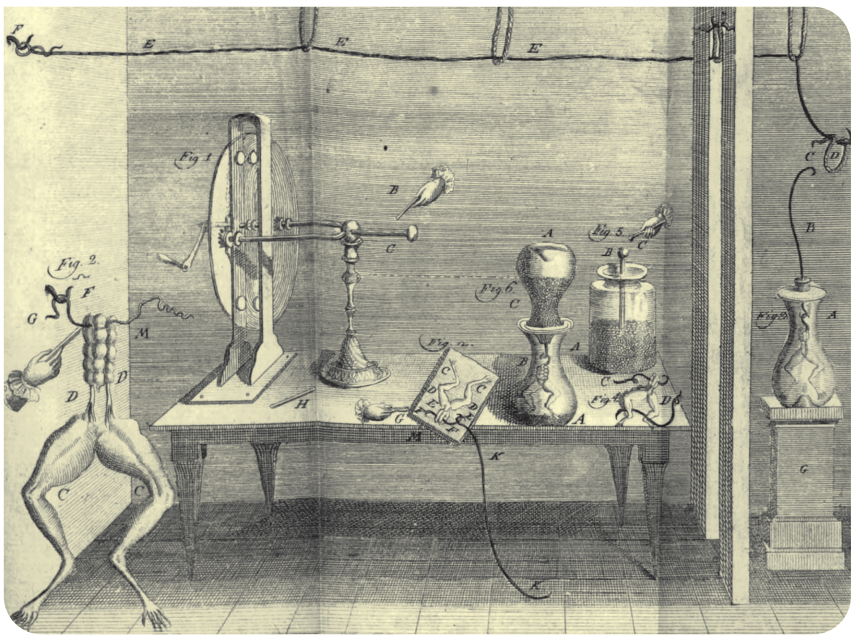

Vízbontó készülék. A vízbontás előtt a vízhez valamilyen savat öntenek. Ennek vajon mi az oka?

Miért teszik az izzólámpában az izzószálat üvegbúra alá?

Vasúti síneket pakol egy elektromágneses daru egy pályaudvaron. Vajon fel tudja emelni a rézcsöveket is?

## Mit gondoltak régen?

Az elektromos áram történetét sokan az olasz Luigi Galvani felfedezésével kezdik. **Luigi Galvani** (1737–1798) olasz orvos és fizikus békákkal és más állatokkal kísérletezve felfedezte az „állati elektromosságot". Észrevette azt, hogy a frissen preparált békák combizma hevesen összerándul, ha két különböző, egymással érintkező fémmel megérintjük a gerincvelőt és a combizomzatot. Galvani azt hitte, hogy az idegeket és izmokat ellentétes elektromosság tölti fel, és ennek kisülése okozza az összerándulást. Feltételezte, hogy az élet nem más, mint a szervezetben meglévő elektromosság, és az agy termeli meg azt az elektromosságot, amit az idegrendszer elvezet az izmokba. Ez a maga korában olyan népszerű elmélet volt, hogy még Mary Shelley *Frankenstein* című regényében a főhős is a halottak szerveiből összerakott lényének úgy ad életet, hogy elektromosságot (villámot) vezet bele.

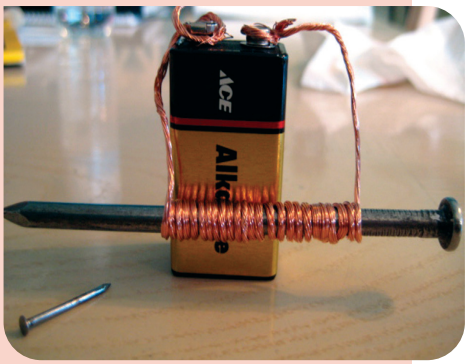


Egy rajz Galvani művéből: Az illusztráción azt (is) látjuk, hogy a békacomb összerándulását nemcsak különböző fémekkel való „ingerléssel" tudta előidézni, hanem elektromos töltésekkel is

Pedig **Alessandro Volta** jóval Shelley regénye előtt, 1792-ben megmutatta, hogy az elektromosság létrejöttében a két különböző fémnek nagyobb szerepe van, mint a békáknak. Volta munkásságával a következő leckékben részletesen foglalkozunk. Volta után az események felgyorsultak.

**Faraday** kitalálta, hogyan lehet az elektromos áramot nagy mennyiségben, olcsón előállítani, **Jedlik Ányos** megmutatta, hogyan lehet mechanikai munkát végző motort hajtani vele. Még száz év sem telt el Galvani békacombos kísérlete óta, amikor 1878-ban a Ganz és Társa Vasöntő és Gépgyár Rt. vasöntödéjében elektromos ívlámpák világították meg az üzemcsarnokot. **Mechwart András** gépészmérnök, a magyarországi villamosipar megalapítója, 1878-ban létrehozta a Ganz-gyár elektromos osztályát. Vállalatigazgatóként és feltalálóként is kiemelkedő szerepet játszott abban, hogy a XIX. század utolsó harmadában a magyar gépgyártás és villamos gépipar a világ élvonalába került.

## KÍSÉRLETEZZ!

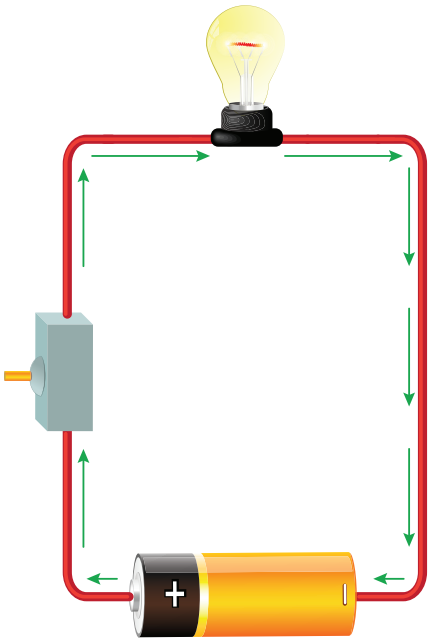



Elektromágnest mi is készíthetünk. Tekerjünk sok menetet egy szigetelt drótból egy szögre! A drót egyik végét érintsük egy telep egyik kivezetéséhez, másik végét kössük egy zseblámpaizzóhoz, aminek alját érintsük ezután a telep másik kivezetéséhez!

Változtassuk a menetek számát, és figyeljük meg, hogy változik az elektromágnesünk erőssége! Az erősségét például azzal mérhetjük, hogy hány darab vasszöget tudunk vele felemelni.

Jegyezzük is fel, hogy milyen kapcsolat lehet a menetszám és a mágnes ereje között!

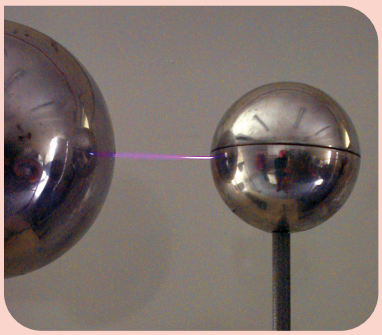
Mechwart András (1834–1907)



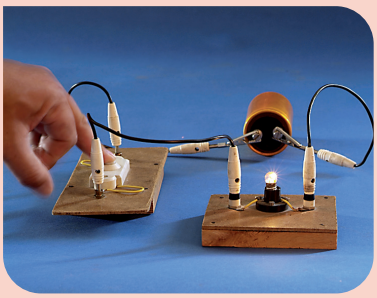
Elektromos áramkör

## FIGYELD MEG!

**1. kísérlet**



A villám ismert és félelmetes természeti jelenség. Ezt fogjuk most kicsiben bemutatni az iskolai szalaggenerátorral, amit az előző fejezetekből, az elektrosztatika anyagrészből már ismersz. A készülék bekapcsolása után elkezdi gyűjteni a töltéseket a fémgömbjén. Ahogy egyre több töltést gyűjt össze, úgy egyre nagyobb lesz a feszültség a készülék gömbje és a közelébe vitt másik, földelt fémgömb között. Amikor a feszültség elér egy kritikus értéket, hirtelen létrejön az elektromos szikra. Mi történik ilyenkor? Az elektromos szikrában töltések áramlanak át egyik helyről a másikra. A töltések áramlását elektromos áramnak nevezzük. A szikra tehát nem más, mint egy rövid ideig tartó elektromos áram. Az elektromos töltések lehetnek pozitív és negatív ionok, de a leggyakrabban, fémes vezetők esetében elektronok.



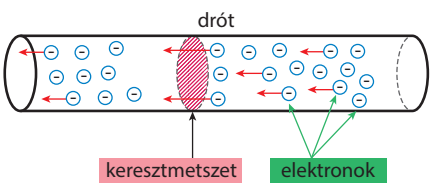
**2. kísérlet (Kiegészítő anyag)**

Töltsünk fel egy nagy kapacitású kondenzátort névleges feszültségére, majd a feltöltött kondenzátor két csatlakozóját érintsük hozzá egy zsebizzó két kivezetéséhez. Azt tapasztaljuk, hogy az izzó fényesen kezd világítani, majd a fénye egyre halványabb lesz, aztán valamennyi idő múlva teljesen kialszik.

## Az elektromos áram

A hagyományos áramforrások nem tárolják a töltéseket. Az a feladatuk, hogy megteremtsék azt a feszültséget, amelynek hatására az elektromos áram létrejön. Az **áram** (néhány különleges kivételtől eltekintve) **mindig feszültség hatására folyik**.

**Megállapodás szerint az áram iránya a pozitív töltések vándorlási iránya.** Ezt a megállapodást akkor kötötték a fizikusok, amikor még nem tudták azt, hogy a fémekben a negatív elektronok áramlanak, így ma már nem tűnik logikusnak. Mivel azonban ez különösebb problémát nem okozott, ezért ezen nem változtattak. A következő leckében megismerkedünk majd az áramforrásokkal. **Az áramot tehát úgy tekintjük, hogy az áramforrás pozitív (+) kivezetésétől a negatív (-) felé áramlik.**




Elektronok áramlanak a fémes vezetőben

**Az áram erősségét az időegység alatt átáramló töltés mennyiségével jellemezzük. Az áramerősséget *I*-vel jelöljük.** Az áramerősség kiszámolási módja tehát az, hogy a vezető keresztmetszetén átáramlott töltésmennyiséget elosztjuk azzal az idővel, amíg az áramlást vizsgáljuk. Ha az áramerősség időben állandó, az áramot **egyenáram**nak nevezzük.

**Képletben: áramerősség** = $\frac{\text{átáramlott töltés}}{\text{átáramlás ideje}}$, azaz $I = \frac{Q}{t}$

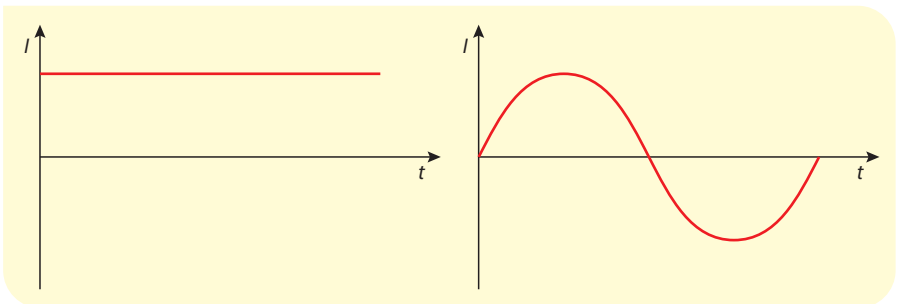
**Egyenáram**ról akkor beszélünk, ha annak **áramerőssége állandó**.

**Az áramerősség mértékegysége** a fenti definíció alapján

$[I] = 1\frac{\text{C}}{\text{s}} = 1\frac{\text{coulomb}}{\text{másodperc}}$ Ezt az egységet André-Marie Ampère (1775–1836) francia fizikus tiszteletére **amper**nek nevezték el, jele: **A**

$1 \text{ amper} = 1 \text{ A} = 1\frac{\text{C}}{\text{s}}$

Ez a töltések áramlása lehet egyenletes, akkor **egyenáramról beszélünk**. Ekkor egyenlő idők alatt mindig ugyanannyi töltés áramlik át. Ilyen áramot szolgáltatnak az elemek és akkumulátorok. A hálózati áram ezzel szemben amelynek nagyság és iránya is állandóan változik. Ezt váltakozóáramnak (vagy váltóáramnak) nevezzük. Számos hálózati áramról működő eszközünk (pl. LED lámpa, számítógép, akkumulátortöltő) is egyenáramot használ. Ilyenkor a hálózati áramot egy elektronika egyenárammá alakítja át.




## NE HIBÁZZ!

Kis áramerősségek esetén az amper helyett gyakran alkalmazzák annak ezredrészét, a milliampert. Ennek jele mA.

1 A = 1000 mA és 1 mA = 0,001 A. Ne feledkezz meg ezekről az átváltásokról, tehát ha egy feladatban 240 mA szerepel, akkor te számolj 0,24 A-rel! (240 mA = 0,24 A.) Néha a μA-rel (mikroamperrel) is találkozhatsz, ez az amper egymilliomod része. Ekkor érdemes normál alakra áttérni.

Például

$24\ \mu\text{A} = 24 \cdot 10^{-6}\ \text{A} = 2{,}4 \cdot 10^{-5}\ \text{A}$.

A nagy áramerősségeket kiloamperben (kA) adják meg.

1 kA = 1000 A.

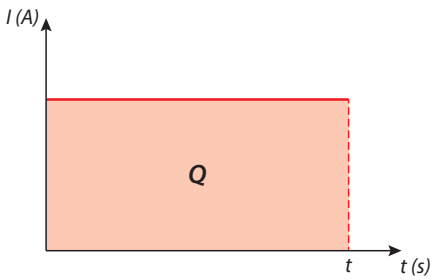
## Hallottál róla?

1. A legnagyobb villámok a 300 kA-es áramerősséget is elérhetik. Majdnem ekkora áramot használnak az acélolvasztó kemencékben. Ennél nagyobb áramerősséget is sikerült a fizikusoknak előállítaniuk. Bizonyos plazmákban akár 10 millió amperes áramok is folyhatnak. Egy idegimpulzusban az áramerősség ezzel szemben csak $10^{-11}$ A-es nagyságrendű.

2. A villámok egyetlen felhőn belül is keletkezhetnek, létrejöhetnek két felhő között, és természetesen csapódhatnak egy felhőből a földbe. A Földön másodpercenként 40-50 villámcsapás történik, ami azt jelenti, hogy évente 1,4 milliárd villámcsapás jön létre.

3. Egyszerű tapasztalat az, hogy ha zárunk egy elemet és egy kis izzót tartalmazó áramkört, akkor a kapcsoló zárásakor az izzó szinte azonnal felvillan és világít. Ebből azt a következtetés vonhatjuk le, hogy a vezetékben az elektronok nagyon nagy sebességgel haladnak. Valójában ez nem így van. Kiszámolható, hogy az **elektronok valójában néhány mm-t esetleg néhány cm-t tesznek csak meg „előrefelé" egy óra alatt**. A látszólagos ellentmondás magyarázata összetett. Egyrészt az elektronokat nem úgy kell elképzelni, hogy mozdulatlanul várják a telepben, hogy mozgásba lendüljenek az áramkör zárásakor. Az elektromos áramot nem a telepből kiáramló elektronok hozzák létre, hanem a fémes vezető belsejében eleve ott lévő vezetési elektronok. Ezek a vezetési elektronok a fémrácsban a gázrészecskékhez hasonlóan véletlenszerű, zegzugos mozgást végeznek, ami átlagosan nulla elmozdulást eredményez. Ehhez a rendezetlen mozgáshoz hozzáadódik egy rendezett, egyirányú „előrefelé" mutató mozgás, ha zárjuk az áramkört. Az áramkör zárásakor tehát nem az elektronok „jönnek ki a telepből", hanem **az elektromos mező, amelyik csaknem fénysebességgel végig áramlik a vezető mentén** és „előrefelé" mozgásra kényszeríti a fémes vezető belsejében lévő vezetési elektronokat.
Szólnunk kell még az **áramforrás** elnevezésről is. Elvileg helyesebb lenne **feszültségforrás**nak nevezni őket, hiszen az áram a feszültség hatására fog folyni, de mindkettő széles körben elterjedt, mi is felváltva fogjuk használni őket.

Több ágra szakadó villám




Az áramerősség–idő grafikon alatti terület az áthaladó töltésmennyiséget adja

## SZÁMOLJUK KI!

*1. feladat:*
Számoljuk ki, mennyi ideig tart egy villámlás! A wikipedia szerint egy átlagos villámban 30 kA-es áram folyik, miközben 15 C töltés megy át.

*Megoldás:*
Tudjuk, hogy az **áramerősség** = $\frac{\text{átáramlott töltés}}{\text{átáramlás ideje}}$, $I = \frac{Q}{t}$ Ebből azt kapjuk, hogy

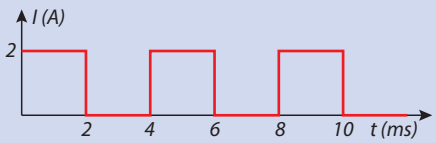
az idő = $\frac{\text{töltés}}{\text{áramerősség}}$, azaz $t = \frac{Q}{I}$

Behelyettesítve, átváltva és áttérve normál alakra:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{15\ \text{C}}{3 \cdot 10^4\ \text{A}} = \frac{1}{2000}\ \text{s} = 5 \cdot 10^{-4}\ \text{s}$$

Egy átlagos villámlás tehát a másodperc kétezred része alatt lejátszódik. Mi ezt hosszabbnak érzékeljük, mert a szemünk ideghártyája mintegy egytized másodpercig megőrzi a látott képet. Ebből következik, hogy a villám finomszerkezetét nem is tudjuk érzékelni szemünkkel. Így nem tudjuk azt sem észlelni a szemünkkel, hogy a villámláskor nem is egy „szikra" kipattanása történik, hanem „elővillámok" és több fővillám is végighaladnak ugyanazon a vezetési csatornán.

*2. feladat:*
Az elektronikában gyakran fordul elő az ábrán látható „négyszögrezgés". Ilyenkor nem egyenáram folyik a körben, hanem az áramerősség periodikusan változik. Számoljuk ki, hogy 10 ms alatt mekkora töltésmennyiség megy át a vezető keresztmetszetén.




*Megoldás:*
A 0 és 2 ms közötti szakaszon az áram egyenáramnak tekinthető. Ezen a szakaszon az
$I = \frac{Q}{t}$ képletből származtatott $Q = I \cdot t$-vel tudjuk számolni a töltésmennyiséget. $Q = 2\text{A} \cdot 2\ \text{ms} = 4\ \text{mC}$. Ebből összesen három ilyen szakasz van, tehát az összes töltésmennyiség 12 mC.
Vegyük észre, hogy a számolás során mi lényegileg a *I*-t grafikon alatti terület nagyságát határoztuk meg. Általánosságban is igaz, hogy az *I*-t grafikon alatti terület nagysága megadja az átáramlott töltés mennyiségét.

## NE FELEDD!

**A töltések áramlását elektromos áramnak nevezzük. Az áram a feszültségforrás pozitív (+) csatlakozójából a negatív (–) felé folyik. Az áramot az áramerősséggel jellemezzük.**

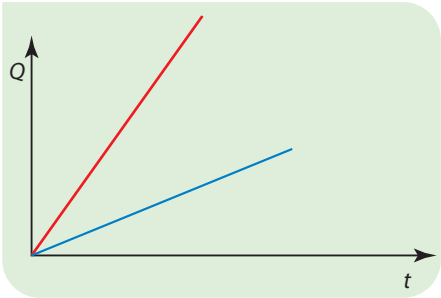
**Jele *I*, kiszámolási módja:**

**áramerősség = $\frac{\text{átáramlott töltés}}{\text{átáramlás ideje}}$, azaz $I = \frac{Q}{t}$.**

**Mértékegysége az A (amper).**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A grafikon két különböző vezetéken mutatja az átáramlott töltés mennyiségét az idő függvényében.




   *a)* Egyenáramnak tekinthetők ezek az áramok?

   *b)* Melyik áramerősség a nagyobb, és hányszor nagyobb a piros vagy a kék grafikonhoz tartozó?

2. Egy zseblámpaizzón 240 mA-es áram folyik át 10 percen keresztül. Mennyi töltés áramlott át az izzón?

3. Mennyi elektron vándorol át a vezető keresztmetszetén 1 másodperc alatt, ha az áramerősség 1 A? (Az elektron töltése $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.)

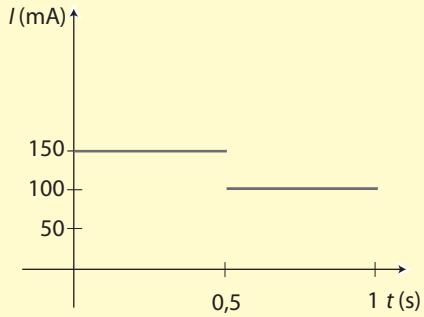
4. Egy akkumulátor összesen 10 000 C-nyi töltést tud leadni. Egy olyan kis jelzőlámpát akarunk üzemeltetni vele, ami 50 mA-es áramot vesz fel az akkumulátorról. Tudjuk-e három napig üzemeltetni a lámpánkat?

5. Pontos megfigyelések szerint egy fővillám kisülése nagyon rövid idő alatt, akár $3 \cdot 10^{-5}$ s alatt is lejátszódhat. Egy ilyen villámban az áramerősség elérheti a 300 kA értéket is. Mennyi töltés halad át ekkor a villámban?

Villám csap egy nagy méretű fába. A fa, illetve a közelben lévő házak méretéből következtethetünk a villám fényes kisülési csatornájának átmérőjére, ami meghaladhatja az egy métert is

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A grafikonokon azt látjuk, hogy egy áramkörbe kapcsolt fogyasztón hogyan változik az áramerősség az időben. Mennyi töltés áramlott át a vezető keresztmetszetén az egyes esetekben?

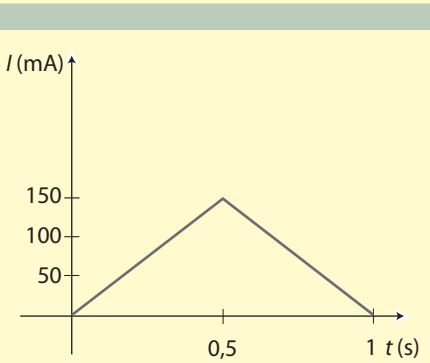



2. A rézben $8{,}5 \cdot 10^{28}$ db vezetési elektron található $m^3$-enként. Egy 1 mm átmérőjű vezetékben 1 A-es áram esetén mekkora az elektronok vándorlási sebessége?

3. A napszél főként 400 km/s-os átlagsebességű protonnyalábból áll, amelynek átlagos „sűrűsége" 6 proton $cm^3$-enként. Mekkora az 1 $m^2$-nyi felületen áthaladó napszél áramerőssége?

4. A CERN LHC gyorsítójában egymással ellentétes irányban, 2808–2808 „csomagban", csomagonként $1{,}2 \cdot 10^{11}$ db proton száguld csaknem fénysebességgel a 25,7 km kerületű föld alatti gyűrűben. Mekkora átlagos áramerősségnek felel meg a protonok áramlása az egyik irányban?

5. Egy iskolai Van de Graaf-generátor gumiszalagja 15 cm széles. Görgőinek fordulatszáma 3 $\frac{1}{s}$, sugara 2,5 cm. A felületén $cm^2$-enként 1nC töltés van. Mekkora a szalag által szállított áramerősség?



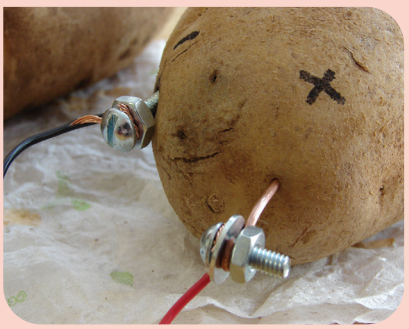
# 10. | Csináljunk áramot!

*Ahhoz, hogy áramunk legyen áramforrásra (feszültségforrásra) van szükségünk. A fizikusok a 19. század legeleje óta számos áramforrással kísérleteztek. Az általunk is ismertetett galvánelemek a 19. század közepétől erőteljes fejlődésének indultak, de ezzel együtt is az elektromosság megmaradt a tudósok laboratóriumában. A 19. század végén kezdték az elektromos hálózatokat kiépíteni, és ezzel az elektromosság széleskörben elterjedt. Hordozható elektromos áramforrásra is igény támadt, így a galvánelemek és az akkumulátorok megjelentek a kereskedelemben is. Olyanra azonban még sokáig senki nem mert gondolni, hogy ezek a kémia áramforrások valaha is olyan nagy energiaigényeket kielégíthetnek, mint amilyen például egy autó hajtása. 1985-ben azonban egy japán kutató (két másik kutató korábbi munkája alapján) egy új típusú akkumulátort készített, a lítiumion-akkumulátor. Ezt 1991-ben kereskedelmi forgalomba is hozták. Ma már minden mobilkészülékben ilyen van. 2008-ban került először ilyen akkumulátor autóba. 2019-ben a japán kutató (Akira Yoshino) a két másik kutatóval megosztva, megkapta a kémiai Nobel-díjat.*

A hétköznapi életben többfajta feszültségforrással találkozhatunk: kémiai áramforrásokkal (elem, akkumulátor), hálózati árammal, napelemekkel, stb. Először a kémiai áramforrásokkal ismerkedünk meg, a hálózati áramról egy későbbi fejezetben lesz szó, a napelemekkel pedig az év végén foglalkozunk.

## Galvánelemek

**KÍSÉRLETEZZ!**

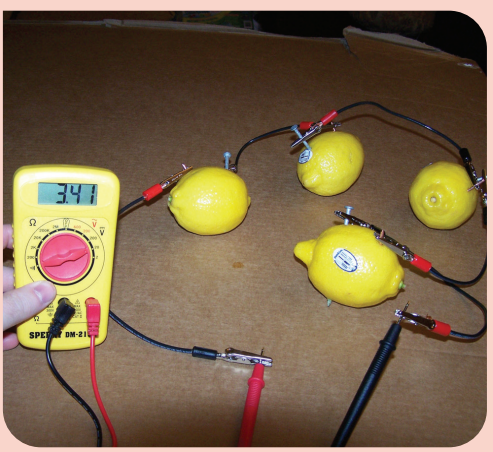


Vegyünk egy vas- és egy rézhuzalt. Mindkettőt csatlakoztassuk egy voltmérőhöz, majd dugjuk a fémhuzalokat különböző gyümölcsökbe vagy egy burgonyába. A voltmérő feszültséget jelez, általában néhány tized voltot, gyakorlatilag függetlenül attól, hogy milyen gyümölcsöt használunk. Próbáljunk ki minél több fajta fémet, és állapítsuk meg, hogy milyen két fém kombinációja adja a legnagyobb feszültséget! Vigyázzunk arra, hogy a kísérlet előtt mindig csiszoljuk meg dörzsvászonnal a fémhuzalokat!

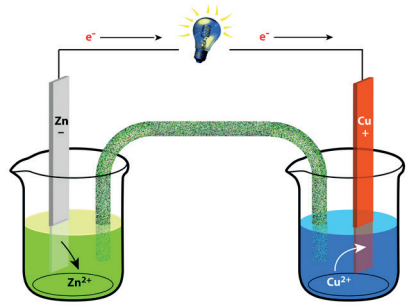
Mérőműszer segítségével állapíthatjuk meg, hogy melyik a galvánelem pozitív (+) és melyik a negatív (–) elektródája. Ezt úgy tehetjük meg, hogy az egyik elektródát a műszer közös (common) pontjára kötjük, és a másik elektródát a feszültségmérő ponthoz (V) csatlakoztatjuk. Ha a műszer pozitív értéket mutat, akkor ez a második elektróda a pozitív (+), ha negatív értéket, akkor ez a negatív (–) elektróda. Elegendő az egyik elektróda előjelét meghatároznunk, mert a másik mindig ellenkező előjelű. Mint előző leckénkben láttuk, az áramot úgy tekintjük, hogy (spontán folyamatokban) mindig a pozitív (+) elektródából a negatív (–) felé folyik.

**KÍSÉRLETEZZ!**

Kapcsoljuk sorba a képen látható módon a citromelemcelláinkat! Láthatjuk, hogy a négy réz-vas elektródapárból álló citromelem-cellasor összesen 3,4 V-os feszültséget tud szolgáltatni. Ez éppen négyszerese az egy citromelem feszültségének. Ha tehát négy darabot összekapcsolunk, akkor ennek a teleprendszernek a feszültsége is négyszeresére nő. Megállapíthatjuk azt, hogy **ha elemeket sorba kapcsolunk, a feszültségük összeadódik.**



A kísérlet lényegében rámutat arra, hogy miből áll egy galvánelem. **Galvánelemről beszélünk, ha bármilyen két különböző fémelektróda (fémlemez, esetleg szén) egy vezető folyadékba (elektrolitba) merül.** Kísérleteinkben a gyümölcs vagy a zöldség leve biztosította a vezető folyadékot. Az igazi galvánelemeknél a vezető folyadék általában valamilyen sav vagy lúg. A galvánelem mindig **egyenáram**ot szolgáltat**.** Azokkal a bonyolult kémiai folyamatokkal, melyek a galvánelem belsejében lejátszódnak, nem foglalkozunk részletesen. A lényeg az, hogy a kémiai folyamatok révén a két elektróda között tartós feszültség alakul ki. A galvánelemek csak addig használhatók, amíg a bennük található valamelyik elektróda anyaga a kémiai reakciók következtében el nem fogy.




Daniell-elem

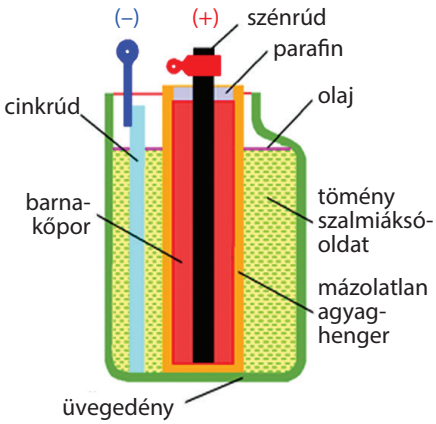
## A LEGELTERJEDTEBB ELEMEK *(Olvasmány)*

Az R6-os **cink–szén elem**, amelyet feltalálójáról Leclanché-elemnek is neveznek. Ez az egyik legismertebb, legelterjedtebb és legolcsóbb galvánelemtípus. Felépítését az oldalt látható rajz mutatja.

Ha az elem LR6 jelzésű, akkor **alkálielem**. Ennek az elemnek a két elektródája cink és mangán-dioxid. Ezt nevezik tartós elemnek is, mert legalább kétszer olyan hosszú élettartalmú, mint az R6-os elem, az ára viszont csak kb. másfélszer annyi. Érdemesebb ilyen elemet venni, ha nincs szükségünk akkumulátorra.

Az elemekre gyakran nem írják rá összes töltésüket, de azért érdemes tudni, hogy az R6-os ceruzaelemnek kb. 1100 mAh, az LR6-osnak kb. 2800 mAh a töltése. Ez azt jelenti, hogy az elem teljes élettartama alatt összesen ennyi töltést képes leadni. A működését azonban nem úgy kell elképzelni, mint egy töltéstárolót. Az elem nem tárolja a töltéseket, hanem a kémiai folyamatok révén folyamatosan szétválasztja őket.

Van egy harmadik fajta is, ez FR6 jelöléssel rendelkezik. Ennek az anódja lítiumból készül, ezért lítiumelemnek is nevezik. A legelterjedtebb ceruzaelem (AA) és (AAA) kategóriában nem versenyképes az ára miatt, de a gombelemeknél elterjedt a tartóssága okán.




A Leclanché-elem elvi felépítése. Amikor ceruzaelemként vásároljuk meg, akkor az üvegedényt a műanyag borítású cinkhenger helyettesíti, ez egyben a negatív elektród is. A szalmiáksóoldatot pedig felitatják, így szárazelemként lehet forgalmazni, és a párolgást csökkentő olajrétegre sincs szükség

## FIGYELD MEG!

Vegyünk kézbe egy elemet. Nézzük meg, hogy milyen információt tudunk meg róla, milyen szabványjelöléseket látunk rajta! Először is tartalmaz egy méretmegjelölést. Az alábbi képen látjuk azt, hogy milyen méretű elemek léteznek:

A legfontosabb elemméretek összehasonlítása. Balról jobbra haladva: 4,5 V-os, D (Góliát), C (bébi) AA (ceruza), AAA, AAAA, A23, 9 V-os, CR2032-es gombelem és LR44 gombelem

Mindegyikük feltünteti azt is, hogy mekkora a feszültsége. Ez általában **1,5 V,** vagy ennek három-, illetve hatszorosa, hiszen a nagyobb feszültségű elemek ilyen cellák sorba kapcsolásából állnak. Jelölik azt is, hogy melyik a **pozitív kivezetés**. Ezenkívül mindegyiken találunk egy kódot is, ennek alapján következtethetünk a típusára.

**NE HIBÁZZ!**

Ügyelj a mértékegység-átváltásokra! Ne feledd, hogy 1 Ah = 3600 C, illetve 1 mAh = 3,6 C.

**SZÁMOLJUK KI!**

*Feladat:* Ha egy tartós elemre azt írták, hogy 2800 mAh, akkor hogyan válthatjuk át ezt az értéket a töltés szokásos coulomb egységére?

*Megoldás:* Alakítsuk át az áramerősség mértékegységét $\left(1\text{A} = \frac{1\text{C}}{1\text{s}}\right)$, vagyis fejezzük ki a töltés mértékegységét, a coulombot az áramerősség és az idő mértékegységével: 1 C = 1 As (1 coulomb = = 1 amperszekundum). Ezek után végezzük el a következő átváltásokat: 1 mA = $10^{-3}$ A, 1 h = 3600 s = = 3,6 · $10^3$ s, vagyis 1 mAh = = ($10^{-3}$ A) · (3,6 · $10^3$ s) = 3,6 As = 3,6 C.

Tehát 2800 mAh = (2800 · 3,6) C = = 10 080 C ≈ 10 000 coulomb.

*Megjegyzés:* Felmerülhet az a kérdés, hogy miért használják a mAh mértékegységet a coulomb helyett, ha közöttük mindössze 3,6 a váltószám. Ennek magyarázata az, hogy a mAh használata nagyon praktikus. Például, ha a fogyasztón átfolyó áram 100 mA-es, akkor könnyű kiszámítani, hogy a 2800 mAh-s elem 28 órán keresztül tudja szolgáltatni ezt az áramot, hiszen (100 mA) · (28 h) = 2800 mAh.

## Az akkumulátorok

A kémiai áramforrások másik fontos típusát alkotják az akkumulátorok, melyek a galvánelemek mellett egyre elterjedtebbek. **Az akkumulátor lényegében nem más, mint egy megfordítható működésű, vagyis reverzibilis galvánelem.** Az akkumulátor feltöltött állapotban lényegében úgy működik, mint egy galvánelem. Amikor az elektródák „elfogytak” (vagyis az akkumulátort működtető kémiai folyamatok befejeződtek), akkor az akkumulátor kisütött állapotba kerül, kezdeti feszültségértéke lecsökken. Ekkor el kell kezdeni a feltöltését. A töltés során a kapcsaira adott feszültség hatására ellenkező irányú töltőáram alakul ki (ilyenkor az akkumulátor mint fogyasztó energiát vesz fel), melynek hatására az előbbi vegyi folyamat fordított irányban megy végbe, és az elektródák anyaga eredeti állapotba kerül vissza. A folyamat végén az akkumulátor feltöltődött, és ismét betölti egy áramforrás szerepét. A töltési feszültségnek valamivel magasabbnak kell lennie, mint az akkumulátor saját feszültségének, mert csak így fordítható meg a benne lejátszódó kémiai folyamat. Ez a helyreállítódás nem teljesen tökéletes, ezért néhány száz (esetleg egy-két ezer) feltöltés után az akkumulátor már nem használható. A legelterjedtebb elemméretekben vásárolhatunk akkumulátort is.

### A LEGELTERJEDTEBB AKKUMULÁTOROK *(Olvasmány)*

A mobiltelefonok, fényképezőgépek, laptopok akkumulátorai **lítium-ionosak.** A pozitív elektróda ezekben a lítium valamilyen vegyülete, a negatív elektróda lehet szén-, titán-, szilícium- vagy germániumvegyület is. Általában 3,7 V-os vagy ennek egész számú többszöröse a feszültségük. Összes töltésüket méretük határozza meg, grammonként 140 mAh körüli értékűek. Nagy előnyük, hogy bármikor tölthetők, sőt nem szeretik, ha teljesen lemerítik őket. Élettartamuk átlagosan három év. Könnyű súlyuk miatt széleskörűen alkalmazzák olyan különleges helyeken is, mint műholdak energiaforrása, sőt elektromos autókban is. Nagy hátrányuk viszont a magas áruk.

Főleg autókban elterjedtek a **savas ólomakkumulátorok.** Ezek hat cellája összesen körülbelül 12 V feszültséget szolgáltat. Nagyon nagy a töltéstároló képességük, a kamionok akkumulátorai meghaladhatják a 200 Ah-s értéket is. Hatalmas áramokat képesek leadni, indításkor akár több száz ampert is tudnak szolgáltatni rövid ideig. Átlagosan 4-6 évig használhatóak. Hátrányuk a nagy súlyuk, valamint az, hogy az ólom erősen környezetszennyező nehézfém, továbbá az elektrolitnak használt hígított kénsav is súlyos környezetvédelmi problémákat vet fel. Manapság egyre elterjedtebbek a zárt, zselés ólomakkumulátorok, melyek egész élettartamuk alatt semmilyen karbantartást nem igényelnek.

Egy személyautó 12 V-os, 44 Ah-s akkumulátora

## SZÁMOLJUK KI!

Egy átlagos, 55 Ah-s autóakkumulátor mennyi ideig terhelhető 3A-es árammal? (Nagyjából ekkora az áramerősség, ha az autó zenelejátszó berendezéseit igen hangosan üzemeltjük, vagy égve maradnak a gépkocsi helyzetjelző lámpái.

*Megoldás:* Először számoljuk ki, mennyi töltést tud az akkumulátor előállítani. Mivel 1 Ah = 3600 C, ezért az akkumulátor összes töltése $Q = 55 \cdot 3600 = 198\,000$ C.

Az $I = \frac{Q}{t}$ összefüggésből ki tudjuk fejezni az időt:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{198\,000\ \text{C}}{3\ \text{A}} = 66\,000\ \text{s} = 18\ \text{h}\ 20\ \text{perc}.$$

Ennyi ideig persze nem érdemes a zenét hallgatni, mert az autó indítása már az akkumulátor teljes kapacitásának háromnegyed részénél is kérdéses. Tovább bonyolítja a kérdést, hogy az akkumulátor sem egyenletesen merül. Egy új és teljes egészében feltöltött akkumulátornál ezért maximum 4 órán keresztül maradhatnak bekapcsolva a helyzetjelző fények.

## Hogyan volt régen?

A galvánelemek elnevezés Luigi Galvani (1737–1798) olasz orvos és fizikus nevéből ered, elsőként Volta nevezte így ezeket az eszközöket. Ő jött rá, hogy áram akkor keletkezik, ha két különböző fémet folyadékba merítünk. Galvani iránti tiszteletből a jelenséget galvanizmusnak nevezte el. Ki is fejlesztette az első jól használható galvánelemet, amelyben a két fémelektróda cink (vagy ezüst) és réz (vagy ón) volt, a köztük lévő elektrolit pedig hígított kénsav. Egy ilyen cella kb. 1 V feszültséget tudott adni. Nagy hátránya volt ennek a telepnek, hogy a feszültsége hamar leesett, és ilyenkor hosszabb ideig pihentetni kellett.

Volta bemutatja Napóleonnak a Volta-oszlopot

Egy Volta-féle oszlop, ami nem más, mint sok Volta-féle elem összekapcsolásával nyert áramforrás

## Tőled függ!

A kimerült galvánelem, az elhasznált akkumulátor veszélyes hulladéknak számít, különösen az ólom- és a Ni-, illetve Cd-tartalmú akkumulátorok. Tele vannak mérgező nehézfémekkel, savmaradékokkal. Ezért szemétbe nem hajíthatók, hanem csak az erre kialakított gyűjtőkbe szabad elhelyezni őket. Gondolj bele, hogy évente körülbelül 40 millió darab elem fogy hazánkban! Az elemek súlya kicsi, de ha utánaszámolunk, azt látjuk, hogy ennyi elem egy év alatt körülbelül 1400 tonnányi kémiai hulladékot jelent, ami nagyjából 400 elefánt súlyának felel meg. Szerencsére az eladott elemek száma csökken, mert egyre többen térnek át tölthető elemekre. Tedd te is ezt! Ezek használata nemcsak gazdaságosabb, hanem a környezetet is véded vele. Nem újratölthető elemet csak akkor érdemes vásárolnod, ha rendkívül kis fogyasztású eszközbe akarod betenni, mint amilyen például egy kvarcóra vagy a tévé távirányítója, esetleg egy LED-es kerékpárlámpa. Ekkor is érdemesebb azonban tartós elemet vásárolnod.

A kimerült galvánelem, az elhasznált akkumulátor veszélyes hulladéknak számít, csak az erre kialakított gyűjtőkbe szabad elhelyezni őket

## Hallottál róla?

**1.** A harmadik fajta kémiai áramforrás az **üzemanyagcella vagy fűtőanyagcella.** Az üzemanyagcella egyfajta akkumulátor, amelybe folyamatosan táplálják az „üzemanyagot". A legelterjedtebb fajtája hidrogénből és a levegő oxigénjéből állít elő elektromos áramot, miközben végtermékként tiszta víz képződik. A folyamatot nagyjából úgy kell elképzelnünk, mint az árammal való vízbontás megfordítottját. Ilyen cellákat az űrkutatásban már az 1960-as évek óta használnak, és ott jól beváltak. A hidrogén helyett az üzemanyag lehet alkohol is, ekkor az áram mellett víz és szén-dioxid keletkezik. Az üzemanyagcellák várhatóan néhány éven belül kereskedelmi forgalomban is megjelennek. Egy-két évtizeden belül talán az autók villanymotorjához szükséges áramot is ezek fogják megtermelni. Előnyük a hagyományos akkumulátorokkal szemben az, hogy azonos térfogatban kisebb súly mellett sokkal több energiát képesek tárolni. Az üzemanyagcella ígéretes a megújuló energiaforrások hasznosítása terén is. A szél- vagy naperőművel termelt áram időbeli eloszlása szeszélyesen változik az időjárás függvényében. Az áramot önmagában nem lehet raktározni, de lehetne vizet bontva hidrogént termelni, amit üzemanyagcellákba töltve tetszőleges időben termelhetnénk áramot. Az ilyen jellegű alkalmazások azonban még csak kísérleti stádiumban vannak, és hátrányuk az, hogy egyelőre nagyon drágák.

**2.** Az elektromos energia tárolásának csak egyik lehetséges módja az **akkumulátor**. Az akkumulátorokkal sokan nincsenek megelégedve, mert nem képesek olyan ütemben fejlődni, mint a mikroelektronika. Egy mai laptop összehasonlíthatatlanul többet tud, mint egy tíz évvel korábbi, mégis ugyanolyan lítiumion-akkumulátor táplálja.

**3.** A galvánelemek és a hálózati áram mellett vannak más típusú áramforrások is. Ilyen például a **termoelem**. A termoelem két különböző fémből vagy ötvözetből álló, egy pontban összehegesztett huzalpár. Ha az összehegesztési hely hőmérséklete különbözik a szabad végek hőmérsékletétől, akkor a hőmérséklet-különbséggel közelítőleg arányos feszültség lép fel a szabad végek között. Gáztűzhelyek lángrózsája mellett mindig találhatunk egy kis függőleges rudacskát, ami egy termoelem melegpontja. Ha a hőmérséklete elér egy bizonyos magas értéket, akkor a termoelem árama már elegendő ahhoz, hogy egy elektromágnest működtessen, és ezután már nem kell benyomva tartanunk a tűzhely gázkapcsolóját, az elektromágnes nyitva tartja a gázcsapot. Ha valamiért a láng elalszik, a termoelem lehűl, nem termel áramot, ilyenkor az elektromágnes kikapcsol, a gázcsap elzáródik. Ez a biztonsági berendezés hatásosan akadályozza meg a gázrobbanásos baleseteket. A termoelemek feszültsége nagyon kicsi, ezért csak különleges esetekben használhatóak áramforrásként (például a Naptól távoli űrhajókban radioaktív bomlás termeli a hőt, ami termoelemet működtet mozgó alkatrész nélkül, akár évtizedekig). A termoelem szabad végeit állandó hőfokon tartva, a szabad végek közé kapcsolt műszeren mérhető feszültség viszont **hőmérséklet-mérésre használható**. Ilyen módon a mérendő ponttól távoli helyen olvashatjuk le a hőmérsékletet.

### NE FELEDD!

**A legelterjedtebb áramforrások manapság a kémiai áramforrások és a kiépített elektromos hálózat.**

**A kémiai áramforrások közül a galvánelemekkel és az akkumulátorokkal (tölthető elemekkel) találkozhatunk leggyakrabban.**

**A közönséges elemek nem tölthetők újra, az akkumulátorok igen, ezért többnyire célszerű ez utóbbiakat használni. Mivel mindkettő a környezetre káros különböző fémeket és savakat tartalmaz, ezért veszélyes hulladékok, szemétbe nem dobhatók, elhasznált állapotban a gyűjtőhelyen a helyük.**

### EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Gyűjts össze otthon minél több különböző elemet, akkumulátort! Nézd meg feliratukat, milyen fizikai jellegű információkat tudsz összegyűjteni?

2. Egy 3000mAh-ás akkumulátorral hány óráig tudsz üzemeltetni egy olyan LED lámpát, aminek áramfelvétele 10mA?

3. Egy Li-ion akkumulátor 1200 mAh-ás. 4 óra alatt lehet teljesen lemerült állapotból feltölteni. Mekkora minimális töltőáram szükséges ehhez?

4. Egy fényképezőgép lítiumion-akkumulátora 870 mAh töltéssel rendelkezik. Három óráig lehet vele folyamatosan fényképezni? Mennyi az átlagos áramfelvétele, ha feltesszük, hogy az akkumulátor teljesen lemerül?

5. Egy fényképezőgép átlagosan 830 mA-es áramot vesz fel működése közben. Négy darab 2000 mAh-s elemmel mennyi ideig lesz működőképes, ha feltételezzük, hogy az elemek végül teljesen lemerülnek?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy akkumulátor oldalán azt olvassuk, hogy 16 órán át kell tölteni 200 mA-es árammal. Ugyanakkor az is szerepel rajta, hogy 2050 mAh-s. A töltés során az elektromos töltések hány százaléka hasznosul?

2. Készíts Volta-oszlophoz hasonló áramforrást! Hozzávalók: azonos számú 10 és 20 Ft-os, kb. ugyanekkora méretű korongok itatóspapírból (ha nincs, akkor fénymásolópapírból), sós víz, egy alufólia darab a legalsó réteg alá. Mérd meg, hogy a valahány rétegből álló „Volta-oszlopod" kivezetésein mekkora feszültség jelenik meg!

3. Egy 60 Ah-ás autóakkumulátorról akarunk egy 12 V-os csónakmotort üzemeltetni. A csónakmotor áramfelvétele 40 A. A csónakot 6 km/h-ás sebességgel tudja mozgatni. Kb. milyen messzire mehetünk el a kikötőhelytől, ha visszafelé nem szeretnénk evezni?

4. Egy fényképezőgép 750 mAh-s akkumulátorról üzemel. Folyamatos fényképezés mellett 3 órát lehet használni. Készenléti üzemmódban 10 óra alatt merül le. Öt óra készenlét után hány órát tudunk vele még fényképezni?

5. Egy fényképezőgép akkumulátora 800 mAh-s. 90%-os töltöttségről indulva 10 óra készenléti üzemmód után 20%-os töltöttséget mutat. Másnap két órán át töltjük 150 mAh-s árammal. Ezt követően két órán át használjuk, majd öt óra készenlét után teljesen lemerül. Egy teljesen feltöltött akkumulátorú géppel hány órán át lehet folyamatosan fényképezni?

6. Egy műhold egyik elektromos berendezésének áramellátását tervezik meg a szakemberek. Az egyik fejlesztő csoport szerint egy 450 g tömegű, 5000 F kapacitású, 2,4 V-os szuperkondenzátorral a berendezés kellő ideig üzemeltethető. Egy másik csoport inkább a lítiumionos akkumulátorban bízik. Ezek grammonként 150 mAh töltést tudnak tárolni feltöltött állapotban. Melyiket érdemesebb a műholdnál használni, ha a telep feszültsége nem túlságosan érdekes, és ha a cél az, hogy minél könnyebb legyen a berendezés?

# 11. | Mitől függ, hogy milyen erős az áram?

*Amikor az áramot felhasználjuk, akkor valahonnan elvezetjük valahová, ahol céljainknak megfelelően átalakítjuk, vagyis áramkört állítunk össze. A különböző áramkörök teszik lehetővé, hogy az áramot sokoldalúan felhasználhassuk. Ebben a leckében megismerhetjük, hogy milyen tényezők határozzák meg az áram erősségét egy áramkörben, milyen egyszerű elemekből építhetünk áramköröket, és hogy miként mérhetjük az áramerősséget és a feszültséget.*

## Az áramkör részei

Egy áramkörnek a következő részei lehetnek:

**Áramforrás:** Ez feltétlenül kell, lehet galvánelem, akkumulátor vagy tápegység, sokszor ez maga az elektromos hálózat.

**Fogyasztó:** Ez is feltétlenül kell, mert az áramot valaminek fel kell használnia. Esetünkben ez legyen valamilyen zsebizzó.

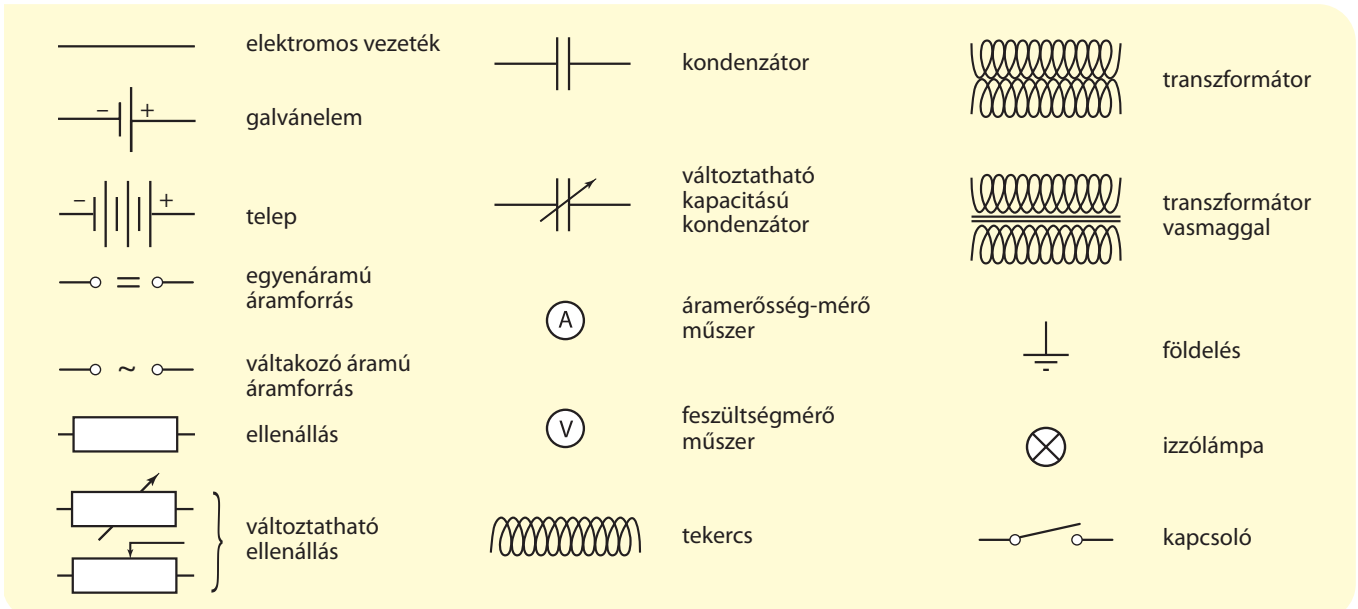
**Kapcsoló:** Ez nem kell feltétlenül. Néha csak a vezeték csatlakoztatásával vagy megszakításával is megoldható az áramkör ki- és bekapcsolása, de mindenképpen igényesebb és biztonságosabb, ha kapcsolókat használunk. Nagyobb feszültségeknél azonban mindenképpen használnunk kell őket. Az egyszerű megszakító kapcsoló mellett ismerünk jóval bonyolultabb feladatokat ellátó kapcsolókat is.

**Vezetékek:** Ez feltétlenül kell. A vezetékek kötik össze a fogyasztókat az áramforrással, teszik lehetővé, hogy áram haladjon keresztül a fogyasztón.

**Szabályozóelemek és egyéb összetett elemek:** Ilyenek például az ellenállás, a tranzisztor, a kondenzátor vagy a dióda, és még sok minden más. Összetettebb elektronikus áramkörök többfajta eszköz bonyolult kombinációival hozhatók létre.

**Mérőműszerek:** Ha az áramkörünkben feszültség- vagy áramerősség-adatokat szeretnénk mérni működés közben, akkor megfelelő mérőműszereket kell bekötnünk, melyek így az áramkör részévé válnak.

Az áramköröket kapcsolási rajzzal szoktuk megjeleníteni, amelyhez az alábbi jelöléseket használjuk.

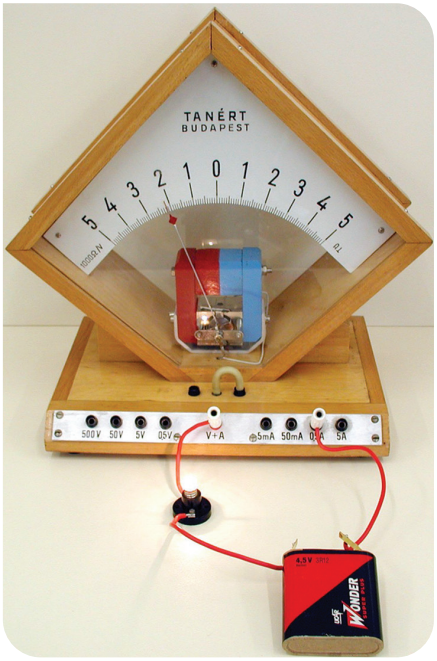



A legfontosabb áramköri jelek (megjegyezzük, hogy manapság már nem szokás az ampermérő és a voltmérő esetében a műszerek mutatójára utaló ferde nyilakat berajzolni, mert mindenhol egyre inkább digitális műszereket használunk)

## A mérőműszerek használatáról

A manapság használatos mérőműszerek főként digitális multiméterek, melyek közül a legegyszerűbbek is legalább áramerősség, feszültség és ellenállás mérésére használhatók. Bekötésüknél ügyelnünk kell néhány dologra. Először is a COM jelű csatlakozóba mindig dugjunk vezetéket. A COM az angol common (közös) szó rövidítése. A másik vezeték csatlakoztatásával döntjük el, hogy kis vagy nagy áramokat, illetve feszültséget vagy ellenállást akarunk mérni. Fontos arra is figyelnünk, hogy mielőtt a mérőműszert bekötjük, a forgókapcsolóval válasszuk ki, hogy mit akarunk mérni. A fontosabb jelek: egyenáram: DC, =, váltakozó áram (gyakran kissé pontatlanul váltóáram): AC, ~. A DC az angol direct current (egyenáram), az AC az alternating current (váltakozó áram) szavak rövidítése.

Egyszerű digitális multiméter

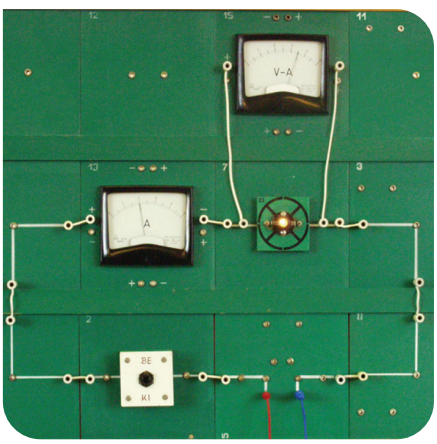



Iskolai demonstrációs műszerrel összeállított egyszerű áramkör, áramerősség-méréssel. Iskolai demonstrációs műszerrel összeállított egyszerű áramkör, amikor az izzón átfolyó áramerősséget mérjük. A műszernél a 0,5 A-es méréshatárú dugaljt használtuk, így az végkitérésben 0,5 A-t mutatna. Ennek alapján az áramerősség most 0,22 A

Az úgynevezett demonstrációs műszer bekötésénél ügyelnünk kell a helyes polaritásra, ha a műszer nem középállású. Az áramforrás + sarkát a műszer + bemenetéhez kell csatlakoztatnunk, a másik vezetékkel pedig a feszültség vagy az áramerősség méréshatárát kell megválasztanunk. Fontos szabály az, hogy a legnagyobb méréshatárral kezdjük a mérést, és ha ott kicsi a kitérése a műszernek, akkor haladjunk a kisebb felé. Célszerű egy adott mérés során már nem változatni ezt a méréshatárt. Ugyanezek a szabályok érvényesek a kézi műszerek, multiméterek esetében is, azt a legnagyobb méréshatárral érdemes kezdeni, majd csökkenteni a méréshatárt. Különösen az ampermérésnél kell figyelnünk, mert ha nagy áramot engedünk át az érzékeny méréshatárra állított ampermérőn, akkor tönkretehetjük a műszert (szerencsés esetben ilyenkor egy olvadóbiztosító-cserével megoldható a probléma).

Fontos szabály az is, hogy megfelelően kössük be a mérőműszereket. A **voltmérőt** úgy célszerű bekötni, hogy először összeállítjuk az áramkört, majd a voltmérő két kivezetését **arra a két pontra** illesztjük, **melyek között a feszültséget mérni kívánjuk**.

Az **ampermérőn** viszont át kell folynia az áramnak, ezért a polaritásokra ügyelve **sorba kötve** tegyük be az áramkörnek abba az ágába, amin az átfolyó áramot mérni akarjuk.

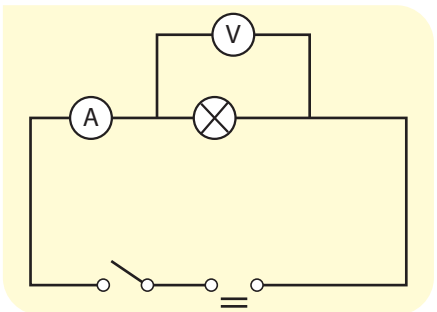



Egyszerű áramkör az ellenállás szemléltetésére és mérésére

## Az ellenállás

Most, hogy megtanultuk az áramkör részeit, állítsuk össze a fényképnek megfelelő kapcsolást. Áramforrásként használjunk tápegységet, melyen a megfelelő feszültség beállítható. A kapcsolásokat gyakran előbb megfelelő áramköri jelekkel lerajzoljuk, majd a rajz alapján készítjük el a kapcsolást.

Miután összeállítottuk az áramkört, cseréljük ki az izzót más típusú izzólámpákra, valamint LED-izzókra. (Közben persze ügyelnünk kell arra, hogy




Az áramkör kapcsolási rajza

## Hogyan volt régen?

Georg Simon Ohm (1789-1854) német fizikus és matematikus

Ma a középiskolában az Ohm-törvény az egyik legegyszerűbbnek gondolt törvény. A maga korában azonban nem volt még magától értetődő, és amikor Ohm az eredményeiről 1826-ban beszámolt, akkor meglepő kétkedéssel fogadták azokat.

Ohm idején a törvényszerűséget nehéz volt kimérni, mert se mérőműszerek, se megfelelő áramforrások nem álltak rendelkezésre.

Ohm a korban már elterjedt Volta-oszlopokat nem használhatta, mert azok feszültsége nem elég stabil, hamar csökken a feszültségük. Ezért Ohm termoelemeket használt, amelyek viszont nagyon kis feszültséget adtak. Ezeknél két különböző fém összeforrasztási helyét melegíteni kell, miközben az áramkör többi részét hűtjük.

Az így előálló kis áramerősségek megmérése volt Ohm egyik legnagyszerűbb eredménye.

Mai tudásunk szerint az Ohm-törvény csak közelítőleg teljesül, vagyis bizonyos értelemben a kétkedőknek igazuk volt.

az izzólámpa névleges feszültsége ne legyen kisebb, mint az áramforrásunk feszültsége, mert az izzó tönkremehet.)

Azt tapasztaljuk, hogy míg a feszültség lényegében nem változik, addig az áramerősség nagymértékben változhat, a LED-lámpánál például egészen kicsi áramerősséget mérhetünk.

Mi az a jellemzője az izzólámpáknak, ami állandó feszültség mellett meghatározza azt, hogy mekkora lesz az áramerősség? Ez a jellemző az **elektromos ellenállás. Nagy ellenállású** izzólámpa esetén **kis áramerősség** lesz, **kis ellenállású** izzó esetén pedig **nagy áramerősség.**

Az ellenállás **jele *R*. Mértékegysége: ohm**. Az ohmot nem jelölik o betűvel, mert könnyen összekeverhetnénk a 0 számmal – ezért a görög nagy Ω (omega) betűt választották.

1 Ω az ellenállása egy fogyasztónak, ha 1 V hatására 1 A áram folyik át rajta. Egy fogyasztó ellenállását a következő módon tudjuk kiszámolni:

$$\text{Ellenállás} = \frac{\text{feszültség}}{\text{áramerősség}},$$

képlettel $R = \frac{U}{I}$

Ebből a kiszámítási módból láthatjuk, hogy az $1\ \Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}$

Nagyon gyakran használt egység a kΩ (kiloohm), ami 1000 Ω-ot jelent, és a MΩ (megaohm), ami egymillió ohmot jelent.

### Ohm törvényének kimérése

Ha az ellenállás a fogyasztó egyik jellemzője, akkor felmerülhet bennünk az a kérdés, hogy ez az érték állandó nagyságú vagy változó.
Kevés kivételtől eltekintve a legtöbb fogyasztónak az ellenállása függ a hőmérsékletétől.
(Mint később látni fogod, a volfrámszálas izzólámpák éppen olyanok, hogy minél fényesebben izzanak, annál nagyobb az ellenállásuk.)
Ha gondoskodunk arról, hogy a homogén, fémes anyagból készült fogyasztó hőmérséklete állandó maradjon, akkor **a fogyasztóra eső feszültség és a rajta átfolyó áram erőssége között egyenes arányosság áll fenn**. Ez **Ohm törvénye**.

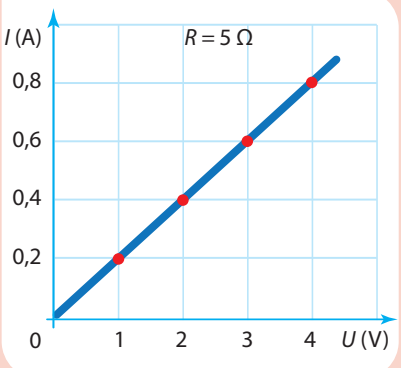
Gyakran az $R = \frac{U}{I}$. összefüggésre (vagyis az elektromos ellenállást

### KÍSÉRLETEZZ!

Cseréljük az előző áramkörben az izzólámpát egy huzalellenállásra (ez olyan anyagból készült, melynek ellenállása csak elhanyagolható mértékben függ a hőmérséklettől, ilyen például az invar nevű vas-nikkel ötvözet).

Feszültségforrásnak válasszunk olyat (például megfelelő tápegységet), melynek feszültségét lépésenként tudjuk változtatni. Jegyezzük fel táblázatba az egyes lépéseknél kapott összetartozó feszültség- és áramerősség-értékeket!

Érdemes grafikonon is ábrázolni a mérési eredményeket. Az összetartozó $\frac{U}{I}$ hányadosok közel állandóak lesznek.




Számoljuk ki a grafikon alapján is, hogy mennyi a huzalunk ellenállása!

meghatározó képletre) is ezt mondjuk, hogy az Ohm-törvénye. Feltett kérdésünkre tehát megadhatjuk a választ:
**Állandó hőmérséklet** mellett a homogén, **fémes anyagból készült fogyasztók elektromos ellenállása állandó.**

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Ellenállást házilag úgy készíthetünk, ha megfelelő ellenálláshuzalból adott hosszúságú darabot használunk fel. Nagyon elterjedt például az Isachrom 60 elnevezésű ellenálláshuzal, amelynek ellenállása méterenként 5,65 Ω, 0,5 mm-es átmérő mellett. Mekkora hosszúságú darabot használjunk fel ebből, ha 10 Ω-os ellenállásra van szükségünk?

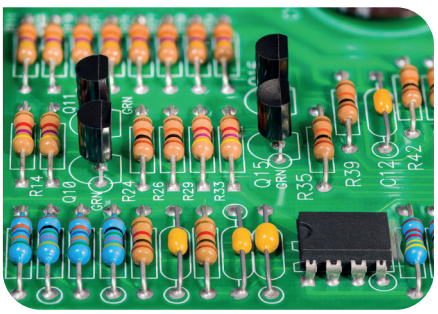
*Megoldás:* A multiméterünket állítsuk át ellenállásmérésre. A huzal egyik végét krokodilcsipesszel fogassuk be, és csatlakoztassuk a műszerünkhöz. A műszerhez csatlakoztatott vezetékünket lassan húzzuk végig a kiterített, egyenes vezeték mentén. Azt tapasztaljuk, hogy minél hosszabb szakaszt veszünk, annál nagyobb lesz az ellenállás, **a vezető hossza és ellenállása között tehát egyenes arányosság van.** Ha tehát egy 10 Ω-os ellenállásra van szükségünk, akkor az adott ellenálláshuzalból (10 Ω) / (5,65 Ω/m) = 1,77 m-t kell vennünk.

## NE HIBÁZZ!

Az ellenállás szó magyarul nemcsak fizikai mennyiséget jelent, hanem áramköri elemet is, amivel szinte minden elektronikai berendezésben találkozhatunk. Az angol diákoknak könnyebb dolguk van, mert ott két külön szót használnak a fizikai mennyiségre (angolul resistance) és az áramköri elemre (resistor). Ebben a leckében az ellenállásról mint áramköri elemről lesz szó.

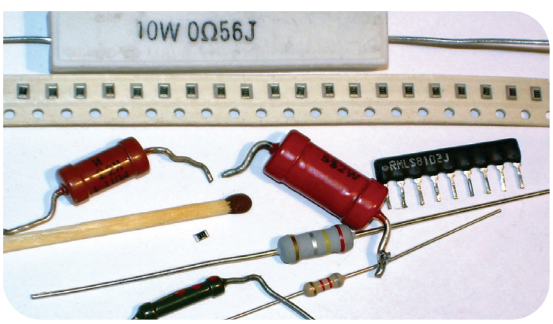
### Az ellenállás mint áramköri elem

Ellenállást sokfajta módon készítenek. Gyakori módja az, hogy a kerámiaszigetelőre feltekernek megfelelő hosszúságú, megfelelő ellenállású szigetelt vezetéket. A másik nagyon gyakori eljárás az, amikor szintén kerámia szigetelőalapra fém- vagy szénrétegeket gőzölnek fel. A legtöbb ellenállás bizonyos hibahatárral készül, amit szintén feltüntetnek rajta. Ha egy ellenállás színkódjából azt olvassuk ki, hogy értéke 25 kΩ ± 10%, akkor ez azt jelenti, hogy értéke 22,5 kΩ és 27,5 kΩ közötti lehet.

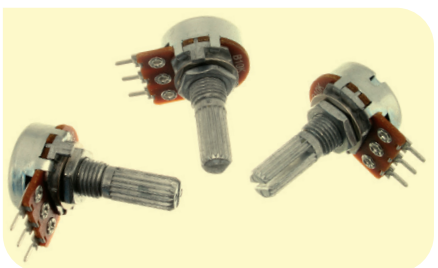


Színkódos ellenállások

Sokrétűen használhatók a **változtatható ellenállások** vagy tolóellenállások, illetve potenciométerek (röviden potméterek). Ezeknél eltolható vagy elforgatható csúszka segítségével változtathatjuk meg az áramkörbe bekapcsolt ellenállás értékét.



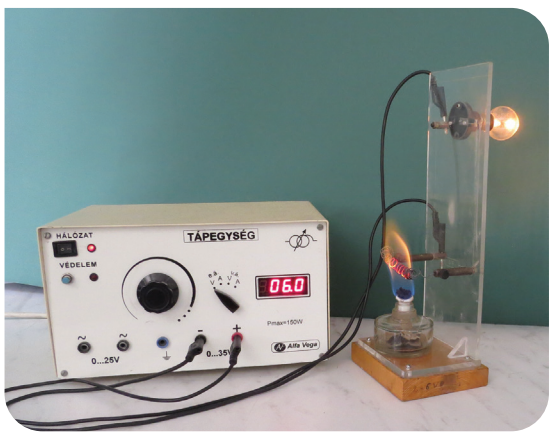

Különböző méretű ellenállások



Potméterek

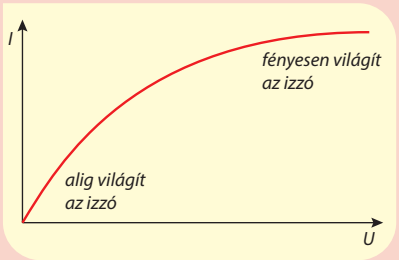
### A hőmérséklet hatása az ellenállásra

A bal oldali képen egy olyan kísérleti elrendezést láthatsz, amivel igazolható, hogy a **fémek ellenállása növekszik a hőmérséklettel**. Amikor a gázégővel melegítjük a huzalt, akkor láthatjuk, hogy a körbe kapcsolt árammérő műszer egyre kisebb áramerősséget mutat. Változatlan feszültség mellett ez azt jelenti, hogy az ellenállás növekszik. Ismételjük meg a kísérletet úgy, hogy a huzal helyére egy grafitceruzából kinyert grafitszálat teszünk. Ezt gázlánggal nem melegíthetjük, de melegszik az magától is, ha megfelelő feszültséget kapcsolunk rá. Azt tapasztaljuk, hogy amint melegszik, úgy a feszültségnél nagyobb ütemben nő az áramerősség, tehát a grafit (ami tulajdonképpen a szén egy módosulata) ellenállása növekvő



## KÍSÉRLETEZZ!

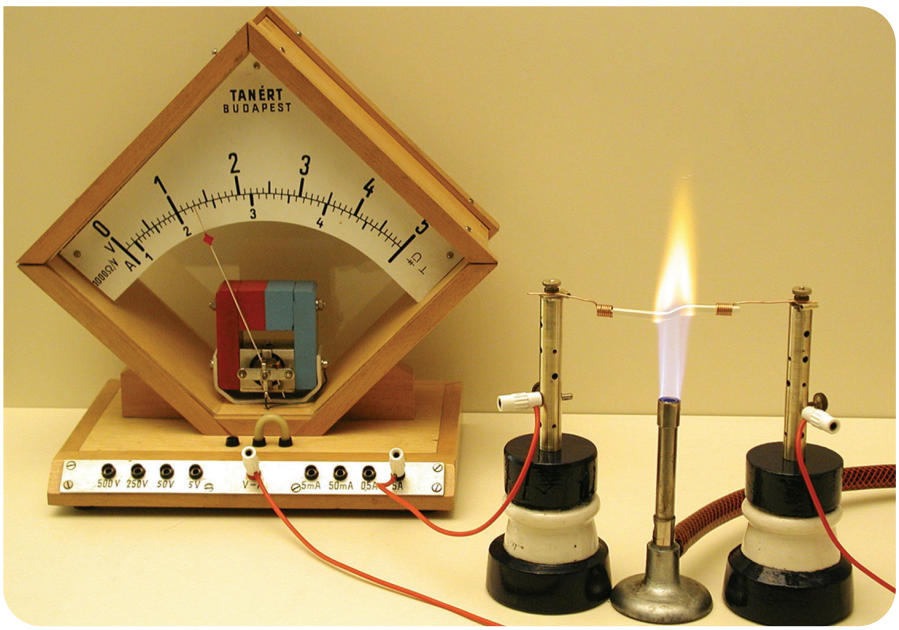
Végezzük el az Ohm-törvény kimérésénél alkalmazott kísérletünket, de most a ellenállásnak használjunk zsebizzót. A feszültséget úgy állítsuk be, hogy az izzó a mérés indításakor még ne világítson, majd fokozatosan növeljük a feszültséget egészen az izzóra kapcsolható maximális feszültségig. Közben jegyezzük fel a mért áramerősségeket! Adatainkat foglaljuk táblázatba, majd ábrázoljuk az izzón átfolyó áramot a feszültség függvényében!




Eredményül egy fokozatosan ellaposodó görbét fogunk kapni. Azt látjuk, hogy nagyobb feszültségeknél (azaz a fényesebben világító izzónál) már hiába növelem a feszültséget, az áramerősség alig nő. Ezt az Ohm-törvényével ellentétes jelenséget úgy tudjuk értelmezni, hogy az izzó nagyobb fényerejénél nagyobb lesz az izzószál ellenállása. Ez pedig előző kísérletünkkel összhangban úgy magyarázható, hogy a fokozatosan melegedő, egyre jobban izzó volframszál hőmérsékletének növekedése során annak ellenállása is nő. Ezért kellett hangsúlyoznunk, hogy Ohm-törvénye csak állandó hőmérséklet esetén teljesül, vagy olyan anyagnál, amelyik nem változtatja ellenállását a hőmérséklet hatására.

hőmérséklettel csökken. Ilyen tulajdonságú anyagok a félvezetők, amelyekről később még többet hallhatsz.

Nagyon érdekesen viselkedik az üveg, ami szobahőmérsékleten szigetelő, lényegében nem vezeti az áramot. Ha gázláng segítségével a képen látható módon izzásig melegítjük az üveget, akkor az üveg vezetővé válik. Azt is meg lehet ilyenkor figyelni, hogy amikor az üveg vezetővé válik, ugyanakkor elveszíti az átlátszóságát. Az elektromosan jól vezető anyagok (fémek) soha nem átlátszóak.



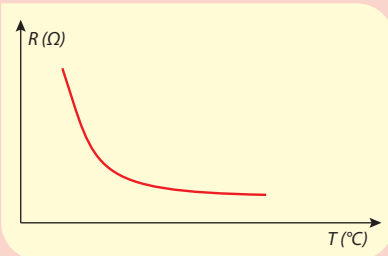

## KÍSÉRLETEZZ!

**Termisztor ellenállásának hőmérsékletfüggése**

A termisztor egy erősen hőmérsékletfüggő ellenállás. Félvezető anyagokból készítik. Mérjük meg ennek hőmérsékletfüggését!

Szükséges kellékek: termisztor; ellenállásmérő üzemmódba kapcsolható univerzális mérőműszer; 3 db főzőpohár, egyikben forró víz, a másikban meleg víz van, a harmadik üres; folyadékos hőmérő;

A mérés menete: A forró vizet tartalmazó főzőpohárba helyezzük bele a folyadékos hőmérőt! Csatlakoztasd a termisztort ellenállásmérő műszerhez, majd merítsd be a vízbe! Ha a folyadékos hőmérő megállapodott, és a termisztor ellenállásának értéke sem változik, olvasd le a műszereket és jegyezd fel táblázatba az adatokat! Változtasd fokozatosan a víz hőmérsékletét! Ehhez a meleg víz egy részét öntsd ki a ki a pohárból az üres edénybe, majd pótold hideg vízzel! Összekeverés után várd meg, amíg a hőmérő és az ellenállásmérő értéke stabilizálódik és olvasd le ismét az értékeket! Így változtatva a hőmérsékletet, mérj legalább 5-6 esetben mérd meg az összetartozó hőmérséklet és ellenállás adatokat. Adataidat foglald táblázatba, majd ábrázold az ellenállást a hőmérséklet függvényében!



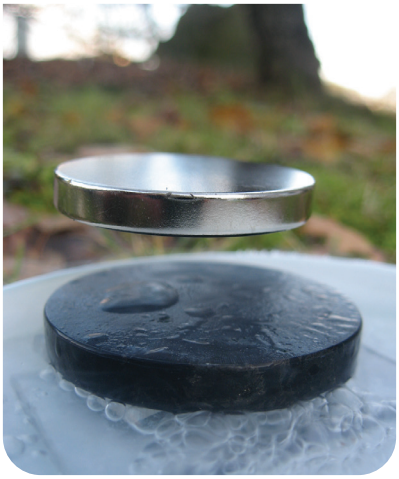

A kapott görbe egyértelműen mutatja, hogy a termisztor ellenállása a hőmérséklet növelésével csökken.

## Hallottál róla?

Bizonyos fémek teljesen elvesztik az ellenállásukat, úgynevezett szupravezetővé válnak. Ennek általában 10 K, azaz –263 °C alatti hőmérséklet a feltétele. Az 1960-as évekre elméletileg is levezették, hogy 30-40 K feletti szupravezetés nem lehetséges, ami akkor nagyon kiábrándítólag hatott a fizikusokra. A magas hőmérsékletű szupravezetésnek ugyanis óriási gazdasági előnyei lennének a veszteségmentes szállítástól az elektromos energia tárolásának a megoldásáig.

Ezért okozott nagy meglepetést az, amikor az 1980-as években kerámiaszerű anyagokban fedeztek fel magas hőmérsékletű szupravezetést. Jelenleg –140 °C körül van a legmagasabb szupravezetési hőmérséklet. Ezek az anyagok már a kereskedelemi forgalomban is kaphatóak, és olcsó cseppfolyós nitrogénnel is lehűthetők szupravezető állapotig. Sajnos azonban nem rendelkeznek a fémekre jellemző jó mechanikai tulajdonságokkal, például nem lehet belőlük huzalt és tekercset gyártani.

2008-ban a szupravezetés ellentettjét is felfedezték, azaz olyan anyagokat találtak, amelyek nagyon alacsony hőmérsékleten (és erős mágneses mezőben) végtelen ellenállásúak lesznek, de magasabb hőmérsékleten nem szigetelők. Az ilyen anyagokat szuperszigetelőknek (superinsulator) nevezték el.



Mágneskorong lebeg cseppfolyós nitrogénnel hűtött magas hőmérsékletű szupravezető felett

### NE FELEDD!

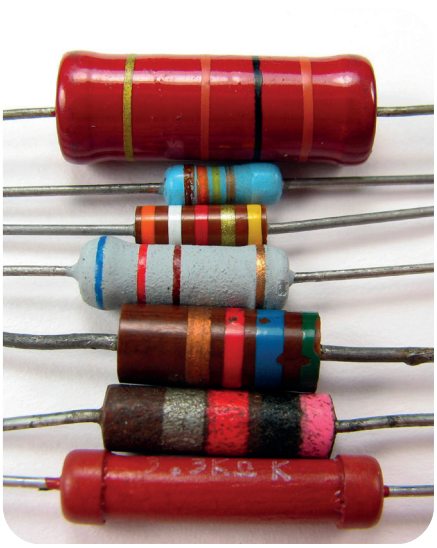
**Egy áramkör áramforrásból, vezetékekből és fogyasztókból áll. Kiegészülhet kapcsolókkal, mérőműszerekkel, szabályozóelemekkel.**

**A fogyasztóra eső feszültség hatására a fogyasztóban áram folyik. Ha a homogén, fémes anyagból készült fogyasztó hőmérséklete állandó, akkor a rajta átfolyó áram erőssége egyenesen arányos a rá eső feszültséggel, vagyis a feszültség és az áramerősség között egyenes arányosság van. Ez Ohm törvénye.**

**A feszültség és az áramerősség hányadosát nevezzük ellenállásnak, mértékegysége: ohm.**

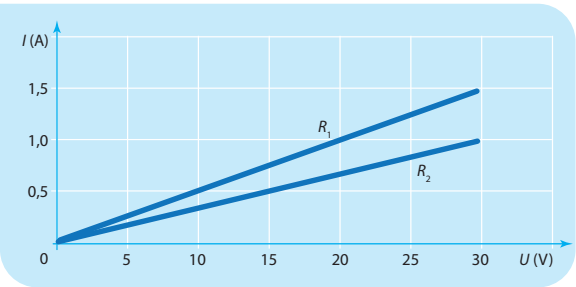
**Az ellenállások a legelterjedtebb áramköri elemek.**

**A fémek ellenállása nő a hőmérsékletük növekedésével.**



## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy villámhárító ellenállása 2 Ω. Rajta 100 kA-es áram is folyhat. Mekkora feszültség alakult ki ilyenkor a villámhárító két végpontja között? Változik-e a villámcsapás következtében a villámhárító ellenállása?
2. Egy zsebizzó foglalatán az szerepel, hogy 3,5 V; 0,8 A. Mekkora ennek az izzónak az üzemi ellenállása (vagyis rendeltetésszerű működés közbeni ellenállása)?
3. Egy kísérletben kétfajta huzal esetén mértünk összetartozó feszültség–áramerősség párokat. A kapott eredményeket az alábbi grafikonon ábrázoltuk. Határozd meg a két huzal ellenállását!



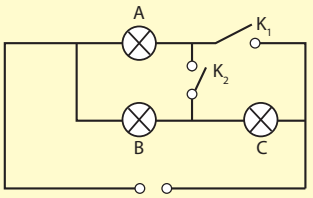

4. Egy ellenálláshuzalról tudjuk, hogy méterenként 5 Ω az ellenállása.
   *a)* Hány méteres darabot kell használnunk belőle, ha 20 Ω-os ellenállást akarunk készíteni?
   *b)* Egy másik esetben mindenképpen duplán kell vennünk, hogy elég erős legyen. Most milyen hosszúságú darabot kell belőle levágnunk, ha azt akarjuk, hogy 20 Ω-nyi ellenállásunk legyen?

   (Használjuk fel, hogy egy huzal ellenállása a következő dolgoktól függ:
   ¬ a hosszával egyenesen arányos;
   ¬ a keresztmetszettel fordítottan arányos.

Villámhárító egy háztetőn

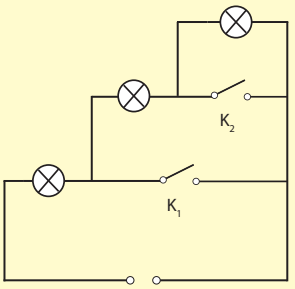
## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Vizsgáljuk meg, hogy az áramkörben a $K_1$ és $K_2$ kapcsolók nyitott, illetve zárt állásában melyik izzó világíthat! Másoljuk le és töltsük ki a táblázatot!




| $K_1$ | $K_2$ | MELYIK IZZÓ VILÁGÍTHAT? |
|---|---|---|
| NYITVA | NYITVA | |
| NYITVA | ZÁRVA | |
| ZÁRVA | NYITVA | |
| ZÁRVA | ZÁRVA | |

2. Milyen kapcsolóállással érhetjük el, hogy

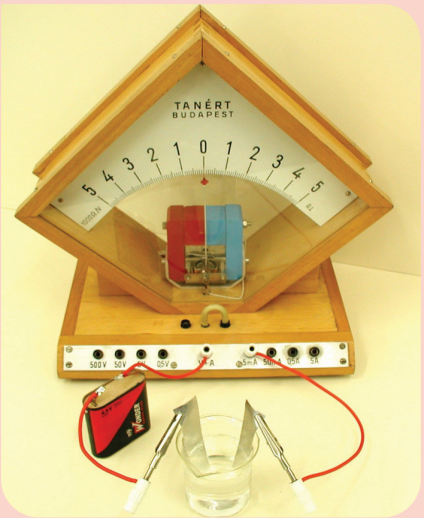



   *a)* 3 izzó világítson?
   *b)* 2 izzó világítson?
   *c)* 1 izzó világítson?

3. Egy ellenálláshuzalt satuba fogunk, majd a másik végét fogóval erősen meghúzzuk. Azt tapasztaljuk, hogy a huzal megnyúlik. Hogy változik az ellenállása?
4. Egy 24 Ω ellenállású, nem szigetelt huzalt félbehajtunk, majd két végénél bekötjük egy áramkörbe. Mekkora lesz így az ellenállása?
5. Egy ellenálláshuzal méterenként 10 Ω ellenállással rendelkezik. Nem szigetelt. Egy 2 m hosszú darabját úgy kötjük be az áramkörbe, hogy 50 cm-t visszahajtunk a végéből. Mekkora lesz így az ellenállása?
6. Számoljuk ki, hogy hány százalékkal változik meg az 1. feladatban a huzal ellenállása, ha a hossznövekedést 10%-osnak tapasztaljuk. (Használjuk fel, hogy a huzal térfogata a nyújtás során nem változik.)

# 12. | Az áram hasznos, de veszélyes!

**KÍSÉRLETEZZ!**




*Mérd meg először a képen látható egyszerű módon azt, hogy mekkora ellenállást mérünk a lemezek között, ha a pohárban csapvíz van!*

*Jegyezd fel az eredményt! Adagolj most fokozatosan konyhasót a vízbe! Figyeld meg, hogyan változik az elektromos ellenállás!*

Kísérletünk azt mutatja, hogy a sós víz fajlagos ellenállása sokkal kisebb, mint a csapvízé, a sós víz elég jól vezeti az áramot.
Testünk nagy része, kb. 70%-a szintén sós víz**. Testünk is jól vezeti az elektromos áramot.**

Testünk ellenállását közvetlenül is megmérhetjük, ha két kezünkbe vesszük az ellenállásmérésre kapcsolt multiméter két kivezetését!

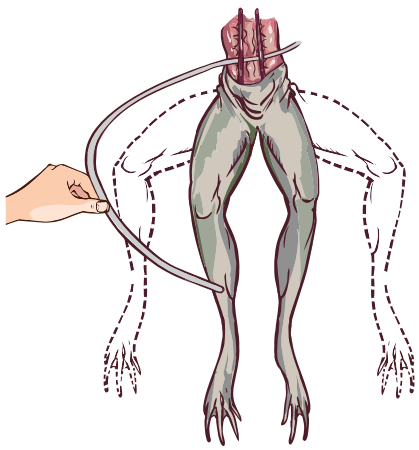
Figyeljük meg, hogy milyen jelentős egyéni különbségeket mutatnak a kapott ellenállásértékek!

Mártsuk kezünket az előző kísérlet sóoldatába, és ismételjük meg így az ellenállásmérést!

Kezünk a sós vízbe mártva sokkal jobban vezeti az áramot. Ha izzadt vagy vizes a kezünk, akkor annak ellenállása sokkal kisebb lesz.

Az ember két keze között az ellenállás általában 1,5 kΩ és 150 kΩ között változik, de akad olyan ember is, akinek ennél jelentősen nagyobb az elektromos ellenállása.

*Galvani kísérletei már megmutatták, hogy az élet és az elektromosság szoros kapcsolatban áll egymással. Agyunk 80 milliárd idegsejtje közt, az idegrendszerünkben, szívünkben, izmainkban finom áramok sokasága folyik életünk során. Idegi működésünk ezeken az áramokon alapul. Az ingerületek elektromos jelek, melyek idegpályákon, az idegszálakban futnak. Erre az érzékeny rendszerre hatalmas csapást jelent az, ha kívülről nagy erősségű áram éri egy áramütés formájában.*



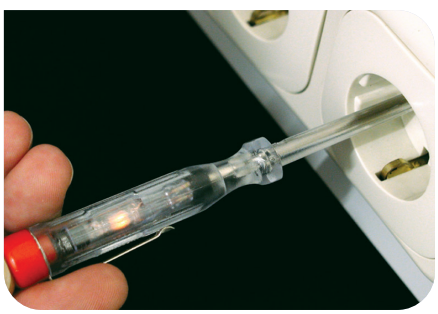
Galvani békacomb kísérlet

## Az emberi test vezetőképességét felhasználó néhány eszköz

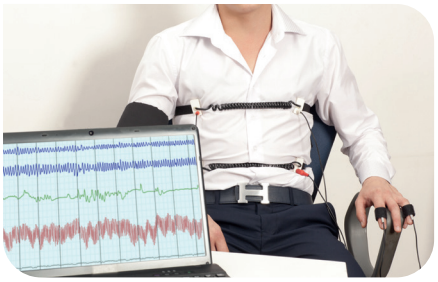
Néhány esetben fel is használjuk azt, hogy az emberi test vezeti az áramot. Az egyik ilyen eszköz a **fáziskereső**.

A fáziskeresőben egy nagy, több MΩ-os védőellenállást kötnek sorba egy ködfénylámpával. Ha a fáziskereső végén a fémérintkezőt megérintjük, akkor a testünkön keresztül nagyon gyenge áram folyik, ami éppen csak elég ahhoz, hogy a ködfénylámpa világítson. Ha nedves kézzel fogjuk meg a fáziskereső érintkezőjét, vagy másik kezünkkel földelt ponthoz (például egy radiátor csövéhez) érünk, akkor a fáziskereső erősebben fénylik fel.

- A másik ilyen eszköz az **érintőképernyők** egyik fajtája. Ennél elektromos töltést halmoznak fel a képernyő felületén. Amikor a felhasználó megérinti ujjával a képernyőt, a töltés rajta keresztül távozik. Az elektronika érzékeli a feszültségingadozást, megállapítja az érintési pont koordinátáit, és továbbítja azt. Az ilyen érintőképernyőket kapacitástípusúaknak nevezik (melyek-



Fázisceruza



Poligráf működés közben

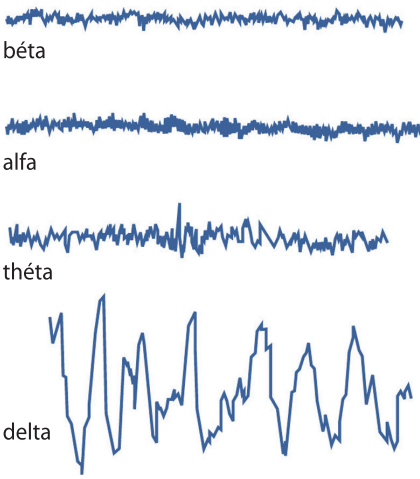
nek ma már számos alfaja is létezik). Az elnevezés onnan származik, hogy az ember keze által elvezetett töltés megváltoztatja a képernyő felületén az elektromos mezőt, és ezt a szerkezet úgy érzékeli, hogy a képernyő sarkai és a felülete közötti kapacitás változik meg más-más mértékben. Így végül is több adatból számítható ki a megérintett pont koordinátája.

- A **hazugságvizsgáló (poligráf)** egy olyan eszköz, amellyel egyfajta szorongásos lelkiállapot mutatható ki, amely általában a hazugság velejárója. Működése azon alapszik, hogy lelki tényezők hatására több élettani jellemző, köztük a test elektromos ellenállása is megváltozik. (Mellette pulzust, vérnyomást, légzési gyakoriságot is vizsgálnak.) A vizsgált illetőnek egy kérdéssorra kell válaszolnia, amely során a kiugróan változó mért értékekből egyes kérdések érzelmi felzaklató hatására következtetnek. Semmiképpen nem tekinthető 100%-os hatékonyságú vizsgálati módszernek.

## EKG és EEG

Az **EEG** az agykéreg működését kísérő elektromos feszültségváltozások mérésére alkalmas vizsgálati eljárás.

Az agykéregben lejátszódó elektromos folyamatok a koponya felszínén elhelyezett igen kis ellenállású elektródokkal vizsgálhatók. A berendezés a mérési pontok közötti apró (10 mV-os nagyságrendű) feszültségváltozásokat felerősítve és különféle szempontok szerint összegezve és kiértékelve ábrázolja az idő függvényében. Az EEG alkalmas kóros folyamatok (például agydaganat, epilepsziás góc, alvási rendellenesség) diagnosztizálására és az agyhalál beálltának megállapítására.




Tipikus EEG-hullámok

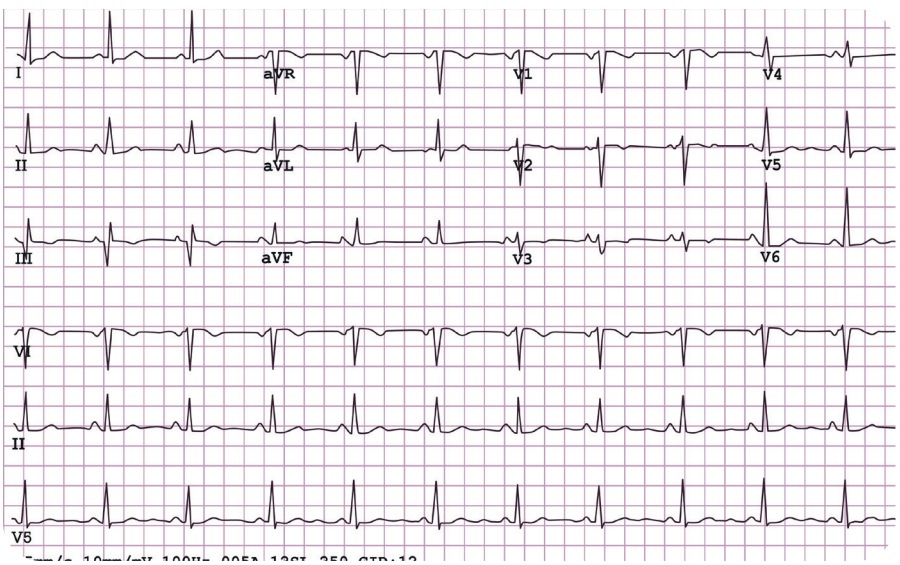
A **béta-hullámok** frekvenciája 20 Hz körüli: az ébrenléti, figyelő állapot jellemzője.

Az **alfa-hullámok** kb. 10 Hz frekvenciájúak: a nyugodt, ellazult állapotú, becsukott szemű ember agyhullámgörbéjét mutatják.

A **théta-hullámok** 3,5–7 Hz frekvenciájúak: ez a könnyű alvás állapota.

A **delta-hullámok** 3,5 Hz alatti frekvenciájúak: ez a mély alvás állapota.

Az agyhalál beálltát vajon milyen EEG-hullámok jellemzik?



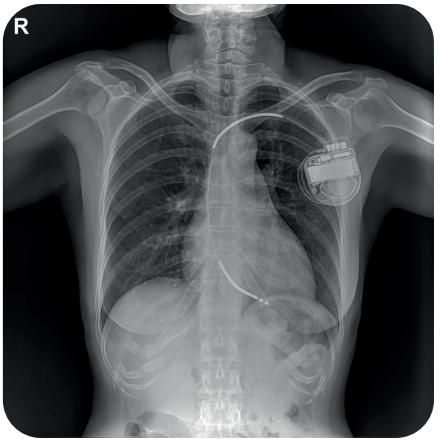

Egészséges szív EKG-ja

Az EKG **(elektrokardiográfia) a szív elektromos jelenségeit vizsgálja.** A szívizom összehúzódásakor az izomrostok között elektromos feszültség keletkezik. A készülék egy normál vizsgálathoz négy végtagi és hat mellkasi elektródát használ. Vizsgálható vele a percenkénti szívverések száma, azok szabályossága, a szív ingerképzése, ingervezetése, ritmuszavarok, ingervezetési zavarok, a szívizomzat károsodása.

Az agy és a szív működéséről, illetve az idegrendszerről jövőre biológiából fogunk részletesen tanulni.

Egyes szívbetegnél a szív saját ingerképzése hibás. A pacemaker, vagyis szívritmus-szabályozó, egy olyan beültetett eszköz, amely elektródákkal kapcsolódik a szívhez, és saját elektromos impulzusaival vezérli a szívizmok összehúzódását.

Defiblirátor nagy áramütéssel állítja le az életveszélyesen, össze-vissza verő szívet, amit aztán újra lehet indítani. A mentők alapvető felszerelése. Ma már közterületeken is gyakran találkozhatunk automata életmentő defibrilátorral. (rövidítve: AÉD) Ezek hangutasításait követve szakképzetlen elsősegélynyújtó is elvégezheti a defibrilálást még a mentő kiérkezése előtt.

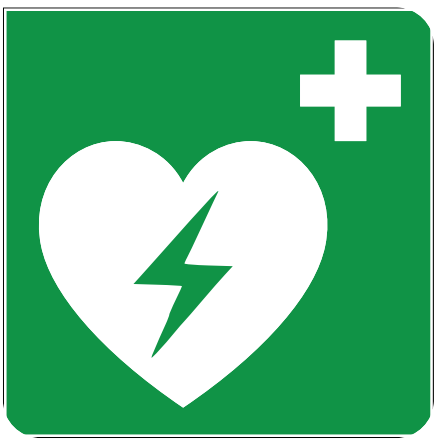



Egy szívritmus-szabályzóval rendelkező beteg röntgenképe

## Az áramütés

Áramütés során az elektromos áram egy ponton belép az emberi testbe, majd egy vagy több meghatározott útvonalon végighalad, és valahol kilép. A károsodott szervek zöme ezekben a haladási irányokban található. Az alábbi táblázatban megadjuk, hogy a szervezetünkben végighaladó különböző áramerősségeknek milyen hatása van.

| Váltakozó áram | Egyenáram | Hatása az emberre |
|---|---|---|
| áramerősség legfeljebb (mA) | | |
| 1–1,5 | 5–6 | érzetküszöb, gyenge rázás |
| 2–3 | 10 | erős rázás, mozgást nem gátló rázásérzet |
| 15 | 70–80 | fájdalmas izomgörcs a végtagokban, az elengedési áramerősség határa |
| 25 | 80–100 | légzőizmok görcse, erős fájdalom |
| 80 | 300 | szívkamraremegés, 0,1–0,3 s után halálveszély |
| 100 felett | 500 | szívbénulás, azonnali halál |



AÉD –készülék helyét jelző piktogram

Defibrillátor

### SZÁMOLJUK KI!

A hálózati áram 230 V-os váltóáram. Egy ember két vizes keze között az ellenállás 1,5 kΩ. A két kezén keresztül záródik az áramkör. Mi történhet vele?

*Megoldás:* Számoljuk ki a testén áthaladó áram erősségét Ohm-törvényének segítségével:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230\ \text{V}}{1500\ \Omega} = 0{,}153\ \text{A} \approx 150\ \text{mA}\,.$$

A táblázatból látható, hogy ez halálos áramütés lehet. Ha az áramütés időtartama igen rövid, akkor gyakorlatilag sérülés nélkül túl lehet élni, de a baleset kellemetlen, a fájdalom emléke megmarad.

### Gondold meg!

A fenti példa is jól mutatja, hogy a hálózati áram életveszélyes! 40 V-nál, úgynevezett törpefeszültségnél nagyobb árammal kísérletezni, játszani nem szabad!

Áramütés veszélyét jelző tábla

## Az áramütést befolyásoló tényezők

Az áramütést több tényező befolyásolja. Ezek közül néhányat felsorolunk:

- Az **érintkező felület nagysága.** Különösen veszélyes az, ha nagy testfelületen ér minket áramütés, például fürdőkádban.
- Az **áram útja a testben**. Az áramütés hatását fokozhatja az, ha az áram létfontosságú szerveken – tüdő, szív – halad át.
- A **bőr állapota** és nedvessége. A bőr viszonylag jó szigetelőnek számít, főleg a száraz, erősebben elszarusodott részek, mint a tenyér. Egy öregember keze általában jobban szigetel, mint egy gyereké. A nedvesség a bőr ellenállását akár annak huszadrészére csökkenti, egyes kozmetikumok hatása még fokozottabb lehet.
- Az **áramütés ideje**. Az emberi szervezet azért olyan érzékeny az áramütésekre, mert az idegi működés elektromos jelek alakjában zajlik. Ezért nagyon veszélyesek a hosszabb áramütések. Az áramütés közbeni izomgörcs esetén az áramütés ideje nagyon hosszúra nyúlhat. Ugyanakkor több ember túlélt már villámcsapást is, mert testükön nagyon rövid ideig folyt az áram.
- Az **áram frekvenciája**. A **hálózati áram éppen a legveszélyesebb**, 15–100 Hz közötti tartományba esik.
- A **lelkiállapot**. A hazugságvizsgáló-készülékek többek között a stressz hatására bekövetkező elektromosellenállás-változást mérik. Az ideges, zaklatott, izzadt, fáradt ember ellenállása kisebb, őket jobban veszélyezteti az áramütés.
- **Alkoholos, gyógyszeres befolyásoltság** fokozza az áramütés hatását.

Az elektromos áram többféle formában hat szervezetünkre, melyek sorából két tényező emelkedik ki. Az egyik a **hőhatás**, amely égési sérülések formájában jelentkezik. Ennél sokkal jelentősebb a **bioelektromos hatás**, amely az izom- és idegszövetek károsodásában nyilvánul meg. Ez a hatás a vázizmok görcsös állapotát okozza, ami miatt a sérült képtelen lehet a feszültségforrás elengedésére. Gyakran alakul ki a vázizmok szakadása, a csontok törése. A szívizomra gyakorolt hatás következménye komoly **szívritmuszavar** lehet. A központi idegrendszer befolyásolása révén a **légzőközpont bénulása** miatt légzésmegállás következhet be. A környéki idegrendszer sérülése leginkább múló zsibbadás, bizsergésérzés formájában jelenik meg.

### Hallottál róla?

Az elektromos áram okozta halálos balesetek száma országos szinten évente 60–80 között mozog. Ennek kb. 60%-a otthon történik, 40%-a munkahelyen. A halálos áramütéseknek csak 20%-a éri az elektromos iparban dolgozó szakembereket.

A szakszerű újraélesztés életet menthet, alapszabályait bárki megtanulhatja. Te ismered?

## Áramütéses balesetek leggyakoribb típusai

- **A ház körüli munkáknál** igen sok elektromos eszközt használunk. **Az ilyen gépek csatlakozó vezetékeinek és dugaszoló aljzatainak hibátlannak kell lennie.** A vezetéket és a csatlakozási pontokat mechanikailag is védeni kell a külső sérülések megelőzése érdekében. Gyakori baleseti forrás a fűnyíró gép, különösen a házilagosan készített vagy átalakított. Ennek veszélyessége sokszorosára nő a házilag barkácsolt, nem szabványos hosszabbítóval és aljzatokkal használva. Nagyon ügyeljünk arra, hogy a fűnyírás közben a gép a vezetékét ne keresztezze, azt még véletlenül se vágja el! Okozott már balesetet a kerti locsolás is, amikor valaki egy áram alatt lévő hosszabbítót locsolt meg. Sok balesetet okoztak már a vizes környezetben működő gépek, mint pl. a betonkeverő. **A fák és az elektromos vezetékek közelsége is nagy veszélyeket rejt.** Néha előfordul, hogy egy fa belelóg egy távvezetékbe. Gyakori baleseti forrás, ha valaki fákat permetezve közelít meg feszültség alatt lévő hálózatot. Előfordult olyan eset is, hogy gyümölcsszedés közben érintik meg a csatlakozó vezetéket. Jelentős veszéllyel járhat a fák gallyazása

is. Az utcai vezeték alatt az áramszolgáltató emberei „hivatalból” elvégzik a fák visszavágását. A csatlakozó vezetékek alatt vagy közelében a háztulajdonosnak kell ezt a munkát elvégeznie. Ilyen esetben, és a fa kivágásakor a csatlakozó vezeték feszültségmentesítését el kell végezni.

- A házban a legveszélyesebb helyiségeknek a „vizesek” számítanak (fürdőszoba, mosókonyha). Több halálos balesetet okozott már az, hogy elektromos berendezés (hajszárító, rádió) esett az elektromos védelem nélküli fürdőkádba. **Nagyon sok balesetnek forrása a házilagos villanyszerelés és a szabálytalan bekötésekből eredő áramütés. Villanyszerelési munkát mindig szakemberrel végeztessünk!** Különösen ügyelni kell a víz- és a fűtéscsövek, valamint az elektromos fogyasztó egyidejű megérintésére, mert egy esetlegesen hibás szigetelés esetén a fogyasztóból az áram testünkön és a csöveken keresztül a föld felé folyhat. A régi, elavult vagy illegális forrásból beszerzett, rossz szigetelésű elektromos berendezések is igen nagy veszélyforrások (karácsonyfa izzósorok, szivattyúk stb.) Különös figyelmet igényelnek a gyerekszobák. **A kisgyerekek által elérhető konnektorokat vakdugóval kell védeni!**

Elektromos vakdugó

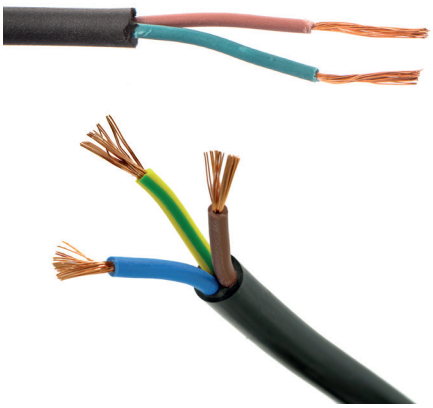
- Néha előfordul, hogy a nagyfeszültségű vezeték vas vagy vasbeton oszlopáról leszakad a vezeték. Ahol a vezeték a földre ér, a talajon úgynevezett lépésfeszültség alakul ki. Ha valaki ilyen helyzetbe kerül, a veszélyes helyről óvatosan, igen kis lépéssel, szinte néhány centiméteres araszolással távolodjon el. A lépésfeszültség nagysága a lépések nagyságától függően nő. Különösen veszélyes, ha valaki ilyen helyen elesik, mert így a test két, földdel érintkező pontja között megnőhet a távolság, és így a lépésfeszültség nagysága is. **A leszakadt vezeték megközelítése életveszélyes. A nagyfeszültségű távvezeték megközelítése ép vezetékek esetén is tilos, és különösen veszélyes a tartóoszlopokra felmászni.**
- **Tilos és életveszélyes behatolni transzformátor-állomásba, a villamosított vonalon veszteglő vasúti kocsira felmászni!**

Elektromos felsővezetékkel rendelkező motorvonat

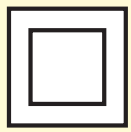
## ÉRINTÉSVÉDELMI ISMERETEK *(Olvasmány)*

Manapság lakásainkban a hálózati áramkörökben háromfajta, különböző színű vezetéket alkalmaznak. Ezek a következők: **fázisvezető:** FEKETE (esetleg barna színű), **nullavezető**: kizárólag KÉK, **védőföld:** kizárólag ZÖLD-SÁRGA (régen piros). Egyes dupla szigetelésű kábelek külső köpenye lehet egyszínű (fekete vagy fehér), viszont a belső (közvetlenül a vezetőn levő) szigetelés már színes. A nullavezető nevét onnan kapta, hogy a földdel azonos, 0 feszültségen van. Ennek érintése elvileg veszélytelen. Ezek a szabályok azonban a szakembereknek szólnak. Mi soha ne nyúljunk semmilyen vezetékhez sem! Elektromos feszültség a fázisok és a nulla (illetve a fázisvezeték és a védőföld) között van. **A fázis érintése életveszélyes,** mert az a nullavezetőhöz és a földhöz képest 230 V feszültségen van. Érintésekor az áramkör az ember testén keresztül záródhat, és ennek következtében a testen keresztül folyó áram halálos lehet.

A fázissal akkor is érintkezésbe kerülhetünk, ha valamely villamos berendezés meghibásodása folytán a fázis megjelenik a készülék külsején, a kezelő által megérinthető pontján. Ilyenkor beszélünk az úgynevezett **testzárlat**ról. A testzárlatos készüléket megérintve az ember az **érintési feszültség**et hidalhatja át. Az érintési feszültség nagysága teljesen véletlenszerű, azt a hiba oka határozza meg. Az érintésvédelem feladata az eset-

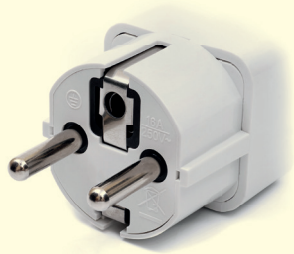


Dupla szigetelésű két- és háromeres kábel



A kettős szigetelés jele

Villásdugó védővezető nélkül



Villásdugó védőföldelési csatlakozóval. Az ilyen villásdugót csak földelési csatlakozóval ellátott konnektorba dughatjuk

Konnektor védőföldeléssel (oldalklipsszel)

leges testzárlat által okozott életveszély megelőzése. Ennek két módja van, a passzív és az aktív érintésvédelem.

A **passzív érintésvédelem** leggyakoribb módja a **kettős szigetelés.** Ilyen kivitelben készülnek a villamos kéziszerszámok vagy a háztartási készülékek jelentős része (hajszárító, kávéőrlő, porszívó, villanyborotva stb.). Ezeken a készülékeken a jelölés feltüntetése kötelező. A készülék csatlakozóvezetékein olyan csatlakozó villásdugókat alkalmaznak, amelyek nem rendelkeznek védővezető-érintkezővel.

Az **aktív érintésvédelem** hatását úgy fejti ki, hogy a megengedettnél nagyobb érintési feszültséget okozó testzárlatos berendezést az előírt időn belül a hálózatról lekapcsolja. Az aktív védelem legfontosabb kelléke a **védőföldelés**. A védőföldelés alkalmazásakor a villamos berendezés testét földeléssel kötik össze. Így elérhető, hogy kisebb áramerősségű testzárlatok esetén az érintési feszültség nem lesz nagyobb a megengedett 40-50 V-os értéknél, nagyobb áramerősségű testzárlatok esetén pedig a berendezés zárlatvédelme az előírt 0,2 másodperces időn belül kikapcsol. A védőföldeléses hálózati csatlakozó aljzat védőföldelés-érintkezőt is tartalmaz**.** Ezért **veszélyes földelési csatlakozóval ellátott készülékeket** (mosógépek, vasalók, hűtőgép, fűnyíró stb.) **földeletlen** (oldalklipsz nélküli) **konnektorba dugni**. Ma már kötelező a védőföldeléses konnektorok használata, de a régebbi építésű házakban még gyakran találkozhatunk ezt nélkülöző típusokkal.

További nagyon fontos érintésvédelmi eszköz az úgynevezett EPH (egyenpotenciálásra hozás). Az **EPH kialakításának a lényege, hogy a lakóházban a különböző fémcsöveket** (víz- és gázvezeték) **és fémszerkezeteket** (pl. a fürdőkádat)**, valamint a földeléseket összekötik egymással, hogy ne tudjon kialakulni közöttük feszültség.** Ezáltal megakadályozzák, hogy bárkit is megrázzon az áram a fémszerkezethez való hozzáérés útján, ha azokra feszültség kerül valamilyen meghibásodás révén. Például az EPH-val rendelkező fürdőkádban védve vagyunk az áramütéstől, ha a vízbe hajszárító zuhan, és áramkörünk védve van az úgynevezett „fi-relé" néven ismert **áramvédő kapcsoló**val. Ez a szerkezet figyeli a fázis- és a nullavezetéken folyó áramerősséget, és ha a kettő nem azonos – azaz valahová máshová folyik az áram, például testünkön keresztül –, akkor azonnal lekapcsol. Különböző érzékenységűek kaphatók. Egy 30 mA-es már a fázis- és a nullavezeték közti ekkora különbség esetén is megszakítja az áramkört.

Az áramvédő kapcsoló nagyon hasonlít a **kismegszakító**hoz, de szerepe egészen más. A kismegszakítók – más néven automata biztosítékok – feladata, hogy túláram elleni védelemmel lássák el az elektromos hálózatot és a hálózatra kapcsolt elektromos eszközöket. Egy 15 amperes kismegszakító tehát megszakítja az áramkört, ha abban az áram erőssége valamilyen ok miatt eléri a 15 A-t. Ilyen lehet egy elektromos eszköz meghibásodása, egy zárlat, de lehet, hogy egyszerűen csak túl sok elektromos eszközt kapcsolunk ugyanarra az áramkörre. Zárlat esetén az áramkörből kiiktatódik az ellenállás, és az áram hirtelen megnő. Ekkor a kismegszakító rögtön megszakítja az áramkört, hogy a nagy áram ne teremtsen vészhelyzetet. A kismegszakító alkalmas az áramkörök kézi működtetéssel való zárására és nyitására. A hiba megszüntetése után a kioldott automata egyszerűen, azonnal visszakapcsolható.

## Az elsősegélynyújtás

Az áramütést szenvedett személy első ellátása a helyszínen tartózkodók feladata. **Első lépésként bizonyosodjunk meg arról, hogy a sérült feszültséghatás alatt van-e még.** Amennyiben igen, mindig próbáljuk meg az áramforrást kiiktatni! Mindig arra kell törekedni, hogy megszakítsuk az áramot! Ez történhet a kapcsoló, a biztosíték, a villanyóra vagy a konnektor segítségével. Megérintése nemcsak nekünk veszélyes, de a sérült személyen átfolyó áramot is megnöveli. Nagyfeszültségű távvezetékek esetén általános szabály, hogy a sérültet nem szabad megközelíteni, haladéktalanul műszaki mentést kell kérni a mentőktől, tűzoltóktól! Alacsony feszültség esetén, ha nem tudjuk az áramkört kapcsolóval megszakítani, megpróbálhatjuk a sérültet valamilyen arra alkalmas, nem vezető eszközzel eltávolítani a vezetéktől vagy a vezetéket a sérülttől (például fa seprűnyéllel, vastag, száraz textíliával). Ügyeljünk arra, hogy a talaj nehogy nedves vagy másmilyen módon vezető legyen!
Ha a balesetet szenvedett társunk nincs feszültség alatt, de eszméletlen, vizsgáljuk meg a légzését, keringését, és az újraélesztés ábécéje szerint járjunk el! Amennyiben a sérült eszméleténél van, maradjunk vele, és azonnal hívjunk mentőt! Az égési sérüléseket az elsősegélynyújtás irányelvei alapján lássuk el! Alapszabály, hogy **minden áramütést elszenvedett személyt orvosi ellátásban kell részesíteni,** mert az áramütés jelei és káros hatásai később is megnyilvánulhatnak.

Áramvédő kapcsoló (RCCB = Residual Current Circuit Breaker)

Kismegszakító, vagy más néven automata biztosíték

### NE FELEDD!

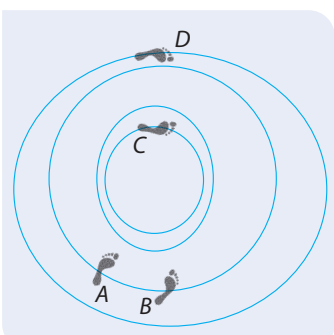
**Az emberi test egy érzékeny elektromos rendszer.**

**A testünkből elvezetett elektromos jelek diagnosztikai alkalmazása rendkívül fontos az egyes betegségek megállapításában.**

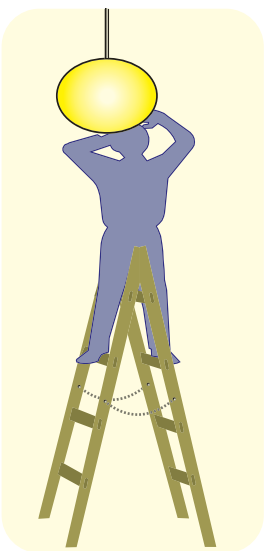
**A 230 V halálos áramütést okozhat. Villanyszerelést csak szakemberrel végeztessünk.**

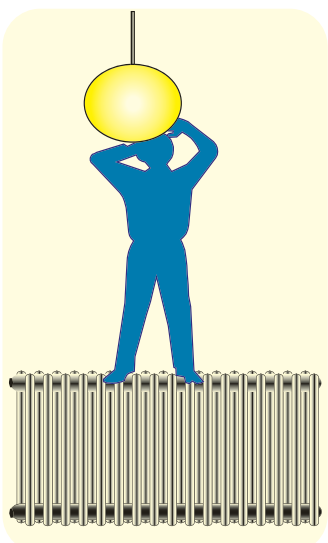
### EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A táblázatunk szerint a 10 mA-es áramütésnek már nagyon komoly élettani hatásai is vannak. Arról is volt szó, hogy 40 V-ig kísérletezhetnek a tanulók elektromos árammal. Ennek alapján mennyinek tekinthető egy gyerek ellenállása?
2. Japán egyik felében csak 120 V a hálózati áram feszültsége. Számoljuk ki, hogy érheti-e ott is halálos áramütés a 1,5 kΩ ellenállású embert?
3. Az ábrán egy villám földbe érkezésekor kialakuló azonos potenciálú vonalakat látjuk. Az egyik ember talpai az *A)* és *B)* pontban voltak, egy másik személy talpai a *C)* és *D)* pontban. Melyikük élhette túl a villámcsapás következtében fellépő lépésfeszültséget?




4. Az ábrán látható, lámpát szerelő két ember közül melyik van nagyobb veszélyben áramütés szempontjából?

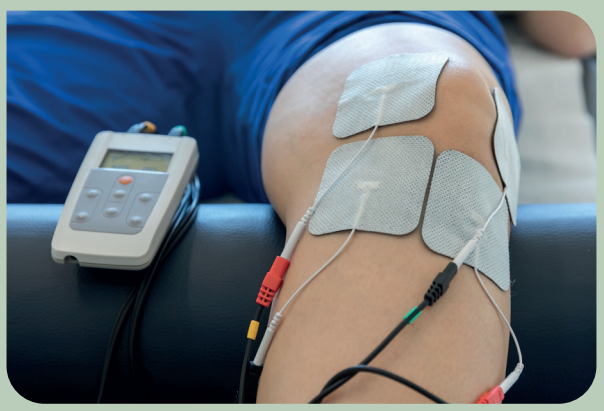




## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy fázisceruzában legalább mekkora ellenállásnak kell lenni, hogy 230 V-os hálózati áram esetén se érje el egy ember érzetküszöbét?

2. Ma már kereskedelmi forgalomban is kaphatók úgynevezett TENS készülékek. Nézz utána, hogy mik ezek? Hogyan gyógyítanak?



3. A fényképen látható madár rajta ül a szigetelés nélküli vezetéken, mégsem éri halálos áramütés. Miért? A rajzon látható társát miért érheti halálos áramütés?

4. Egy orvosi tankönyvből idézünk:
„Gyakorlati szempontból kétféle ellenállást különítünk el a szervezetben: külső (bőr) és belső (az összes egyéb szövet) ellenállást. A külső ellenállás nagysága felnőttek esetén 40 000–100 000 Ω, amely a bőr vastagságától, így az áldozat életkorától és nemétől függ. A nedvességtartalom is fontos, izzadság esetén az ellenállás 1000 Ω alá csökken. A vizes bőrnek (fürdés, úszás után) gyakorlatilag nincs ellenállása és a nyálkahártyáknak sem. A szervezet belső ellenállása 500–1000 Ω…." (Tulassay Zsolt: A belgyógyászat alapjai 2. Medicina 2011.)

Számoljuk ki ez alapján, hogy mennyi lehet az emberi szervezetben folyó maximális és minimális áramerősség 230V-os feszültség esetén a következő esetben:

*a)* Fürdés után
*b)* Izzadtan
*c)* Száraz bőrrel

Mely esetekben állhat fenn életveszélyes állapot?

# 13. | Zsebre megy a játék! Az áram ára

*Ma egy átlagos magyar család nagyjából évente 4200 kWh áramot használ fel, amiért kb. 14 ezer forintos havi áramszámlát fizet, ami az összes jövedelemnek közel 5%-a. Láthatjuk tehát, hogy az áram drága, emellett előállítása meglehetősen környezetkárosító, vagyis mindenképpen érdemes vele takarékoskodnunk. Fontos odafigyelnünk, mennyit fizetünk az energiáért. Sajnálatos, hogy a hazai fogyasztók mintegy kétharmada egyáltalán nincs tisztában azzal, hogy egyes háztartási gépek mennyi energiát fogyasztanak, és hogyan lehetne velük takarékoskodni.*

## A Joule-hő

Első kísérletünk az elektromos áram hőhatásával kapcsolatos. Számos olyan eszközünk van, amely elektromos árammal hőt termel. Ezeknek az eszközöknek nagy a fogyasztásuk, ezért érdemes velük külön is foglalkozni.
Egy spirál alakú fűtőszálra elegendően nagy időben állandó feszültséget kapcsolva a szál izzásba jön. Figyeljük meg a következőket:

1. A fűtőszál megereszkedik.
   A szál megereszkedése a hőtágulás következménye. Tudjuk azt, hogy a hőmérséklet emelkedésével a fémhuzalok hossza megnő, ennek következtében megereszkedik.

2. A fűtőszál nem egyformán izzik: ahol sűrűbbek a menetek, ott magasabb a hőmérséklet.
   Ez a jelenség magyarázatot ad arra, hogy az izzólámpák izzószála miért spirál alakú. Az egymáshoz közel lévő huzaldarabok „nehezebben adják le a hőt", ami annak a következménye, hogy nemcsak kisugározzák, hanem el is nyelik a hőt.

3. Az izzás mértéke légáramlással (fújással) jelentősen csökkenthető.
   A fújás hatására a szál közelében felmelegedő levegőréteg hamar elhagyja a szál környezetét, így a meleg levegő nem tudja hőszigetelni a szálat, a helyébe érkező hideg levegő pedig lehűti a szálat. A fújás tehát fokozza a hőáramlással történő hőleadást.

4. Végül a számunkra most legfontosabb észrevételünk:
   **Ha növeljük a feszültséget, nő az áramerősség, a fűtőszál fényesebben izzik, növekszik tehát a termelődő hő nagysága.**

   Ez a megfigyelésünk az úgynevezett Joule-törvényt szemlélteti. Azt látjuk, hogy az elektromos áram az ellenálláson hőt termel. Energetikailag tekintve arról van szó, hogy az **elektromos mező munkavégzése (energiája) egy ellenálláson hővé alakul**. Az ellenálláson keletkező hőt **Joule-hő**nek nevezzük. Ez a hő **egyenesen arányos a feszültséggel és az áramerősséggel**. A termelődő hő nagysága ezenkívül az idővel is arányos, hiszen ha hosszabb ideig van bekapcsolva a fűtőszál, akkor több hő termelődik. Írjuk fel képletben is a Joule törvényt:

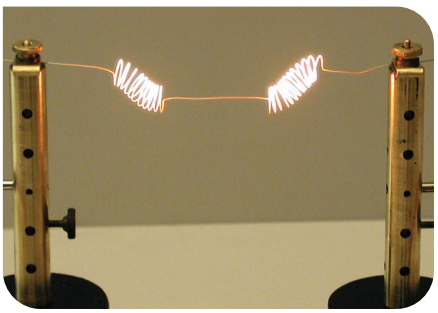
   **Joule-hő = feszültség · áramerősség · idő, azaz $Q = U \cdot I \cdot t$,**

   ahol a hőt $Q$-val, az időt $t$-vel jelöltük.

Szavakban megfogalmazva: A Joule-hő az ellenállásra eső feszültség, az azon átfolyó áramerősség és az idő szorzataként kapható meg. Ez az összefüggés nemcsak az áram hőhatása esetén érvényes, hanem minden esetben megadja a fogyasztón végzett munkát, vagyis így számíthatjuk ki az elektromosenergia-felhasználást.

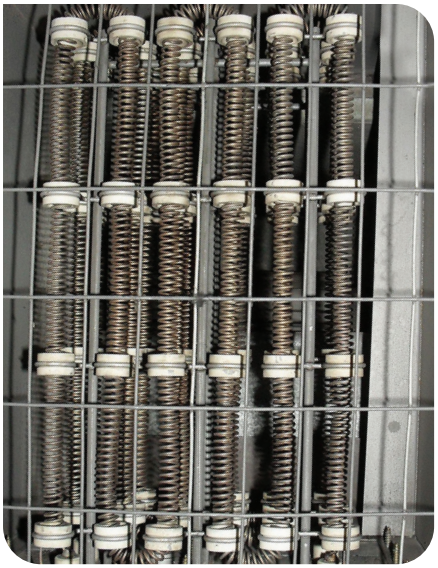
Általánosságban is igaz, hogy az $U$ feszültség alatt álló fogyasztóban folyó $I$ erősségű áram $W$ munkája $t$ idő alatt a következő összefüggéssel adható meg:

$W = U \cdot I \cdot t$.



Az áramjárta spirál alakú fémhuzal felizzik!

Elektromos fűtőtest



Ezzel a fűtőrendszerrel a levegőt melegítik 30 kW teljesítménnyel. Az áramló levegőt például egy nagy méretű családi ház fűtésére lehet használni. Rendkívül kényelmesen használható, a berendezés egyszerű és olcsó, könnyen javítható, azonban mivel az elektromos energiát alakítja közvetlenül Joule-hővé, így nagyon drága a fenntartása

Az Ohm-törvény felhasználásával a feszültség helyére ($IR$)-et is írhatunk, így az elektromos áram munkája kifejezhető az ellenállással is:

$$W = U \cdot I \cdot t = U \cdot \frac{U}{R} \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t.$$

(Amikor az áram munkavégzéséről beszélünk, nem fogalmazunk pontosan, mert az áramot valójában az elektromos mező hozza létre, tehát pontosabb lenne az elektromos mező munkavégzéséről beszélni. A mező absztrakt, megfoghatatlan fogalom, az áram viszont könnyen mérhető, ezért terjedt el az „elektromos áram munkája” kifejezés.)

A $W = I^2 \cdot R \cdot t$ képlet alapján látható, hogy azonos áramerősség esetén – például soros kapcsolásnál – a nagyobb ellenállású vezetéken fog több hő termelődni. Ezt megfigyelhetjük a következő kísérletben is: ha ellenálláshuzal-darabokat és rézhuzaldarabokat sorosan összeillesztünk, és áramot vezetünk rajtuk keresztül, akkor a nagyobb ellenállású szakaszok fognak izzani. A sokkal kisebb ellenállású rézhuzal gyakorlatilag szobahőmérsékletű marad. A villanykályhákban, elektromos melegítőkben ugyanakkora áram folyik a nagy ellenállású fűtőszálakban, mint az oda vezető rézkábelekben, mégis a fűtőszálak izzanak, adják le a hőt, és az elektromos vezetékek alig melegszenek.

Számos olyan háztartási eszközünk van, ami a Joule-törvény alapján működik: vasaló, sütő, főzőlap, merülőforraló, bojler, izzólámpa, hajszárító stb.

## Az elektromos teljesítmény

Az elektromos berendezések egyik legfontosabb jellemzője a teljesítményük. A teljesítmény megadja az időegységre eső munkavégzést, azaz képlettel:

$$P = \frac{W}{t}$$

A munka előzőleg kifejezett alakjai alapján:

$$P = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = U \cdot I, \text{ vagy másként } P = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$$

## Az elektromos munka, energia és teljesítmény mértékegysége

Jól tudjuk, hogy a munka és az energia mértékegysége a joule. Mostani képleteink szerint a joule nem más, mint az amper, a volt és a másodperc szorzata:

1 J = 1 VAs.

Az áramszámlán a felhasznált elektromos energia mértékegységeként azonban nem joule-t látunk, nem is wattszekundumot (Ws), hanem kilowattórát, vagyis kWh-t.

1 kWh elektromos energia ára jelenleg (2020-ban) 40 Ft körül van. Ha mechanikai energiákban gondolkodunk, akkor az elektromos energia hihetetlenül olcsó. 3,6 MJ munkavégzéssel egy 100 kg-os terhet kb. 3,6 km magasra emelhetünk, hiszen az emelési munka $W = mgh$, ebből

$$h = \frac{W}{mg} = \frac{3\,600\,000\ \text{J}}{1000\ \text{N}} = 3600\ \text{m} = 3{,}6\ \text{km}.$$

Ez a 3,6 km-es magasság kb. százszorosa egy tízemeletes háznak. Képzeljük el annak a szállítómunkásnak az arcát, akit arra kérnénk meg, hogy vigyen fel egy mázsa terhet százszor egy tízemeletes ház tetejére, mindössze 40 Ft-ért!

### SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Számoljuk ki, hogy 1 kWh hány joule-lal egyenlő!

*Megoldás:* A joule felírható wattszekundumként is.
1 J = 1 Ws.

A Ws ezerszerese a kWs (kilowattszekundum):
1 kWs = 1 kJ = 1000 J.

Mivel azonban
1 óra 3600 másodperc, ezért
1 kWh = 3 600 000 J = 3600 kJ = = 3,6 MJ.

Reálisabb képet kapunk az elektromos energia áráról, ha a bal oldali teljesítménytáblázat alapján kiszámítjuk, hogy mennyit fogyaszt például egy hűtőszekrény.

Egy hűtőszekrény naponta átlagosan 10 órán keresztül van bekapcsolt állapotban. Átlagteljesítményét vegyük 100 W-nak. A napi elhasznált elektromos energia

$W = Pt = 100\ \text{W} \cdot 10\ \text{h} = 1000\ \text{Wh} = 1\ \text{kWh}.$

Ha 1 kWh energia árát 40 Ft-nak vesszük, akkor a hűtőszekrény napi fogyasztása 40 Ft, azaz havonta átlagosan 1200 Ft.

Látjuk azt is, hogy a hűtőszekrény elektromos teljesítménye a legkisebbek közé tartozik, bár sokat használjuk. A bojler is naponta melegíti a vizet átlagosan 4,5 órán keresztül 2 kW-os teljesítménnyel. Ennek fogyasztása 9 kWh naponta, ami már $9 \cdot 40 \cdot 30 = 10\ 800$ Ft lenne havonta. Ez már nagyon jelentős összeg. Nem véletlenül a bojlereket úgynevezett vezérelt áramra szokás kötni. Ennek ára kWh-ként „csak” mintegy 25 Ft, amivel a havi költség 6750 Ft-ra csökken. A **vezérelt áram** azt jelenti, hogy ennek az áramkörét az áramszolgáltató kívülről vezérli saját igényeinek megfelelően. A bojler tehát akkor kapcsol csak be, amikor „sok az áram”, és kevés fogyasztó használ elektromos berendezést. Ez főként éjszaka jellemező, ezért nevezik ezt az áramot éjszakai áramnak is. Az elektromos energia nehezen tárolható, az erőművek pedig folyamatosan termelnek, ezért az olcsóbb árral igyekszik az éjszakai áramfelhasználásra ösztönözni az áramszolgáltató, így egyenletesebb lesz a fogyasztás.

| Megnevezés | Teljesítmény (W) |
|---|---|
| Izzólámpa | 40–150 |
| Kompakt fénycső | 8–20 |
| TV | 50–100 |
| Klíma | 2000–3000 |
| Szagelszívó | 200–600 |
| Számítógép (laptop) | 40–250 |
| Kenyérsütő | 600–1500 |
| Hősugárzó | 800–1000 |
| Mosogatógép | 800–1500 |
| Mikrohullámú sütő (grillel) | 600–2500 |
| Hűtőláda (350 l) | 150–200 |
| Olajradiátor | 800–2500 |
| Villanytűzhely | 1500–4500 |
| Kombinált tűzhely (villanysütő-gáztűzhely) | 1500–2500 |
| Szendvicssütő | 700–1400 |
| Kenyérpirító | 800–1000 |
| Hűtőszekrény (160 l) | 60–100 |
| Porszívó | 800–2000 |
| Automata mosógép | 1500–2500 |
| Bojler | 1200–3000 |

Néhány gyakrabban használt fogyasztási cikk teljesítménye

## Gondold meg!

Ma egy átlagos magyar család költségvetésében jelentős kiadás az elektromos energiára fordított összeg. Ezért is létfontosságú, hogy takarékoskodjuk az elektromos árammal. Ebből a szempontból közismert, hogy a hagyományos volfrámszálas izzóknál mennyivel gazdaságosabb a kompakt fénycsövek használata.

Ha megnézzük a fogyasztási táblázatunkat, akkor a legnagyobb teljesítményű berendezések mind hőtermelésre fordítják az elektromos energiát. A hőtermelésnek pedig a legdrágább módja az elektromos energia felhasználása. Ezért legtöbbet ezeken az eszközökön tudunk spórolni.

**Néhány tipp:**

- Feleslegesen semmilyen elektromos fogyasztó ne legyen bekapcsolva.
- Az izzólámpákat cseréljük le kompakt fénycsövekre, LED-lámpákra.
- A vízmelegítő berendezéseket gyakran vízkőtlenítsük.
- Mossunk, mosogassunk alacsony hőfokon (30 °C), és inkább áztassunk, használjunk jobb minőségű mosószert, mosogatószert.
- A vízmelegítést inkább mikrohullámú sütőben vagy vízforralóban végezzük, mint villanytűzhelyen.
- Használjunk lehetőleg kevés meleg vizet, inkább zuhanyozzunk, mint kádfürdőzzünk.
- Ha megtehetjük, inkább laptopot használjunk, mint nagy asztali számítógépet.
- Érdemes tudni, hogy az elektromos berendezések még készenléti üzemmódban is sok energiát fogyasztanak. Egy tv, DVD-lejátszó, hifiberendezés, mikrohullámú sütő stb. készenléti üzemmódban 5–20 W-os teljesítményt vesz fel. Az összes eszközre átlagosan 80 W-tal számolva az naponta $80\ \text{W} \cdot 24\ \text{h} = 1{,}92\ \text{kWh}$. Ez naponta csaknem 80 Ft. Havonta tehát több mint 2000 Ft megy el a semmire még akkor is, ha leszámítjuk azokat az időszakokat, amikor ezeket a készülékeket használjuk. Ezért tehát érdemes az elektromos berendezéseket használaton kívül áramtalanítani.

## NE HIBÁZZ!

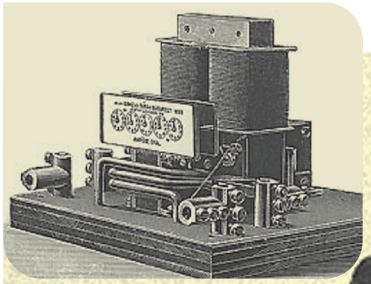
Ügyelj a mértékegységekre! Sok problémát okozhat a J-ok és kJ-ok figyelmen kívül hagyása, összekeverése. A számolások során írjuk be a mértékegységeket is, akkor talán nem hagyjuk figyelmen kívül. Ne feledd, hogy 1 kWh = 3,6 MJ. Erre azoknál a feladatoknál ügyelj, ahol az elektromos energia hővé alakul.

## Mit gondoltak régen?

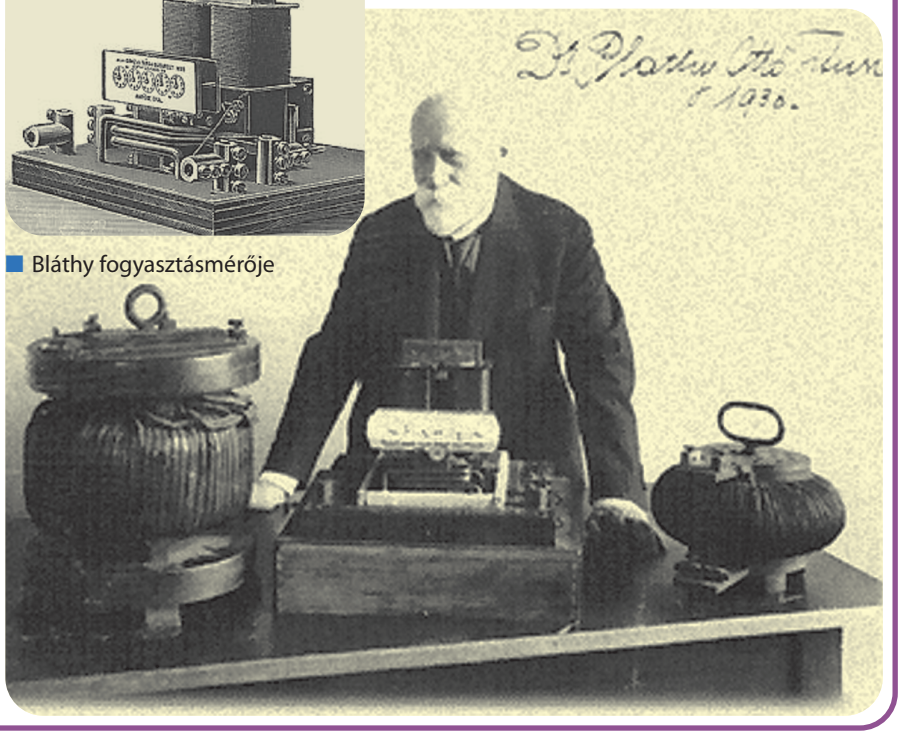
**James Prescott Joule** (1818–1889) angol fizikus volt.
Apjának sörgyára volt, melyet megörökölt, ennek jövedelme egy ideig számára is jó anyagi helyzetet teremtett. Joule egyre inkább a tudomány felé fordult, így a gyár tönkrement. Az elszegényedéstől a királynőtől kapott életjáradék mentette meg. Joule nem járt iskolába, apja magántanárokkal taníttatta. A híres kémikus, Dalton is a tanára volt. 20 éves korától már tudományos folyóiratokban jelentek meg írásai, és házában magánlabort rendezett be. Főként a hő problémája érdekelte. Az ismertetett törvény mellett azt is kimérte, hogy mechanikai munkavégzéssel miként lehet egy anyag belső energiáját növelni. Thomsonnal, a későbbi Lord Kelvinnel, valamint a német Helmholtz-cal együtt elévülhetetlen érdemei vannak az energiamegmaradás felismerésében.

## Hallottál róla?

A **fogyasztásmérő** magyar találmány. Bláthy Ottó Titusz 1889-ben szabadalmaztatta és hozta forgalomba.



Bláthy fogyasztásmérője

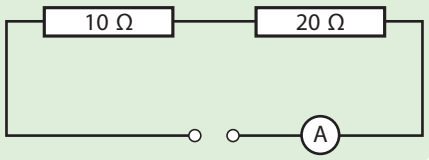


Mai villanyóra számlapja

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A bevezetőben nem csak azt figyelhettük meg, hogy a nagyobb feszültség hatására az ellenálláshuzal izzásba jön, hanem a következő három érdekességet is:
   *a)* A fűtőszál megereszkedik.
   *b)* A fűtőszál nem egyformán izzik: ahol sűrűbbek a menetek, ott magasabb a hőmérséklet.
   *c)* Az izzás mértéke légáramlással (fújással) jelentősen csökkenthető.
   Adjunk magyarázatot ezekre a jelenségekre!

2. Az ábrán látható kapcsolásban az amperméró 2 A-es áramerősséget mutat. Mekkora az egyes ellenállások teljesítménye?




3. Egy vízmelegítő 230 V feszültség mellett 8,7 A-es áramot vesz fel. Mekkora a teljesítménye? Mennyi hőt termel 2 perc alatt?

4. Egy autó reflektorának úgynevezett H7-es izzója 12 V-os és 55 W teljesítményű. Mekkora az áramfelvétele és az ellenállása?

5. Japán egyik részén a hálózati áram értéke a nálunk lévőnek csak kb. a fele. Itthon a készülékünkkel 2 perc alatt tudunk fél liter vizet forráspontig melegíteni. Ha kiutaznánk Japánba a hazai vízforralóval, akkor ott ugyanennyi vizet hány perc alatt tudnánk felmelegíteni, ha feltesszük, hogy a hálózati áram feszültségén kívül minden más feltétel ugyanaz marad?

## NE FELEDD!

**Az ellenálláson átfolyó elektromos áram hőt termel, ezt a hőt Joule-hőnek hívjuk, és a következőképpen számíthatjuk ki:**

**Hő = feszültség · áramerősség · idő, azaz $Q = U \cdot I \cdot t$.**

**Általánosságban is igaz, hogy ha egy fogyasztón $I$ erősségű áram folyik, és a fogyasztóra eső feszültség $U$, akkor a fogyasztóra eső munkavégzés $t$ idő alatt: $W = U \cdot I \cdot t$. A háztartási elektromos energiafelhasználást kWh-ban (kilowattórában) mérjük, 1 kWh = 3,6 MJ.**

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Időről időre felvetődik ötletként, hogy a villámok energiáját hasznosítsuk. Érdemes ebbe a fejlesztésbe energiát fektetni? Számoljunk utána, mennyi egy átlagos villám energiája! Vessük ezt egybe azzal, hogy egy liter benzin elégetésekor kb. 36 MJ energia szabadul fel. Néhány leckével ezelőtt láttuk, hogy egy villámban kb. 0,002 s alatt 30 kA-es áram halad át 1 MV feszültség mellett.

2. Egy autóvezető bekapcsolva felejti lámpáit a parkolóban. Két reflektora és 2-2 első, illetve hátsó helyzetjelző lámpája maradt égve. Mennyi idő alatt merül le a 40 Ah-s akkumulátorának a töltésmennyisége a felére? Az autó lámpáinak adatai: reflektorok: 12 V/55 W, a hátsó és első helyzetjelző lámpák: 12 V/5 W.

3. A ma sorozatban gyártott legnagyobb teljesítményű villanymotorok 50–100 MW teljesítményűek. Ezeket általában 10 kV-os feszültséggel látják el.
   *a)* Mekkora egy 50 MW-os villanymotor áramfelvétele?
   *b)* Egyórás működése mennyibe kerül 40 Ft/kWh-s ár mellett?

4. A villanymozdonyok Európa nagy részén 25 kV-os hálózatról üzemelnek, nálunk is. Budapest Nyugati pályaudvar és Szeged közt járó intercity mozdonya átlagosan 1,2 MW teljesítménnyel üzemel a 191 km-es út 2 óra 22 perces időtartama alatt. Egy 2. osztályú jegy ára 3855 Ft (2020).
   *c)* Mekkora erősségű áramot vesz fel a motor?
   *d)* Hány utas jegyvételéből lehet fedezni a mozdony elektromotorjának fogyasztását, ha 1 kWh elektromos energia árát 70 Ft-nak vesszük? (Nem lakossági árszabás.)

5. Vízmelegítő korszerűsítése előtt állunk. Lehetőségünk van mind villany-, mind gázüzemű vízmelegítő beszerelésére. A választás egyik szempontja lehet az energia egységárak összehasonlítása. (A veszteségeket mindkettőnél azonosnak tekintjük.)
   Hasonlítsd össze az energia árát! Melyik vízmelegítő beszerelése a gazdaságosabb?
   Villamos energia egységár (vezérelt áram): 24,6 Ft/kWh
   Gáz fűtőértéke: 34 MJ/m$^3$
   Gáz egységára: 105 Ft/m$^3$

# 14. | Lakásaink elektromos hálózata

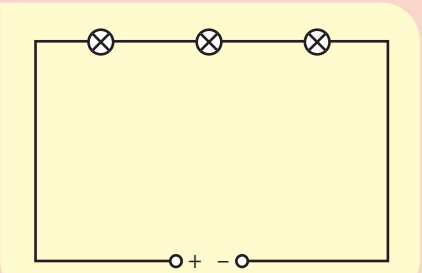
*Az elektromos árammal főleg lakásunkban, iskolánkban, épületeinkben találkozhatunk. A falakban vezetékekben folyik az áram, legfeljebb néhány műanyag fedőt látunk panelépületek falán. A falakon lévő kapcsolókkal szabályozzuk a lámpákat, a konnektorokba pedig különféle elektromos fogyasztókat csatlakoztatunk. Hogyan futnak a vezetékek a falban, hogy mindez működjön?*

## Soros kapcsolás

**KÍSÉRLETEZZ!**

Állítsd össze az ábrának megfelelő soros kapcsolást! Figyeld meg, ha bármelyik izzót kicsavarod, a többi sem világít!

Az olyan kapcsolásokat, melyekben két vagy több áramköri elem úgy kapcsolódik egymáshoz, hogy az áramkörben (vagy annak vizsgált szakaszában) nincs elágazás, **soros kapcsolás**nak nevezzük.



Soros kapcsolás

Szakítsuk meg az áramkör több pontját, és a szakadások közé iktassunk ampermérőket!

Azt tapasztaljuk, hogy ugyanaz az áram folyik át rajtuk, soros áramkörben az áramerősség tehát végig állandó. Ebben nincs semmi meglepő, mert az elektronoknak „végig kell haladniuk" a vezető mentén.

Mérjük meg az egyes izzókra eső feszültséget! Írjuk fel ezeket az értékeket, majd mérjük meg a feszültségforrásunk feszültségét!

Azt tapasztaljuk, hogy az egyes áramköri elemek feszültségének összege megegyezik az áramforrás feszültségével.

Ebből következik, hogy a sorba kapcsolt fogyasztók ellenállása is összeadódik. Minél több fogyasztót kapcsolunk sorba, annál kisebb lesz az áramerősség.

Ilyen áramkört nem célszerű otthonunkban kialakítani, mert ha az egyik fogyasztót kiiktatjuk, akkor az összes többi se lesz használható. Egyes eszközök elemei mégis így vannak kapcsolva. Ilyen eszköz otthonunkban a régebbi fajta karácsonyfaégő-sor. Ha az egyik izzó tönkremegy, akkor a többi sem világít.

## Tőled függ!

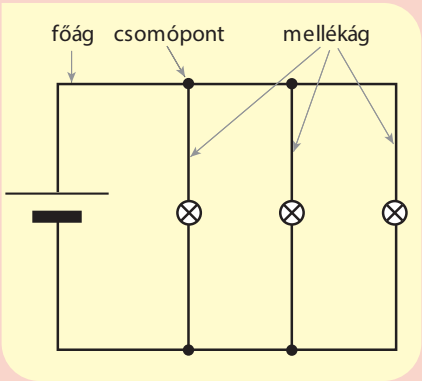
Karácsonyfaégő-sor

Az újabb típusú, leggyakrabban kínai karácsonyi izzósorban is sorba vannak kapcsolva az égők – néha akár száz égő is –, azonban egy ügyes trükkel megoldották, hogy ha egy izzóban kiég az volfrámszál, akkor ebben az izzóban rövidzár jön létre, és a többi izzó folyamatosan világít tovább. Néha nem teljes a rövidzár, hanem a hibás izzó jelentős mértékű Joule-hőt ad le, és ilyenkor karácsonyfatűz alakulhat ki. Ez a magyarázata, hogy a nem megfelelő minőségű karácsonyi fényfüzérek miatt minden évben bekövetkezik néhány baleset. A beltéri használatra vásárolt fénysorokat éjszakára le kell kapcsolni, illetve nem szabad felügyelet nélkül bekapcsolva hagyni a lakásban, mert az itt leírt módon létrejövő tűz pár perc alatt elharapózhat.

## Párhuzamos kapcsolás

### KÍSÉRLETEZZ!

Állítsd össze az ábrának megfelelő párhuzamos kapcsolást! Figyeld meg, ha bármelyik izzót kicsavarod, a többi ettől még ugyanúgy világít!




Párhuzamos kapcsolás

A párhuzamos kapcsolásban áramelágazások, úgynevezett csomópontok találhatók. Ezekből a csomópontokból különböző áramágak ágaznak ki. **Főág**nak nevezzük azt az ágat, amely közvetlenül az áramforráshoz kapcsolódik. Párhuzamos kapcsoláskor a fogyasztókat egy-egy külön **mellékág**ra kapcsoljuk. Ha valamelyik fogyasztó kiesik a körből, a többi ágon még ugyanúgy tud folyni az áram.

Mérjük meg az egyes izzókon és az áramforráson eső feszültségeket!

Azt tapasztaljuk, hogy **a feszültség mindegyik mellékágban (izzón) és az áramforráson azonos.** Ilyen kapcsolási módot már alkalmazhatunk a lakásunkban, mert minden egyes fogyasztó a 230 V-os hálózati feszültséget kapja, erre is tervezték őket.

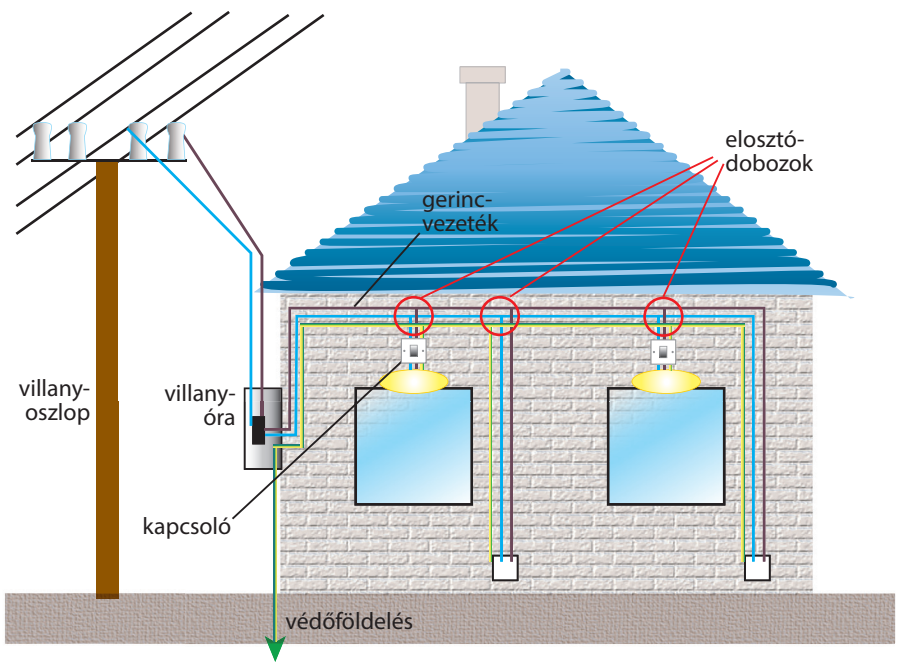
Kapcsoljunk most a főágba egy ampermérő műszert, majd iktassuk ki az egyes mellékágakban az izzólámpákat!

Azt tapasztaljuk, hogy a főági áram lecsökken, ha egyre több mellékágat iktatunk ki. Pontos méréssel is meggyőződhetünk arról, hogy **a főági áram az egyes mellékágakban folyó áramerősségek összege lesz**. Ehhez egyszerre kell mérnünk a főágban és az összes mellékágban folyó áramokat.

### Hallottál róla?

A lakásainkban, a konnektorok által szolgáltatott feszültség időben periodikusan változik, úgynevezett váltakozó feszültség. A 230 V valójában a folyamatosan változó feszültség megfelelően számolt átlagértéke.
Az elemek, akkumulátorok viszont lényegében állandó feszültséget szolgáltatnak.

A gyakorlatban ezt a párhuzamos kapcsolást a lakásoknál úgy oldják meg, hogy kihúznak egy háromeres (három vezetékből álló) gerincvezetéket, aminek két vezetéke (a nulla és a fázis) az elektromos hálózathoz, a védőföldelés pedig a földhöz kapcsolódik, és erről elosztódobozokból leágaztatják a fogyasztó vagy a konnektor felé a három vezetéket.




Egy ház elektromos hálózatának kialakítása is párhuzamos kapcsolással történik

## Hogyan volt régen?

Az első elektromos hálózatot Edison hozta létre New Yorkban 1882-ben. Az Osztrák-Magyar Monarchiában is hamar felismerték az elektromos áram jelentőségét. 1884-ben Milánó és Berlin után Európában Temesváron indult meg harmadikként az áramszolgáltatás. Elsőként a főteret világították ki 300 darab egész éjjel világító, és 200 darab fél éjszakán át üzemelő villanylámpával. Érdekes, hogy Budapest az elektromos energia felhasználásában lemaradt, mert egy cégnek monopóliuma volt a gázvilágításra, és ez ellenérdekelt volt az elektromos hálózatok kiépítésében. Pedig itt Zipernowsky Károly mint a Ganz Gyár Villamossági Osztályának mérnöke az egyik műhelynek már 1878-ban villanyvilágítást készített. Zipernowsky Károly és Déri Miksa révén 1882-ben már villanyvilágítása volt a Nemzeti Színháznak, 1883-ban pedig a Keleti pályaudvarnak. Magyarországon Temesvár után Mátészalka követte a villamos közvilágítás. 1888-ban egy Schwartz Mór nevű vállalkozó a malmához vásárolt dinamójának szabad kapacitását fordította városa javára. Érdemes megjegyezni, hogy Mátészalkán ugyanabban az évben indult meg az áramszolgáltatás, mint Párizsban.

Thomas Edison (1847–1931) amerikai elektrotechnikus, üzletember, feltaláló; minden idők egyik legtermékenyebb feltalálója, akinek több mint 1000 szabadalma volt

## Az eredő ellenállás számolása

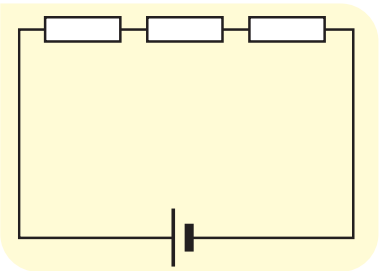
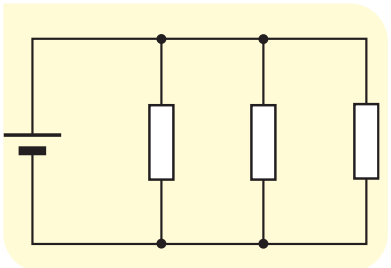
Ha több ellenállásunk van az áramkörben, akkor azokat célszerű egyesíteni. Az „egyesítés” során az úgynevezett eredő ellenállást határozzuk meg.

**Az eredő ellenállás nagysága akkora, hogy ha az ellenállásokat vele helyettesítjük, ugyanakkora feszültség mellett ugyanakkora áramerősséget fogunk kapni a főágban, mint amekkora az eredetileg volt.**

Jele: $R_e$.

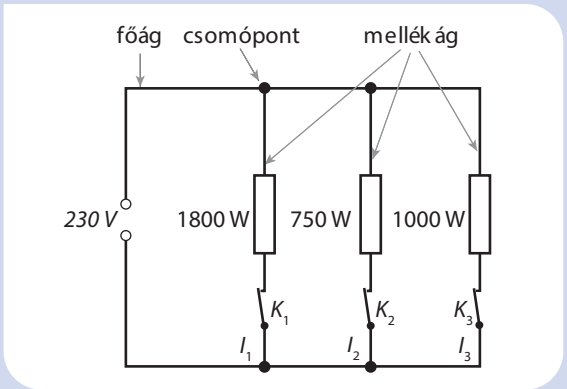
Az eredő ellenállás nagysága nemcsak az ellenállások nagyságától, hanem azok elrendezésétől (kapcsolásától) is függ.

Foglaljuk össze táblázatosan is a legfontosabb tudnivalókat, ahol már feltüntetjük az eredő ellenállásokat is.

| Soros kapcsolás | Párhuzamos kapcsolás |
|---|---|
|  |  |
| Mindegyik ellenálláson ugyanakkora erősségű áram folyik át: $I_1 = I_2 = I_3$. | Az egyes ellenállásokra ugyanakkora feszültség esik, ezért a rajtuk átfolyó áramerősségek ($I = U/R$) fordítottan arányosak az ellenállásokkal. A legnagyobb áram ott folyik, ahol a legkisebb az ellenállás. A mellékágakban folyó áramok összege egyenlő a főágban folyó áramerősséggel: $I = I_1 + I_2 + I_3$. |
| Soros kapcsolás esetén az egyes ellenállásokon mérhető feszültségek ($U = RI$) aránya megegyezik az ellenállások arányával. Az egyes ellenállásokon mérhető feszültségek összeadódnak: $U = U_1 + U_2 + U_3$. | Párhuzamos kapcsolás esetén mindegyik ellenállásra ugyanakkora feszültség jut: $U_1 = U_2 = U_3$. |
| Egyre több ellenállást sorba kapcsolva az eredő ellenállás egyre növekszik. Az ellenállások eredője az egyes ellenállások összege: $R_e = R_1 + R_2 + R_3$. | Párhuzamos kapcsolás esetén az eredő ellenállás kisebb bármelyik ellenállásnál. Egyre több ellenállást párhuzamosan kapcsolva az eredő ellenállás egyre kisebb lesz. Az eredő ellenállás reciproka az egyes ellenállások reciprokainak az összege. $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$. Ha csak két tag van, akkor a reciprokosszegzés a következő eredményre vezet: $R_{\text{eredő}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$. Gyakori speciális eset az, ha azonos $R$ ellenállásból két darab van párhuzamosan kötve. Ekkor az eredő ellenállás $R/2$ lesz. |

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Számoljuk ki, hogy ha a konyhában egyszerre bekapcsoljuk az 1800 W-os sütőt, a 750 W-os mikrohullámú sütőt és az 1000 W-os vízforralót, akkor a főágban mekkora áram folyik! Lehet-e a konyha kismegszakítója 15 A-es? (A kismegszakító olyan eszköz, amely automatikusan lekapcsolja az áramot, ha az elér egy névleges értéket.)




*Megoldás:* Használjuk fel azt, hogy párhuzamos kapcsolásban mindegyik ágban ugyanakkora lesz a feszültség, mint amennyi az áramforrás feszültsége. Jelen esetünkben tehát mindhárom fogyasztóra 230 V feszültség jut. A megadott teljesítményekből ki tudjuk számítani az egyes fogyasztók áramát az egyes ágakban a $P = U \cdot I$ összefüggés alapján:

$$I_1 = \frac{1800\ \text{W}}{230\ \text{V}} = 7{,}8\ \text{A}. \quad I_2 = \frac{750\ \text{W}}{230\ \text{V}} = 3{,}3\ \text{A}. \quad I_3 = \frac{1000\ \text{W}}{230\ \text{V}} = 4{,}3\ \text{A}.$$

Azt is tudjuk, hogy a főági áram egyenlő lesz a mellékágakban folyó áramok összegével.

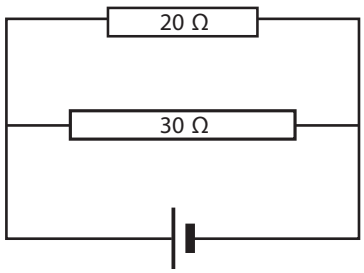
Így $I_{\text{főág}} = 7{,}8\ \text{A} + 3{,}3\ \text{A} + 4{,}3\ \text{A} = 15{,}4\ \text{A}$ értéket kapunk. Ez azt jelenti, hogy a konyha kismegszakítója nem lehet 15 A-es, hanem 20 A-es biztosítóra van szükség. (Ha a konyha mellékágának kismegszakítója csak 15 A-es, akkor a 15,4 A-es áram hatására lassan annyira felmelegszik a készülék hőtáguláson alapuló érzékelője, hogy megszakítja az áramot. Ehhez néhány perc szükséges.)

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:*

*a)* Számoljuk ki, hogy az ábra szerinti kapcsolásban mennyi az eredő ellenállás?

*b)* Mekkorák a főági és mellékági áramerősségek, ha a telep 12 V-os feszültséget szolgáltat.




*Megoldás:*

*a)* Az eredő ellenállás képlete szerint:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Behelyettesítve:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{20\ \Omega} + \frac{1}{30\ \Omega} = \frac{3}{60\ \Omega} + \frac{2}{60\ \Omega} = \frac{5}{60\ \Omega}$$

Ebből $R_e = 12\ \Omega$ (Két párhuzamosan kapcsolt ellenállás eredőjét gyakran a következő képlettel is ki tudjuk számolni, ha elvégezzük a közös nevezőre hozást, és a reciprok vevést:

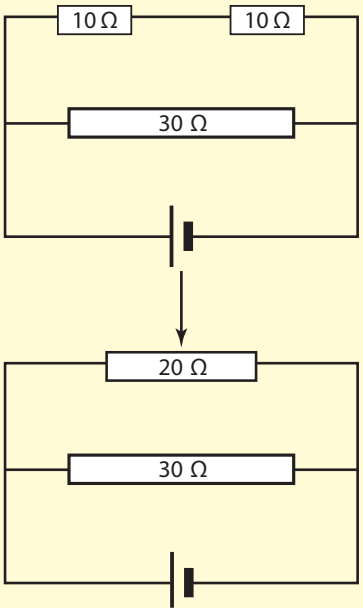
$$R_{\text{eredő}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

*b)* $I_{\text{főági}} = \frac{U}{R_e} = \frac{12\ \text{V}}{12\ \Omega} = 1\ \text{A}$

$I_{\text{alsó}} = \frac{12\ \text{V}}{30\ \Omega} = 0{,}4\ \text{A}$

$I_{\text{felső}} = \frac{12\ \text{V}}{20\ \Omega} = 0{,}6\ \text{A}$

Vegyük észre, hogy a mellékágakban folyó áram erőssége fordítva arányos az ellenállással, azaz a kisebb ellenálláson folyik a nagyobb áram, és fordítva.




## Vegyes kapcsolás

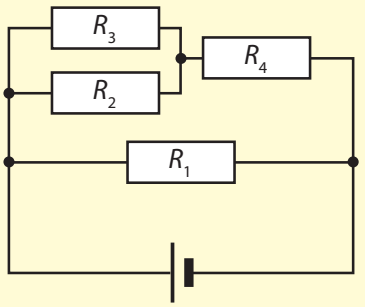
Gyakran előfordul, hogy valamelyik mellékágban több fogyasztó is sorosan van kapcsolva. Ilyenkor beszélünk vegyes kapcsolásról. Egy egyszerű alapesetet és az ilyenkor alkalmazandó eljárást a bal oldali ábra mutatja.

A soros kapcsolásban lévő elemeket gondolatban egyesítjük, így a vegyes kapcsolást visszavezetjük soros és párhuzamos kapcsolásokra.

### SZÁMOLJUK KI!

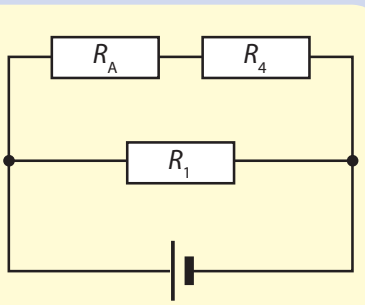
*Feladat:* Határozzuk meg az ábrán látható kapcsolás eredő ellenállását!

Adatok: $R_3 = 20\ \Omega$, $R_2 = 30\ \Omega$, $R_4 = 8\ \Omega$, $R_1 = 20\ \Omega$.




*Megoldás:* Először $R_2$-t és $R_3$-t egyesítjük. Ezek párhuzamosan vannak kapcsolva, eredőjüket jelöljük $R_A$-val.

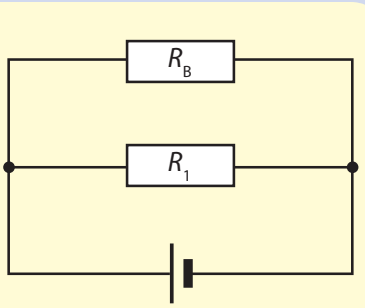
Felhasználva az $R_{\text{eredő}} = \dfrac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ képletet: $R_A = \dfrac{20\ \Omega \cdot 30\ \Omega}{20\ \Omega + 30\ \Omega} = 12\ \Omega$.




Ezek után egyesítsük $R_A$-t és $R_4$-et. Ezek sorba vannak kötve, eredőjük legyen $R_B$.

$R_B = R_A + R_4 = 12\ \Omega + 8\ \Omega = 20\ \Omega$.

Végül mivel $R_B$ és $R_1$ párhuzamosan van kapcsolva, eredőjük kiszámolható. Használjuk fel, hogy mindkettő 20 Ω-os, így az eredőjük 10 Ω lesz.




### NE FELEDD!

**A soros kapcsolás során ugyanaz az áram folyik végig minden ellenálláson, ezért ha valahol megszakad az áram, a többi fogyasztó sem kap áramot.**

**A párhuzamos kapcsolásnál minden fogyasztóra ugyanakkora feszültség jut, és a főági áram az egyes mellékágakban folyó áramerősségek összege lesz. A háztartásokban minden fogyasztót párhuzamosan kapcsolnak. Egy újabb fogyasztó bekapcsolásával a főági áram növekszik.**

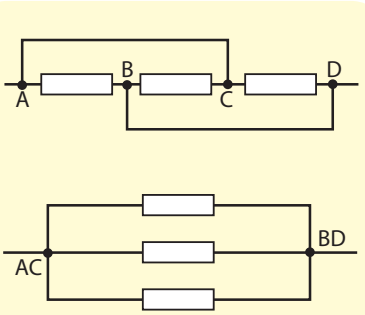
### NE HIBÁZZ!

A vegyes kapcsolást gyakran elhibázzák a diákok, mert egyszerűen, mindent egy lépésben akarnak számolni. A vegyes kapcsolásnál azonban ez nem megy, a kapcsolást több célszerű lépésben kell egyszerűsítenünk.

A soros és párhuzamos kapcsolást nem minden esetben könnyű felismerni. Nézzük meg a felső kapcsolási rajzot!

Itt a 3 ellenállás „sorban van”, de az A, B, C és D pontok mindegyike csomópont, ami arra utal, hogy nem lehet a kapcsolásunk soros. Mivel az A és C, valamint B és D pont vezetővel összekötött, ezért ők közös pontok, tehát egyesíthetők, és a kapcsolás az alsó ábrán látható módon rajzolható át:

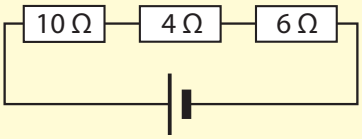
Ezzel megkaptuk, hogy kapcsolásunk valójában párhuzamos kapcsolás.



## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

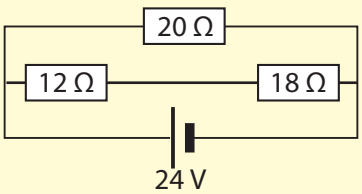
1. Egy fáziskereső védőellenállását úgy kell elkészíteni, hogy semmi áramot ne érezzünk. Az áramérzet kb. 1 mA-es értéknél kezdődik, saját ellenállásunkat vegyük 15 kΩ-nak. Mekkora legyen a védőellenállás?

2. Az ábrán látható áramkörben 100 mA-es áram folyik. Mekkora a telep feszültsége és az egyes ellenállásokon mérhető feszültség?

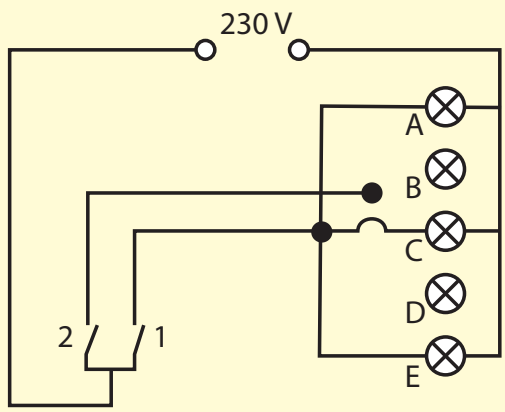



3. Egy lakásban a megszakító 16 A-rel terhelhető. A mosókonyhában a 2,1 kW-os mosógép üzemel, a vele párhuzamosan kapcsolt konyhai sütőnek 1300 W a teljesítménye. Bekapcsolható-e még az 1 A-es áramot igénylő számítógépem is, ha ugyanazon az áramkörön van, mint a mosógép és a sütő?

4. Mennyi az ábrán látható kapcsolásban a telepen átfolyó áram és az egyes ellenállásokon mérhető feszültség?



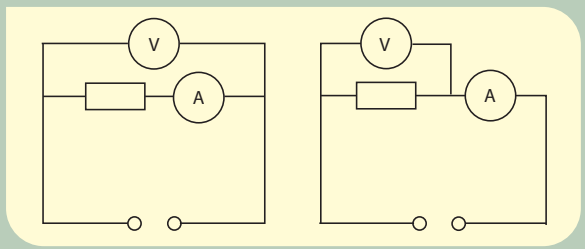

5. A lecke szövegében szereplő csillárkapcsolásban mindegyik izzó 100 W-os. Mekkora áram folyik a főágban, ha a kapcsolók közül az 1-es, ha a 2-es, és ha mindkettő be van kapcsolva? Mekkora egy izzó üzemi ellenállása? Mekkora a csillár eredő ellenállása, ha a csillár 1-es, ha a 2-es, és ha mindkét kapcsolója be van kapcsolva? (A kapcsolási rajzon jól látható az, hogy ha a 2-t zárjuk, akkor a B és a D izzók világítanak, ha az 1-t, akkor az A, C és E. )



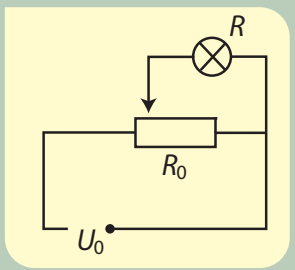

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy 12 V-os áramforrásról szeretnénk 2 db sorba kötött LED-et üzemeltetni. A LED-ek 3 V-os feszültségen üzemelnek, ekkor az áramerősségük 20 mA.
   *a)* Mekkora ellenállású előtét-ellenállást kell alkalmaznunk?
   *b)* Mekkora lesz az előtét-ellenállás teljesítménye?
   *c)* Mekkora előtét-ellenállást kell alkalmaznunk, ha a két LED-et párhuzamosan kapcsoljuk?
   *d)* Melyik esetben lesz jobb a hatásfok?

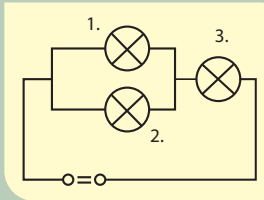
2. A mérőműszerek közül a voltmérőnek igen nagy az ellenállása, általában MΩ-osnál is nagyobb. (Az ideális voltmérőt végtelen nagy ellenállásúnak tekintjük.) Az ampermérőknek viszont nagyon kicsi, gyakran az 1 Ω-nak is csak töredék része. (Az ideális ampermérőt 0 ellenállásúnak tekintjük.) Ohm törvényét akarjuk kísérletileg vizsgálni egy 5 Ω-os és egy 5 kΩ-os ellenállással. Melyik kapcsoláshoz használjuk az 5 Ω-os és melyikhez az 5 kΩ-os ellenállást, ha nem ideálisak a mérőműszereink?




3. Az alábbi ábrán látható izzó adatai:
   $R = 20\ \Omega$, $U = 4$ V.
   Az $R_0$ változtatható ellenállás értéke 30 Ω.
   $U_0 = 8$ V.
   *a)* $R_0$ hányadrészére állítsuk a csúszkát, hogy az ellenállás a névleges feszültségét kapja?
   *b)* Hány százalékos hatásfokkal tudjuk ebben az esetben üzemeltetni az izzót?




4. Az ábrán látható kapcsolásban az egyforma izzólámpák közül a 2. számú izzó 10 W teljesítményen üzemel. Mennyi a 3. számú izzó teljesítménye? (Tekintsünk el az izzók ellenállásának hőmérsékletfüggésétől.)




5. Két különböző nagyságú, sorosan kapcsolt ellenálláson elektromos áram folyik keresztül.
   *a)* Melyik ellenálláson nagyobb az elektromos teljesítmény: a kisebb vagy a nagyobb ellenálláson?
   *b)* Hogyan módosul a válaszunk, ha párhuzamosan kapcsoljuk az ellenállásokat?

# 15. | A LED és társai

*Szinte megszámlálhatatlanul sok elektromos eszközt használunk. Ezek közül csak néhánnyal fogunk foglalkozni ebben a leckében. Elektromos eszközeinkre az a jellemző, hogy viharos gyorsasággal fejlődnek, ezzel párhuzamosan mások elavulnak és kimennek a divatból. Elég, ha csak a szórakoztató elektronikára gondolunk. Húsz évvel ezelőtt még hatalmas képcsöves tévék álltak a lemezjátszós, kazettás magnós hifi tornyokkal a nappaliban. Ma már lapos, könnyű gyakran falra szerelt OLED okos tévéket és bluetooth-os, USB-s mikro tornyokat forgalmaznak. A viharos fejlődést mi a világítástechnikán mutatjuk be. Ez mellett néhány egyszerű háztartási eszközzel foglalkozunk.*

**FIGYELD MEG!**

Vegyünk egy 60 W-os izzólámpát, egy 12 W-os kompakt fénycsövet és egy 5 W-os LED-lámpát.

Mindegyiket kapcsoljuk hálózatra úgy, hogy az áramkörbe egy ampermérőt is beiktatunk. Sötétítsünk be egy kissé, így jobban megfigyelhetjük azt, hogy a három különböző teljesítményű égőnek nagyjából azonos a fényereje.

Érdemes észrevenni, hogy míg a volfrámszálas izzó és a LED-lámpa rögtön eléri teljes fényerejét, addig a kompakt fénycsőre kicsit várni kell. Az ampermérők azt mutatják, hogy az áramfelvételük a teljesítményüknek megfelelően alakul. Az izzólámpa kb. 260 mA-t vesz fel, a kompakt fénycső kb. 50 mA-t, a LED-lámpa mindössze 21 mA-t.

## A gazdaságosság

Kísérletünkből levonhatjuk azt a következtetést, hogy a korszerű kompakt fénycsövek ötször jobban hasznosítják az energiát a fénykibocsátás szempontjából, mint a normál lámpa, a LED pedig 12-szer jobban. Nem kétséges, hogy a LED-lámpák hamarosan a kompakt fénycsöveket is ki fogják szorítani.

Érdemes egy táblázatban összehasonlítani a három lámpatípus egyéb tulajdonságait is:

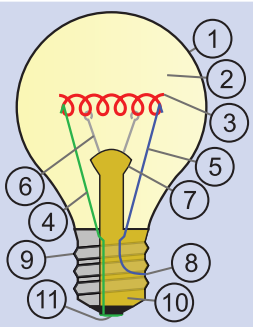
| | Izzó | Kompakt fénycső | LED |
|---|---|---|---|
| Élettartam (óra) | 1000 | 8000–15 000 | 50 000–100 000 |
| Fogyasztás (azonos fényerő mellett, jó minőséget feltételezve) | 60 W | ~ 12 W | ~ 5 W |
| Ár | 100 Ft | ~ 1000 Ft | ~ 1500 Ft |
| Hátrányai a megszokott izzólámpához képest | | – ritkán szabályozható fényerejű<br>– nem pontszerű fény, ezért más típusú árnyékot ad, ami szokatlan<br>– egyes típusoknál hosszú a bemelegedési idő<br>– más, általában hideg színű, szűk sugárzási sáv<br>– higanytartalma miatt erősen környezetszennyező | – általában nem a teljes térszögbe sugároznak, a megadott sugárzási szög elég kicsi is lehet<br>– eltérő színárnyalat, szűk sugárzási sáv<br>– gyakran eltérő foglalat<br>– nem szabályozható fényerejűek |

A táblázatból egyértelműen látszik, hogy a három fényforrás közül a LED áll győzelemre. Ezt már ma is láthatjuk, ha elmegyünk egy áruház világítási osztályára. A LED-es égők kiszorították a piacról a más típusúakat.

LED fényvető

Az izzólámpa több mint száz évig a legelterjedtebb fényforrás volt. Az üvegbúra alatt először légüres teret hoznak létre, majd az nemesgázzal töltötték fel. Az izzószálat pedig a nagyon magas olvadáspontú volfrámból készítették.

Az Európai Bizottság 2009-es határozata alapján a nagy energiafogyasztású, hagyományos volfrámszálas izzólámpák fokozatosan kikerülnek a forgalomból, mivel hatásfokuk roppant szerény, mindössze 2-3%. Az eredeti tervek szerint 2014-re néhány speciális típust kivéve az összes volfrámszálas izzólámpát kivonták volna a forgalomból. Különböző okokból a program némileg csúszott, de ma már tényleg gyakorlatilag eltűntek a boltok polcairól ezek. Az Amerikai Egyesült Államokban is hasonló szabályozást vezettek be, ott 2007-től vonták ki fokozatosan az izzólámpákat a forgalomból.




1. Üvegbúra
2. Semleges gáz vagy vákuum
3. Volfrámszál
4. Árambevezető
5. Árambevezető
6. Állvány
7. Üvegállvány
8. Elektromos érintkező (nulla)
9. fémmenet
10. Szigetelés
11. Elektromos érintkező (fázis)

Volfrám szálas izzólámpa

## Hogyan volt régen?

1896-ban jött létre az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. 1896-ban. Egykori legendás igazgatójának, Aschner Lipótnak a nevéhez fűződik a TUNGSRAM név bejegyeztetése 1909-ben. E budapesti (eredetileg újpesti) gyárnak a kutató laboratóriumában - főleg a két világháború között - több kutató az erősáramú elektrotechnikához nem kapcsolódó területeken is jelentős eredményeket ért el. Az izzólámpa elterjedését alapvetően befolyásolta az, hogy ez a gyár 1906-ban megvásárolta Just Sándornak és a horvát származású Hanaman Ferencnek a volfrámszál előállítására vonatkozó szabadalmát, és megkezdte a világon elsőként az ilyen típusú izzó gyártását. A későbbiekben újabb szabadalmakkal továbbfejlesztett izzólámpa az egész világon elterjedt, ami a gyár jelentős fejlődését hozta magával, és a világ egyik legnagyobb izzólámpagyára lett. Az első világháború során futott fel a rádiócső gyártás, ami a legprofitálóbb ágazatává vált később a cégnek. A gyár híres mérnöke volt Bródy Imre is, aki kifejlesztette a kriptontöltésű izzólámpát. A cég laboratóriumában pedig Bay Zoltán, világhírű fizikusunk is dolgozott.

## Hallottál róla?

A 2009-es számítások szerint az EU-ban használt mintegy 3,5 milliárd izzólámpa energiatakarékosra történő cseréje több mint 30%-kal csökkenti a világítás céljára történő energiafelhasználást, és ezen keresztül évi 15 millió tonnával csökkenti az üvegházhatású gázok kibocsátását. Ezáltal az európai háztartások teljes elektromos energiafogyasztása 5–10%-kal csökken.

| LUMEN | 250 | 450 | 800 | 1100 | 1600 |
|---|---|---|---|---|---|
| Hagyományos izzó | 25W | 40W | 60W | 75W | 100W |
| Halogén | 18W | 28W | 42W | 53W | 70W |
| Kompakt fénycső | 6W | 9W | 12W | 15W | 20W |
| LED | 4W | 6W | 10W | 12W | 18W |

Különböző típusú fényforrások összehasonlító táblázata. A Lumen a fényerősség mértékegysége. A táblázatból látható, hogy adott fényerő eléréséhez az adott típusú fényforrásból mekkora teljesítményűt kell beszerezni.

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Egy kerti napelemes lámpa LED-je 1,2 V-os akkumulátorról 20 mA áramfelvétellel 5 órán át világít. Előtte 8 órán át sütötte a Nap 25 cm²-es felületű napelemét. Mennyi ennek a kerti napelemes lámpának a hatásfoka?

Hiányzó adatunk még a napállandó, ami megadja, hogy mekkora teljesítménnyel süt a Nap. A légkör legfelső rétegeit hozzávetőlegesen 1400 W/m²-es intenzitással éri el a napfény. Hazánkban nyáron, a déli órákban a talajra jutó fényintenzitás 850–900 W/m² körüli érték. A napelemre jutó átlagos értéket becsüljük csak 300 W/m²-nek, mert a Nap nem merőlegesen világítja meg a napelemet.

*Megoldás:* Először számoljuk ki a napelem energiafelvételét! Mivel a napelemünk nem 1 m²-es, csak 25 cm²-es, ezért arányosan kisebb teljesítmény éri:

$$P = 300\,\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \frac{25\ \text{cm}^2}{10\,000\ \text{cm}^2} = 0{,}75\ \text{W}.$$

Ez 8 h alatt $W = Pt = 0{,}75\ \text{W} \cdot 8\ \text{h} = 6\ \text{Wh}$-t jelent.

Ezek után számoljuk ki azt, hogy mennyi energiát fogyasztott a LED:

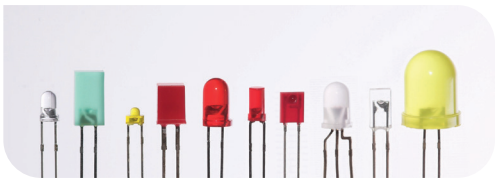
A LED teljesítményfelvétele:
$P = UI = 1{,}2\ \text{V} \cdot 20\ \text{mA} = 1{,}2\ \text{V} \cdot 0{,}02\ \text{A} = 0{,}024\ \text{W}.$

Energiafogyasztása 5 óra alatt: $W = Pt = 0{,}024\ \text{W} \cdot 5\ \text{h} = 0{,}12\ \text{Wh}.$

A hatásfok ennek alapján: $\eta = \frac{0{,}12\ \text{Wh}}{6\ \text{Wh}} = 0{,}02.$

Ez azt jelenti, hogy a kerti napelemes lámpa hatásfoka 2% körüli.
Mivel a veszteség nem csak a napelemnél jelentkezik, ezért magának a napelemnek ennél jobb hatásfokot tulajdoníthatunk, de azt semmi esetre sem vehetjük 4%-nál többre. A jobb hatásfokú, komolyabb helyeken használt napelemek hatásfoka sem sokkal múlja felül a 10%-ot, és a legjobb kísérleti eredmények is csak 40% környékén tartanak a többrétegű, gallium-arzenid (GaAs) anyagú napelemekkel, melyek viszont még megfizethetetlenül drágák.

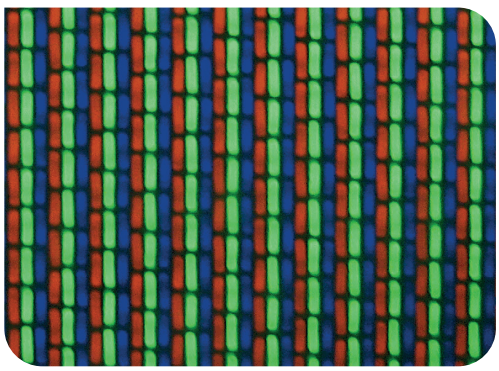
## NE HIBÁZZ!



Különböző LED-ek

Gyakran hallani a LED izzó elnevezést is. Ez az elnevezés azonban hibás, mivel a LED-es fényforrásokban a volfrám szálas égőkkel ellentétben nem izzik semmi. A LED-ekben a fény keletkezésesében nincs szerepe az elektromos áram hőhatásának. Némi melegedésük ugyan van, de messze nem olyan mértékű ez, mint a régi izzólámpákban. A fény itt egy félvezető eszközben keletkezik, olyan módon, mint amit majd atomfizikai fejezeteinkben fogunk érinteni.

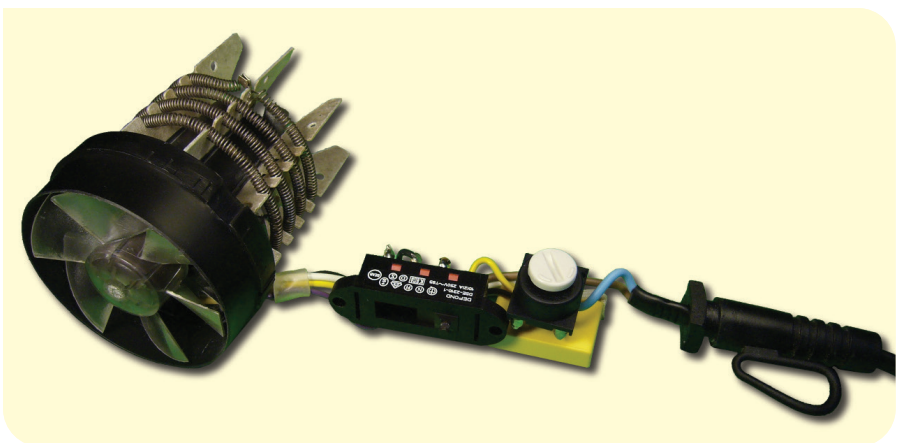
A LED lámpák a LED-ekből fejlődtek ki. A LED-eket már az 1960-as években ismerték, mégis lassan jutottak el a lámpákba való beépítésig. Kezdeti hátrányuk az volt, hogy nagyon gyenge fényt adtak, csak jelzőfénynek voltak jók. Másrészt a hagyományos fényforrásokkal szemben csak egyetlen hullámhosszon sugároznak. Napjaink LED lámpáiba több kisméretű dióda kerül elhelyezésre, és általában a műanyag burkolatba kevert foszforeszkáló anyagokkal érik el a megfelelő színárnyalatot. A LED-ek nemcsak a lámpákban terjedtek el, hanem a képernyők jelentős része is ezzel a technológiával készül.



LED-es képernyő erős nagyításban

## Hőtermelés elektromos árammal

Számos olyan háztartási eszközt használunk, amelyik az elektromos áram hőhatásán alapul. Ilyen például a vasaló, a hajszárító, a hősugárzó , az olajradiátor, a bojler. Ezek közös jellemzője, hogy általában elég nagy teljesítményűek, jellemzően 1-2 kW-osak, és viszonylag egyszerű felépítésűek. Mindegyikük fontos kelléke egy fűtőszál vagy fűtőbetét, ahol az elektromos energia hővé alakul át.



Egy hajszárító szétszedett állapotban. Jól láthatók a legfontosabb alkatrészei: A spirálisan feltekert fűtőszál, az elektromotor a lapátokkal, a kapcsoló és a vezeték

## Tőled függ!

A LED lámpák hátrányai közt említettük, hogy nem adja vissza tökéletesen a természetes színárnyalatot. Az élet úgy fejlődött ki, hogy a Nap természetes színárnyalatainak változásához alkalmazkodott minden élőlény. Mi emberek is ezt az evolúciós örökséget hozzuk magunkkal. A volfrám szálas izzó ebből a szempontból nem okozott problémát, színárnyalata erősen emlékeztetett a lenyugvó Nap sárgás, meleg fényére. Esténként felkapcsolva az ilyen lámpát, az ember szervezete is ezt az „alkonyi" hangulatot érzékelte. A kompakt fénycsövek megjelenésével jöttek a problémák. Ezek hideg fénye a delelő Nap színárnyalatára emlékeztett, ezért ez a lámpa sokaknál megzavarta az ember napi biológiai óráját. Esténként ezt a fényt használva az emberi szervezet azt az üzenetet kapta, hogy még mindig fényes nappal van, és így nem állt át „alkonyi üzemmódra". Ez alvászavarokhoz, növekvő stresszérzethez, fáradtsághoz, és sok más problémához vezethet. Hasonló gondokat okozhat az éjszakába nyúló számítógépezés, mobilozás. Ekkor is hasonló hideg fényt nézünk órákig. Ma már többfajta színárnyalatú LED lámpát is árulnak. A színárnyalatot az ún. színhőmérséklet jellemzi. A meleg fehér, napnyugtás árnyalatú lámpák színhőmérséklete 2700 Kelvin körül van, a hideg fehér színhőmérséklete 5000 Kelvin felett van. Hálószobában alacsony színhőmérsékletű lámpát használj, és a számítógép monitorját is érdemes úgy beállítani, hogy este melegebb, sárgás fénnyel sugározzon. Ma már ez sok készülékkel megtehető.

## Hallottál róla?

A jövő fényforrása lehet az OLED (Organic Light-Emitting Diode, azaz a szerves fénykibocsátó dióda). Ennek működési elve sokban hasonlít a szentjánosbogarak fénykibocsátásához. Ezek a bogarak egy kémiai reakció révén, vagyis szerves anyag oxidációjával 98%-os hatásfokkal termelik a fényüket. Az 1960-as években fedeztek fel olyan szerves anyagokat, amelyek félvezető tulajdonságúak, és diódaként építve őket feszültség hatására fényt bocsátanak ki a szentjánosbogarakhoz hasonló hatásfokkal. Az utóbbi időkben az OLED mikroelektronikai gyártástechnológiáját is megoldották. Szinte minden területen felülmúlják a hagyományos diódákat. Legfantasztikusabb tulajdonságuk talán az, hogy egy tintasugaras nyomtatóhoz hasonlító szerkezettel szinte bárhova felvihetők. Így készíthetők belőle hajlékony fényforrások is. Nagyon valószínű, hogy az LCD képernyők uralmát az OLED képernyők fogják hamarosan megtörni, amelyek már ma is kaphatók, de áruk (2020) egyenlőre magas. Előnyük a kontrasztosabb kép, laposabb méret és akár hajlított kivitelben is gyárthatják.

Egy leheletvékony, igen könnyű OLED tévé

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Egy 2 kW teljesítményű elektromos vízforraló 1,7 liter 18 °C-os vizet forráspontig 5 perc 50 másodperc alatt melegít fel. Mennyi ennek a vízmelegítőnek a hatásfoka? Számoljuk ki azt is, hogy ez a vízforralás mennyi pénzbe került!

*Megoldás:* Először számoljuk ki, mennyi hő kell a víz felmelegítésére.
A víz hőmérsékletének megváltozása: $\Delta T = 82\ °C$.

A víz tömege $m = 1{,}7$ kg. A víz fajhője $c = 4{,}2\ \frac{kJ}{kg\ °C}$.

$$Q = cm\Delta T = 4{,}2\ \frac{kJ}{kg\ °C} \cdot 1{,}7\ kg \cdot 82\ °C = 585{,}48\ kJ \approx 585\ kJ.$$

Ezek után számoljuk ki, hogy mennyi energiát használt fel a vízforraló!
Az idő $t = 5$ perc 50 s = 350 s.

$W = Pt = 2\ kW \cdot 350\ s = 700\ kWs = 700\ kJ.$

A hatásfok definíciója szerint $\eta = \frac{W_{hasznos}}{W_{befektetett}} = \frac{585\ kJ}{700\ kJ} = 0{,}84.$

A vízforraló hatásfoka tehát 84%-os. Ez kifejezetten jónak mondható, a vízforralók tehát nagyon hatékonyan melegítik a vizet.

1 kWh = 3,6 MJ = 3600 kJ.

Mi elhasználtunk 700 kJ energiát, ami a 3600 kJ-nak 0,194-szerese, tehát a fogyasztásunk 0,194 kWh volt.

Ez $40\ \frac{Ft}{kWh}$-val számolva $40 \cdot 0{,}194 \approx 8$ Ft.

## NE FELEDD!

**Ebben a fejezetben a fénnyel kapcsolatos elektronikai eszközökkel ismerkedtünk meg. A LED-ek, melyek a ma elterjedt fényforrások között a legjobb hatásfokúak, kis fogyasztásúak és nagyon tartósak.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy LED-ben 3,2 V hatására 20 mA-es áram folyik. Mekkora az ellenállása? Mekkora a fényteljesítménye, ha feltételezzük, hogy a hatásfoka 24%?
2. Egy 800 W-os mikrohullámú sütővel 3 dl vizet 2 perc alatt tudunk 20 °C-ról 60 °C-ra felmelegíteni. Mennyi a vízmelegítés hatásfoka?
3. Az összehasonlító táblázatunk adatait felhasználva, 40 Ft/kWh-s áramárat feltételezve, mennyi lesz 1000 óra után egy hagyományos izzó, egy kompakt fénycső és egy LED-lámpa összes költsége? (Az izzó árát vegyük 300 Ft-nak)
4. Egy erős lézerdióda 30 W fényteljesítményű. Maximális üzemi áramerőssége 39 A, feszültsége 1,9 V. Mekkora ennek a lézerdiódának a felvett teljesítménye? Mennyi a hatásfoka?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy lézerdióda műszaki leírásából idézünk:
   Műszaki adatok:
   Feszültség: 5 V (közvetlenül 5 V-ra köthető)
   Áram max.: 40 mA
   Teljesítmény: 5 mW
   Hullámhossz: 650 nm
   Mekkora ennek a lézerdiódának a hatásfoka?

2. Egy napelemeket gyártó cég katalógusából ismertetünk néhány adatot:
   Egy napelemtábla mérete 1 × 1,5 m.
   Névlegesen 30 V-os feszültséget szolgáltat 8,7 A-es áram mellett, megfelelő napsugárzás esetén.
   1 kW-nyi teljesítmény megépítése 550 000 Ft.
   Az átlagos napi sugárzás értéke Magyarországon 3,7 kWh/m$^2$.
   1 kW-os napelemtáblával egy év alatt átlagosan 1100 kWh villamos energiát termelhetünk, megfelelő tájolás mellett.
   Az áram ára kb. 40 Ft/kWh.
   *a)* Hány napelemtáblát kell vennünk, ha 1 kW-os teljesítményt akarunk beépíteni?
   *b)* Hány év alatt térül meg a beruházás?
   *c)* Mennyi a napelemek hatásfoka?

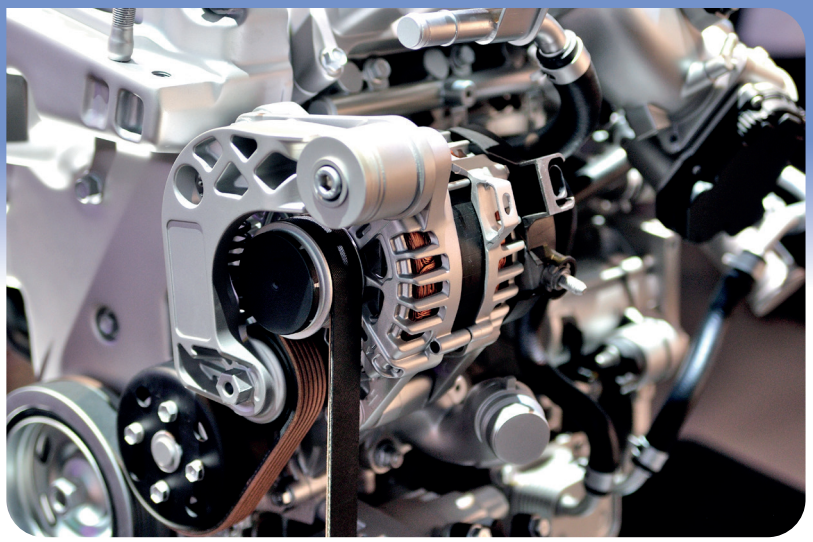
3. Egy 9 W teljesítményű LED-lámpát már kb. 1100 Ft-os áron meg lehetett vásárolni. Az ugyanilyen fényerejű kompakt fénycsövet 15 W-os teljesítmény mellett 420 Ft-ért árulták a legolcsóbb helyen. Mennyi idő alatt térül meg egy LED lámpa nagyobb ára napi 3 órás használatot feltételezve? Egy kompakt fénycső átlagos élettartalma 6000 óra, egy LED-lámpáé 30 000 óra. A LED-lámpa teljes élettartama alatt mennyit spórolhatunk a kompakt fénycsővel szemben 40 Ft/kWh-s áramárral számolva?

4. 2014-ben a fizikai Nobel-díjat három japán kutató kapta a kék LED kifejlesztésében végzett munkájukért. Nézz utána, hogy kik ők, és miért fontos az általuk végzett fejlesztés!

Napelem farm

## Modern autóknál

*az indítómotor és a generátor feladatát ugyanaz az egység látja el. Hogyan működik ez az egység motor, illetve generátor üzemmódban?*



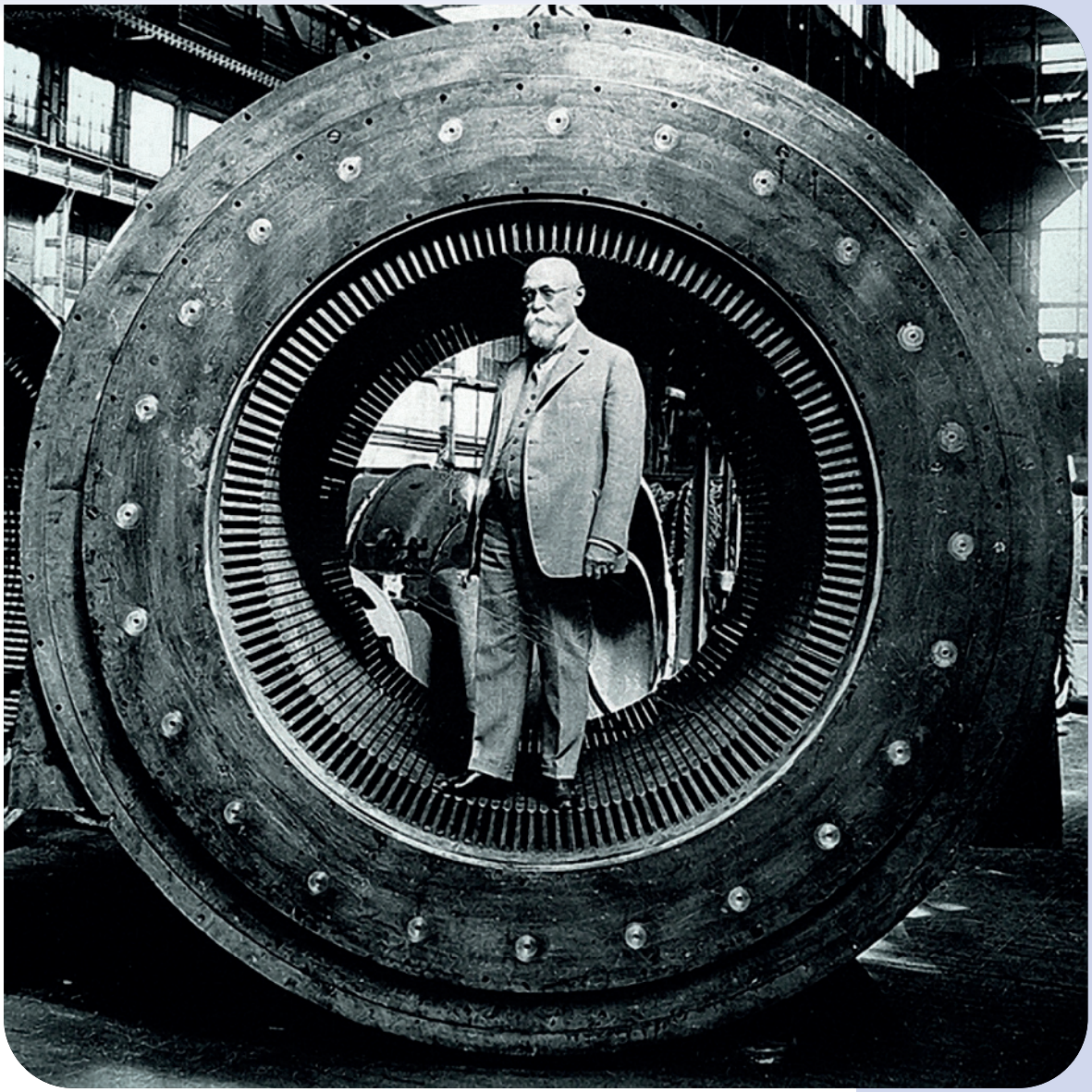
## A szélerőművekben

*a szél által hajtott lapátok generátort hajtanak meg, ami áramot termel. A szélerőművekben hogyan termelnek áramot?*

## Mind az elektromos

*(akkumulátoros) mind a tüzelőanyagcellás autókban a belsőégésű motor funkcióját az elektromotor(ok) látják el. Milyen esetekben használják az elektromotorokat? Mondj három példát!*

# GENERÁTOROK ÉS MOTOROK



## Turbógenerátor

*Ezen az 1904-ben készült fényképen egy készülőfélben lévő turbógenerátor belsejében látjuk Bláthy Ottót a budapesti Ganz gyárban.*

# 16. | A bűvös mágnesek

*Mindenki szeret a mágnesekkel játszani. A mágnesek tulajdonságai elbűvölnek minket. Manapság már viszonylag olcsón megvásárolhatunk olyan neodímiummágneseket, melyek megdöbbentően erősek. A legerősebb ilyen állandó mágnesekkel igen óvatosan kell bánnunk, hogy elkerüljük a baleseteket, illetve hogy egymáshoz csapódva ne törjük össze őket.*

## KÍSÉRLETEZZ!

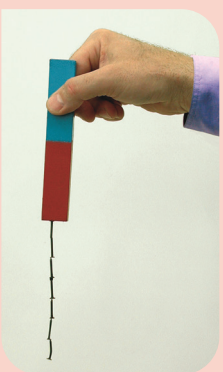
Vas és mágnes közt vonzást tapasztaltunk. Két mágnes közt azonban nemcsak vonzást tapasztalhatunk, hanem taszítást is.

**Az azonos pólusok taszítják, az ellentétes pólusok vonzzák egymást.**

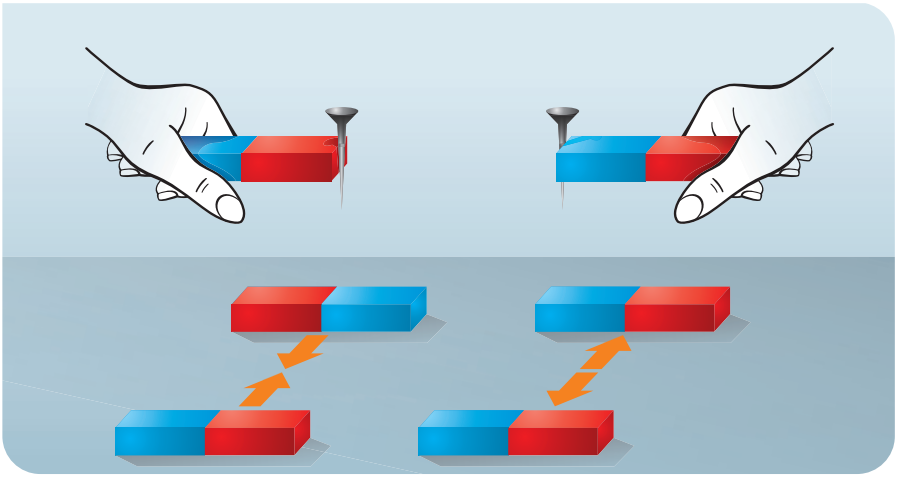
## KÍSÉRLETEZZ!

A mágnes magához vonzza a vasat. Nem is kell hozzáérinteni, mert a mágnes körül mágneses mező (mágneses tér) alakul ki. A képen látható, hogy a sorba rendeződő szegek láncolatot alkotnak. Ez azt jelenti, hogy minden vasszeg maga is egy olyan kis mágnessé válik (egyre kisebb mértékben), amelyik újabb vasszeget vonz magához.

Azt a jelenséget, melynek során eredetileg nem mágneses testek a mágneses mező jelenlétére maguk is mágnesek lesznek, felmágneseződésnek vagy **mágneses megosztásnak** nevezzük.



## Alapjelenségek



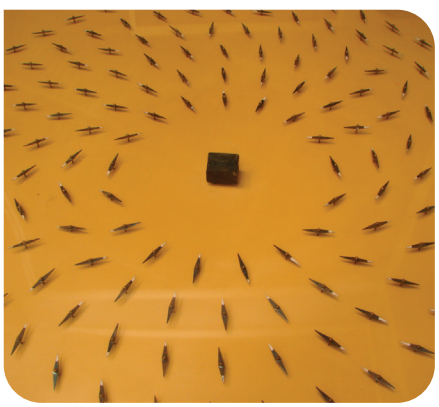
Azt a jelenséget, melynek során eredetileg nem mágneses testek a mágneses mező jelenlétére maguk is mágnesek lesznek, **felmágneseződés**nek nevezzük.

A mágnes azért nem vonzza az alumíniumot és sok más anyagot, mert azok nem képesek észrevehetően mágnesessé válni.

Azokat az anyagokat, melyek jelentős mágnességet mutatnak, **ferromágneses anyagok**nak nevezzük. Az elemek közül mindössze három fém ferromágneses: a vas, a nikkel és a kobalt, a többi elem nem. Ezeken a tiszta elemi fémeken kívül még sokféle ötvözet is ferromágneses.

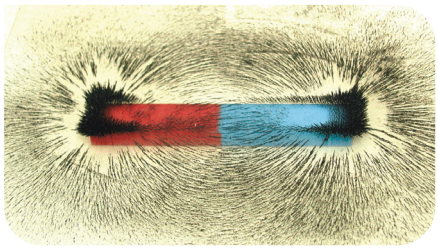
Egy rúd alakú mágnes ereje a vége körül koncentrálódik. Erről könnyen meggyőződhetünk, ha a mágnest egy vasszeggel „letapogatjuk". A legerősebb mágnesességet mutató pontnak a környezetét nevezzük **a mágnes pólus**ának. Az iskolai rúdmágnesek mindkét végének közelében találhatunk egy-egy mágneses pólust.

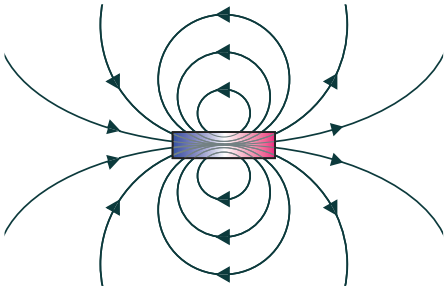
A pólusok nevét az iránytű alapján nevezték el. A Földön minden mágnes, ha szabadon elfordulhat, akkor észak–déli irányba fog beállni. Azt a pólust, amelyik az Északi-sark felé mutat, északi pólusnak nevezik, ami a Déli-sark felé mutat, délinek. Az iskolai mágneseken az északi pólust legtöbbször piros színnel, a déli pólust kékkel szokták jelölni, de erre nincs általános megállapodás. A mágnesek a (helytelen) tárolás következtében gyakran lemágneseződnek, az iránytűkben lévő gyenge mágnestűk akár fel is cserélhetik a pólusaikat.



Mágneses mező sok kis mágnestűvel. Figyeld meg a mágnestűk elhelyezkedését: kirajzolják a mágneses mező erővonalait!

## Mágneses mező szemléltetése





A mágnesek közötti kölcsönhatást mező közvetíti. Ez a **mágneses mező** láthatóvá tehető finom vasreszelékkel, amit a mágnes fölé tett üveglapra szórunk. A vasreszelék kirajzolja azokat az **erővonalak**at**,** amelyek (az elektrosztatikus mezőhöz hasonlóan) jellemzik a teret**. Az erővonalak az északi pólusból kifelé, a délibe befelé mutatnak**. Ott erősebb a tér, ahol a vasreszelék, azaz az erővonalak sűrűbben helyezkednek el.

### KÉSZÍTSÜNK MÁGNEST!

Gyenge mágnest készíthetünk mi magunk is, ha van egy erős mágnesünk. Nem kell mást tennünk, mint keresünk egy jól mágnesezhető acéltűt vagy más acéltárgyat, és a mágnesünk egyik pólusát egy adott irányba többször végighúzzuk a tűn. Az acél igen, a lágyvas viszont nem tartja meg tartósan a mágnesezettségét. Annak, hogy egy anyag miért mutat mágnességet, egy másik anyag meg miért nem, igen bonyolult, atomi és kristályszerkezeti szintű magyarázata van.

## Mágneses pólusok

Ha egy mágnest kettétörünk, akkor nem a két pólust választottuk szét, hanem két darab kisebb mágneshez jutottunk. A két pólust nem lehet szétválasztani, **mágneses monopólus nincs.** A mágneses pólusok általában a mágnes végeinek a közelében helyezkednek el. Ezekben a pontban a legerősebb a mágneses mező.

Ez persze nem jelenti azt, hogy minden mágnes csak egy északi és csak egy déli pólusból áll, mert egy mágnesnél is sok póluspárt alkalmazhatnak. A manapság nagyon népszerű hűtőmágnesként is használt **mágneses tapadófóliák nagyon sok póluspárt tartalmaznak** a rajzon látott módon.

## A mágnesesindukció-vektor

**A mágneses mező erejét az úgynevezett mágneses indukció nagyságával jellemezzük.** Az indukciót ***B***-vel szokták jelölni. Mértékegysége a tesla (ejtsd: teszla). A mértékegységet Nikola Tesláról (1856–1943), a Horvátországban született szerb fizikusról nevezték el.

A mágneses indukciónak iránya is van, tehát vektormennyiség.

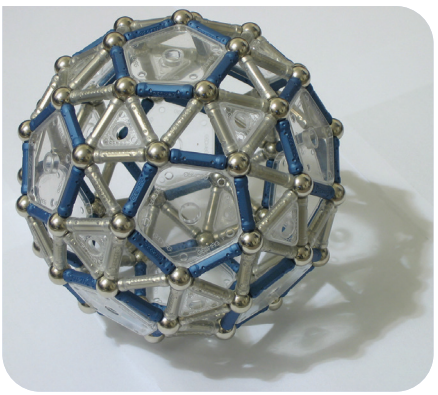
***B***-nek az irányára úgy tudunk következtetni, hogy az mindig érintője egy erővonalnak. Az erővonalképből ***B***-nek a nagyságára is tudunk következtetni; ahol sűrűbben helyezkednek el az erővonalak, ott nagyobb az indukció.
Egy iskolai patkómágnes indukciója legfeljebb néhány tized tesla erősségű a pólusai közelében. Egy hűtőmágnes néhány mT (millitesla). A legerősebb kereskedelmi forgalomban kapható mágnesek 1,5 T körüliek a ólusok közelében mérve.

### Hallottál róla?

Vannak olyan ötvözetek, például a 25% mangánt, 14% alumíniumot és 61% rezet tartalmazó ötvözet, amely annak ellenére ferromágneses, hogy egyik összetevője sem az.

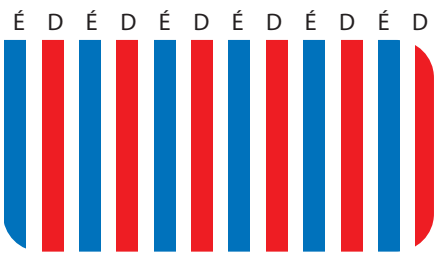
A 78% vasat tartalmazó mangánacél viszont egyáltalában nem ferromágneses, annak ellenére, hogy túlnyomó részben ferromágneses vasból áll.

Az anyagok mágneses tulajdonságainak vizsgálata a mai napig a kutatások homlokterében áll, az „elbűvölő" mágnesek viselkedésének megértése nem könnyű feladat.

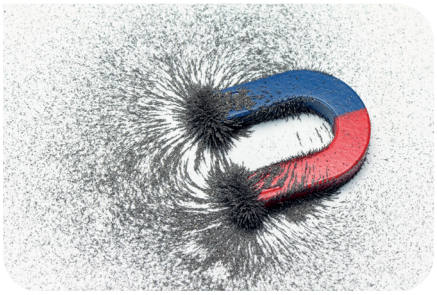


Mágneses játék

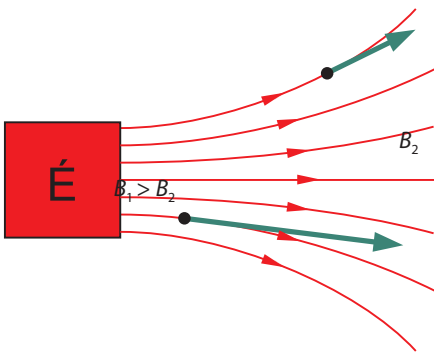
Hűtőmágnesek




A mágneses tapadófóliák sok póluspárt tartalmaznak



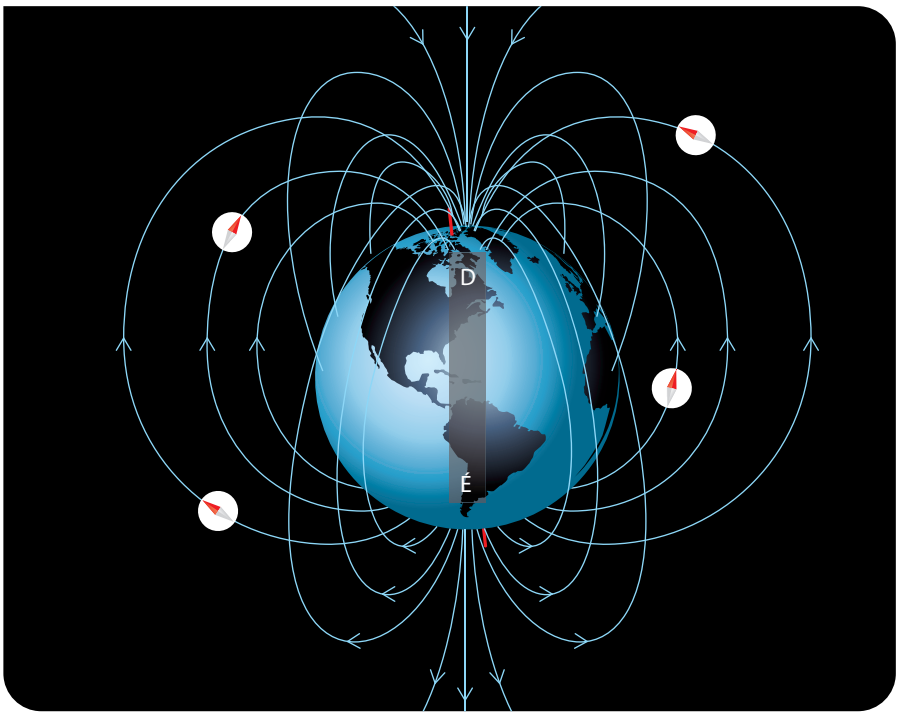
A patkómágnes végei között jó közelítéssel homogén a mágneses mező




Mágnesesindukció-vektor felrajzolása mágneses indukcióvonalak segítségével

A legerősebb tartós mágneses tér, amit ember eddig előállított, 45 T nagyságú volt. Ezt a hatalmas mágneses indukciót szupravezető elektromágnesekkel érték el, melyekben igen nagy áramok hozzák létre a mágneses mezőt.

Nagy jelentősége van annak a mágneses térnek, amelynek minden pontjában a mágneses indukció állandó érték. Ezt a teret **homogén mágneses térnek** nevezzük. Ennek a térnek az erővonalai egymástól állandó távolságra lévő párhuzamos egyenesek. Jó közelítéssel ilyen tér alakul ki egy patkómágnes két vége közt.



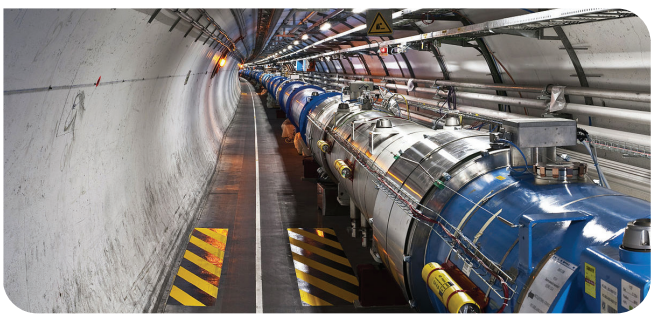

A mágnestű északi pólusa a földrajzi Északi-sark felé mutat, tehát annak közelében található a Föld mágneses déli pólusa (D). Ugyanígy igaz az is, hogy a földrajzi Déli-sark közelében van a Föld mágneses északi pólusa (É)

## A Föld mágneses tere

Az iránytű észak-déli irányú beállása utal arra, hogy a Föld is nagy mágnes. Rajzunkon úgy egyszerűsítettük ezt, mintha a Föld belsejében egy hatalmas rúdmágnes lenne. Valójában a földi mágneses mező ennél sokkal bonyolultabb szerkezetű. A tapasztalatok szerint a Föld mágneses mezeje nem tűnik túlságosan erősnek. Egy iskolai mágnes is százszor-ezerszer erősebb a pólusainak a közelében, mint a földi mágneses mező abban a teremben, ahol a

## Hallottál róla?

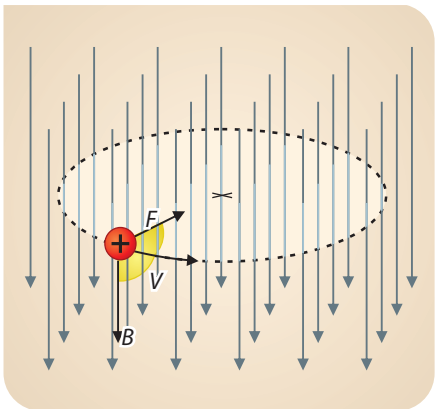
A világ legnagyobb mágneses rendszere a genfi CERN nevű részecskekutató intézet LHC nevű gyorsítójában van, ahol egy 27 km kerületű mágneses gyűrűben keringenek az elemi részecskék. Itt 1624 mágnest alkalmaznak, melyek maximálisan 8,3 T-s mágneses teret állítanak elő. Ezek mind 1,9 K hőmérsékletre hűtött, folyékony héliummal működő szupravezető mágnesek, melyekben igen nagy elektromos áramokkal hozzák létre a hatalmas mágneses indukciót.



A genfi CERN LHC gyűrűje. A kék elemekben találhatók a szupravezető mágnesek

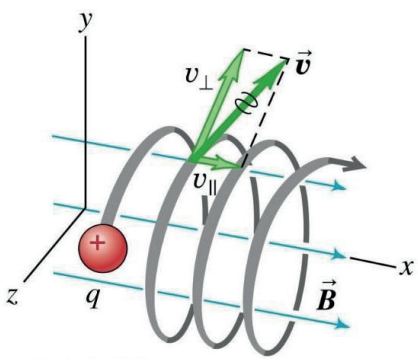
mágnest tartjuk. Viszont a földi mágneses mező óriási kiterjedésű. Ez a nagy kiterjedésű mágneses nagyon fontos az élet megóvásának szempontjából, mert a légkörrel együtt megóvja a Földünket számos káros sugárzástól.

## A Lorentz-erő




A Napból és a kozmosz más részeiből folyamatosan érkeznek nagy sebességű, elektromosan töltött részecskék, főként protonok és elektronok a Föld felé. Különösen jelentős ez napkitörések alkalmával. Ezek kölcsönhatásba kerülnek a Föld mágneses mezejével, a mágneses mező a töltésekre erőt gyakorol. **A mozgó, elektromosan töltött részecskék és a mágneses mező kölcsönhatásának eredményeként fellépő erőhatást Lorentz-erőnek nevezzük.** A Lorentz-erő érdekes tulajdonsága az, hogy ez egy **eltérítő erő**. Ezen azt értjük, hogy ez az erőfajta soha nem okozza azt, hogy egy részecske sebessége megnőne vagy lelassulna, ellenben eredeti haladási irányától eltéríti a részecskéket. A Lorentz-erő merőleges a sebességre (és a mágneses mezőre is).

Az ábra azt szemlélteti, hogy homogén mágneses mezőben az erővonalakra merőlegesen haladó részecskék pályája kör lesz. Ennek az a magyarázata, hogy a homogén mező miatt a Lorentz-erő állandó nagyságú. Iránya mindig merőleges a sebességre, amelynek nagysága szintén állandó. Ebből az következik, hogy az állandó nagyságú sebességvektor azonos időközönként mindig ugyanannyira térül el, ami éppen az egyenletes körmozgásnak felel meg. Ha homogén mágneses mezőbe ferdén lövünk be egy elektromosan töltött részecskét, akkor a részecske egyenletes menetemelkedésű csavarvonal mentén mozog, ami két mozgásból tehető össze: a részecske egyszerre végez egyenletes körmozgást és egyenes vonalú egyenletes mozgást.



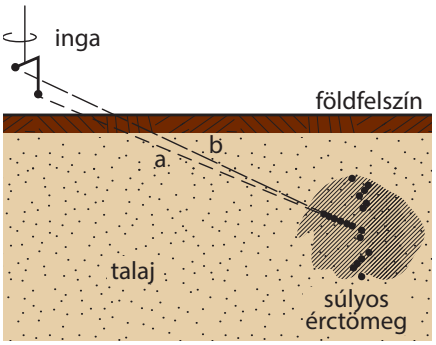

Töltött részecske spirális mozgása homogén mágneses mezőben. A v sebességvektor felbontható egy B-re merőleges, és azzal párhuzamos összetevőre. A merőleges összetevő körpályára kényszeríti a részecskét, a párhuzamos összetevő „elcsúsztatja" ezeket a körpályákat.

### A VAN ALLEN- SUGÁRZÁSI ÖVEZETEK

A Föld felé záporozó részecskéket a Lorentz-erő nem körpályára téríti el (mert a töltések általában nem a földi mágneses térre merőlegesen érkeznek, és a Föld mágneses tere nem homogén), hanem csavarvonal alakú pályákon két övezetbe gyűjti a töltéseket. A messze, a légkörön túl lévő övezetek közül az elsőben (2000–5000 km magasan) a protonok, a másodikban (15 000–20 000 km magasan) elektronok fogódnak be, és bonyolult spirálpályán vándorolnak a sarkok felé, és vissza. Ennek következtében tehát **a Napból és a kozmosz más részeiből érkező részecskezápor nagy része nem éri el a Föld felszínét**, hanem ezekben az övezetekben befogódik. Ebben az óvó szerepben a Nap mágneses terének is jelentős szerepe van. Ezek a mágneses mezők a légkörrel karöltve megóvják a földi életet a káros sugárzásoktól. Nem ritkán azonban hosszú pályájuk során az elektromosan töltött részecskék a sarkok környékén a felső légkörbe is beléphetnek. Az ilyen részecskecsomagoknak a belépése a légkörbe éjszaka látványos fényjelenséget okoz, amit **sarki fény**nek nevezünk. Ilyenkor az elektromosan töltött részecskék a nitrogén- és oxigénmolekulákat fénykibocsátásra gerjesztik.

Sarki fény 2015 márciusában hazánk felett. Nagyon ritkán, erős naptevékenység idején a sarki fény hazánkból is látható

Eötvös-inga




Eötvös-inga elvi működése

## Hallottál róla?

Eötvös Loránd nemcsak a gravitáció problémakörét kutatta eredményesen, hanem a földmágnességgel is foglalkozott. Főként a földmágnesség helyi zavarai foglalkoztatták. Magyarország egész területén megszervezte a nehézségi gyorsulás mellett a mágneses indukció mérését is. Ő ismerte fel elsőként, hogy a mágneses és gravitációs eltérések gyakran összefüggenek.

Hazánkban is egyes helyeken találtak mágnesvasérc- (magnetit-) kristályokat: Badacsonyban, Celldömölkön, Felsőcsatáron, Recsken, Rudabányán, Perkupán és a Velencei-hegységben. Bányászatra alkalmas előfordulás azonban ma már nincs Magyarországon.

Egyes újságcikkekben azt lehet olvasni, hogy a Földünk éppen pólusváltás időszakában van, és hamarosan lesz egy olyan időszak, amikor a Földnek nem lesz mágneses tere, és ez az élet kipusztulásához vezet. Valójában a Föld mágneses terének változásai ma még nehezen jósolhatók előre. Az kétségtelen, hogy az utóbbi évszázadban a földmágnesség értéke csökkent. A legtöbb kutató egyetért abban, hogy a pólusváltás több ezer éves folyamat, emberi léptékkel nézve meglehetősen lassú.

Sok állatfaj tájékozódik a Föld mágneses terének segítségével. Bizonyítottan ilyen állatok a tengeri teknősök, a cápák, számos madárfaj. Legrészletesebben a postagalambokat vizsgálták ebből a szempontból, akiknek szemzugaiban megtalálták azokat a mágneses kristályokat, amelyekhez érzékelő receptoraik kapcsolódnak. A kutatók nemrégiben a rókánál, a házi szarvasmarhánál, valamint gímszarvasoknál és őzeknél is kimutatták a mágneses érzékelés bizonyos formáját. A jelenség sokkal elterjedtebb lehet az emlősök körében, mint azt korábban hitték.

Újabban az emberi agyban is találtak mágneses nanorészecskéket, sőt mágneses baktériumokat is találtak az emberi szervezetben, de ezek szerepe még nem tisztázott.

Eötvös Loránd mérések közben terepen

## Tőled függ!

**Mit károsíthat egy erősebb mágneses mező?**

- **Szívritmusszabályzót** olyan személyeknek ültetnek be, akiknek szívritmuszavaraik vannak. Ezeket a készülékeket a bőr alá, a mellkasba ültetik, és elektromos impulzusokat bocsátanak ki. Már 1 mT erősségű mágneses mező is hathat működésükre, ezért a szívritmus-szabályzós embereknek kerülniük kell a közepesen erős mágneseket is.
- **A mechanikus órát.** Egy erős mágneses mező az óra acélrészeit mágnesessé teszi, ennek következtében az óra pontatlan lehet, hacsak nem speciális antimágneses kivitelű.
- **Olcsó mágnescsíkos kártyát**. Ezek mágneses csíkjai világosbarnák. Gyakran használják őket mint parkoló- és belépőjegyeket. Ezek érzékenyek, és már 30 mT hat rájuk, tehát egy erős iskolai mágnes tönkreteheti őket.
- A **katódsugaras (hagyományos) tévékészülékeket** mindenképpen óvni kell. Ennek színeit „összekavarhatja" már egy erősebb iskolai rúdmágnes is. Ennek okait a következő fejezetben érintjük. Néhány ki- és bekapcsolás után a készülékek általában visszanyerik az eredeti színeiket.
- Az **analóg kijelzős kvarcórák** is megsérülhetnek, mert a bennük lévő kis motorra hat a mágneses tér.
- A **régi magnókazetták** fóliái mágnesezhető csíkot tartalmaznak, ezért erősen sérülékenyek.

**Mi az, amit csak nagyon erős mágnesek károsíthatnak?**

- Minőségi mágnescsík például a **bankkártyák**on található. Fekete színűek, és csak 0,4 T-nál erősebb mágneses tér tesz bennük kárt.
- A számítógépes **merevlemezek** is a mágneses tárolás elve alapján működnek. Ennek ellenére sokkal ellenállóbbak a mágnesekkel szemben, mint azt elsőre gondolnánk. Ezzel együtt is ellentmondásos hírek vannak róluk. Ha asztali számítógépbe beépítettek, nem kerülhet hozzá mágnes olyan közel, hogy kárt tegyen benne.
- A **laptopok merevlemeze**i ezzel szemben érzékenyebbek, ha állandó mágnesek kerülnek a közelükbe.

**Nem károsítja a mágneses mező a következőket:**

- Az USB-s **pendrive**-ok semmilyen veszélynek nincsenek kitéve az állandó mágnessel szemben.
- **Digitális fényképezőgép, mobiltelefon, iPod, iPad,** ezeket sem károsítja a mágneses mező, mert nem mágneses adatmentési módokat használnak.
- **CD-k és DVD-k** sem mágneses adattárolók, ezért semmilyen veszélynek nincsenek kitéve.

## Hallottál róla?

A mágnesek egy adott hőmérséklet felett elveszítik mágnességüket. Ez a hőmérséklet az ötvözet típusától függ. Egyes mágnesek elveszthetik mágnességüket akkor is, ha például leejtjük őket a földre.

A legerősebb állandó mágnesek neodímium-vas-bór ötvözetből készülnek. Ezeket hívják közönségesen neodímiummágnesnek. Egy ilyen mágnes a saját tömegénél 1300-szor nehezebb vastárgyat is fel tud emelni. Ennek a mágnesnek olyan nagy az ereje, hogy olyan anyagokkal is mágneses kölcsönhatásba lép, amelyek hagyományosan nem is mágnesesek, például kimutatható mértékben meg tudja változtatni a víz sík felszínét. (Valójában az ilyen jelenségek arra mutatnak rá, hogy az erős mágneses mező iránt semmilyen anyag nem lehet teljesen közömbös.)

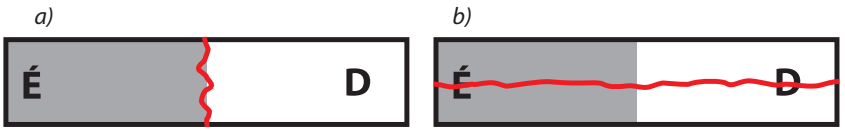
Kis méretű neodímium gömbmágnesek nehéz szerszámokat tartanak meg

## NE FELEDD!

**A mágnes pólusai mindig párosával lépnek fel, csak déli, vagy csak északi pólus önmagában nincs. A mágnest mindig egy mágneses mező veszi körül, a mező „erejének” jellemzésére a mágneses indukciót használjuk, melynek mértékegysége a tesla. A mágneses mezőt erővonalakkal is jellemezhetjük.**

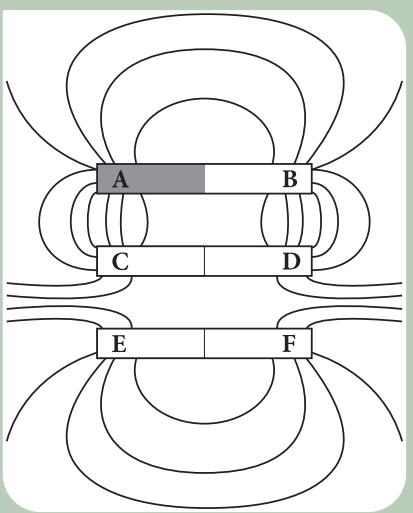
## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Van egy mágnesünk, amely csak egyetlenegy póluspárt tartalmaz, és van egy kívülről teljesen ugyanilyen lágyvasdarabunk. Mindenféle segédeszköz nélkül hogyan tudod eldönteni, hogy melyik a mágnes, és melyik a vasdarab? (Gondolj arra, hogy a mágnes „ereje” a pólusokban összpontosul!)
2. Van egy gemkapocsból készült mágnesünk, amelynek mindkét vége déli pólusú. Hogyan készíthetünk egy ilyen mágnest? Hol lehet ennek a mágnesnek az északi pólusa?
3. Ha egy mágneses tapadófóliát (hűtőmágnest) elhúzunk egy másikon, akkor két esetet tapasztalhatunk. Az egyik esetben elhúzva végig egyenletes vonzást tapasztalunk. Ha erre merőlegesen húzzuk el az egyiket a másikon, akkor rezegve mozog a húzott mágnes. Magyarázzuk meg, hogy miért!
4. Ha egy mágnes egy vasdarabot vonz, akkor melyik hat nagyobb erővel a másikra: a mágnes hat erősebben a vasra, vagy a vas a mágnesre?
5. Két rúdmágnesünk van, amelyek kettétörtek. A két esetet az ábra szemlélteti. Megpróbáljuk a mágneseket a törési felület mentén összeilleszteni. Mit tapasztalunk, vonzást vagy taszítást?

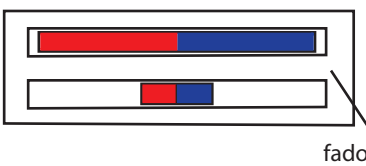



## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Miért vasreszeléket használunk a mágneses mező kimutatására?
2. Az iskolai mágnesrudakat párosával szokták árulni olyan fadobozban, melyben egymással párhuzamosan helyezkednek el a rudak. Hogyan tároljuk a mágnesrúdpárt, az egymás melletti pólusok egyformák vagy ellentétesek legyenek?
3. Az iskolai patkómágneseket úgy szokás tárolni, hogy a pólusait lágyvaslemezzel „zárják le”. Miért?
4. Három rúdmágnest egymás mellé fektettünk, és a fóliájuk helyezett üveglapra vasport szórtunk. A vaspor elrendeződése alapján az ábra szerinti erővonalképet rajzoltuk meg. A mágnesek pólusait *A*, *B*, *C*…-vel jelöltük. Az *A*-val jelölt pólus északi. Határozzuk meg, hogy a többi pólus északi vagy déli-e!

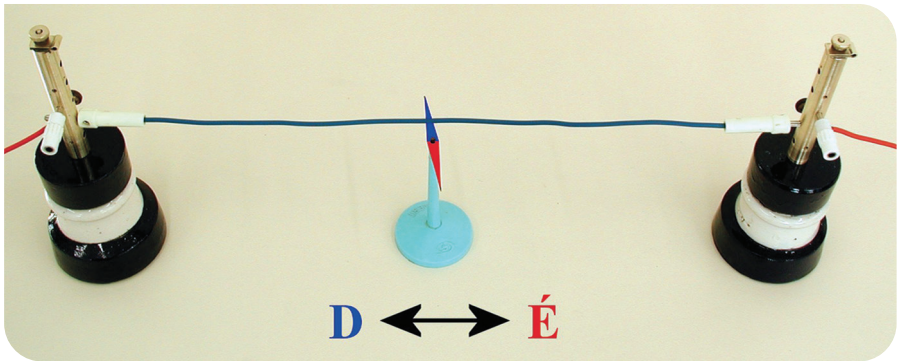



5. Egy fadobozban huzamos ideig tárolunk az ábrán látható módon két mágnest. Az egyik hosszú, a másik sokkal rövidebb.
Milyen hatása lehet ennek a tárolási módnak a hosszabb mágnesre?



# 17. | Készítsünk elektromágnest!

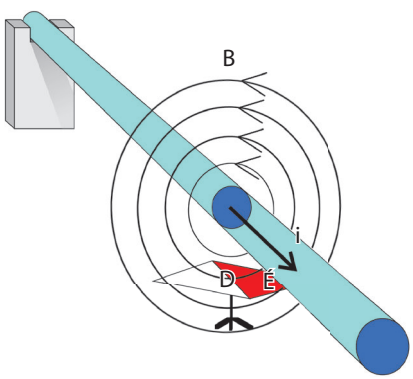
## Az áram mágneses tere




Egy észak–déli irányba álló iránytű felett helyezzünk el egy egyenes vezetéket úgy, hogy az szintén észak-déli irányba fusson, és közvetlenül a mágnestű felett menjen. Ha a vezetékbe most erős egyenáramot vezetünk, akkor az iránytű elfordul úgy, hogy merőlegesen áll a vezetékre. Ezzel sikerült kimutatni azt, hogy az **elektromos áram mágneses teret hoz létre,** ami hat a mágnestűre. Mivel az elektromos áram mozgó töltéseket jelent, ebből az következik, hogy a **mozgó töltés mágneses teret kelt**.

## Egyenes vezető mágneses tere

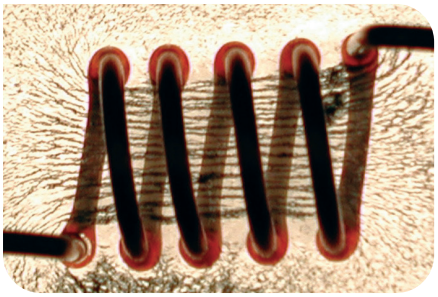
Az elektromos áram mágneses mezőt hoz létre az áramjárta vezeték körül. A mágneses erővonalak koncentrikus gyűrűkként veszik körbe a vezetőt. Ha az áramot kikapcsoljuk, a mágneses mező megszűnik. Ha vasport szórunk árammal átjárt vezető köré, akkor kirajzolódik a mágneses tér szerkezete. Egy vezető körül az erővonalak koncentrikus körök lesznek, és szemmel láthatóan a mágneses tér egyre gyengébb lesz, ahogy távolodunk a vezetőtől.

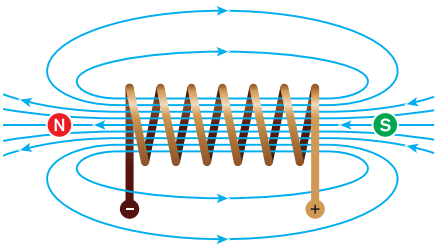


Hosszú egyenes vezető mágneses tere

*1820. április 21-én, egyik esti egyetemi előadásán Hans Christian Ørsted dán fizikus (nevét gyakran Oersted alakban is írják, kiejtése örszted) véletlenül egy olyan jelenségre lett figyelmes, amelynek eredménye megdöbbentő volt számára. Ahogy az áram által keltett hőt mutatta be hallgatóinak, észrevette, hogy az áramjárta vezeték közelében lévő iránytű kitér a mágneses északi irányból, valahányszor az általa használt elektromos elemet a vezetékre kapcsolta. A jelenségre sokáig nem talált magyarázatot, annyira erősen élt benne az akkori elektromos és mágneses jelenségek különállásának elmélete. Hosszas kísérletezésbe kezdett, amelynek végső következtetése nem lehetett más, mint hogy az elektromos áramot hordozó vezetéket valamiféle mágneses mező veszi körül.*

Hans Christian Ørsted (1777–1851)






Áramjárta tekercs mágneses tere

## Az elektromágnes

Ha tekercset készítünk, és a tekercsbe erős áramot vezetünk, akkor a vezeték közötti térrészben a vasreszelék közelítőleg párhuzamos sávokban helyezkedik el. A tekercs belsejében (de nem a tekercs végeinél) a tér párhuzamos erővonalakkal jellemezhető. **Ez a tér homogén mágneses tér.** Azt is láthatjuk, hogy ez a homogén tér erősebb, mint a tekercs körüli úgynevezett „szórt tér”.

Egy elektromágnes ereje négy tényezőtől függ:

- a tekercsben folyó $I$ áram nagyságától, ezzel egyenesen arányos.
- a tekercs $N$ menetszámától, ezzel is egyenesen arányos.
- a tekercs $l$ hosszától, ezzel fordítottan arányos. (A rövidebb, azonban sokmenetű, sűrűn tekercselt elektromágnesek az erősebbek.)
- a vasmagtól. (Ha a tekercs belsejét ferromágneses anyag – például vas – tölti ki, a tekercs körüli mágneses tér erőssége jelentősen megnövekszik.)

*Ezeket a tapasztalatokat egy képletben is összefoglalhatjuk. Ezek szerint a tekercs belsejében kialakuló homogén tér mágneses indukciója a*

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \frac{I \cdot N}{l}$$

*képlettel számolható ki. Ebben a képletben I a tekercs áramerősségét jelenti, N a menetszámát, l a tekercs hosszát. A $\mu_0$ egy állandó , ez a vákuum mágneses permeábilitása, melynek értéke $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am. $\mu_r$ az úgynevezett relatív permeábilitás, amely a tekercs belsejét kitöltő anyagra jellemző, mértékegység nélküli szám. A nem mágnesezhető anyagok esetén (pl. levegő, víz, alumínium, réz) ez egy 1-hez nagyon közelálló érték. A mágneses tulajdonságot mutató anyagoknál azonban igen nagy szám is lehet. Vasnál az értéke 300 és 10 000 közt változhat, de vannak olyan különleges ötvözetek is, amelyeknél ez akár több százezre érték is lehet. Ha egy vasmagnál például $\mu_r = 6000$, ez azt jelenti, hogy egy ilyen vasmagot tekercsbe bedugva a mágneses mező 6000-szer olyan erősebb lesz, mint anélkül.*

A gyakorlatban a legtöbb elektromágnest **vasmaggal** látják el. Az elektromágnes belsejébe lágyvasat (vagy még jobb, ha különleges ötvözetet) tesznek. (A lágyvas olyan vas, amelynek az acéllal ellentétben alacsony a széntartalma.) A lágyvas felmágneseződik, amint áram folyik a tekercsben, és így felerősíti a tekercs mágneses terét. Az elektromágnesnek ugyanúgy lesz déli és északi pólusa, mint az állandó mágnesnek, és ugyanolyan lesz a körülötte kialakuló tér is. Ha azonban az áramot kikapcsoljuk, a lágyvasmag elveszti mágnességét.

Szupravezető mágnes a folyékony nitrogénnel hűtött tégelyben lévő mágnes felett lebeg

**Ha nagyon erős mágneses teret akarunk létrehozni**, akkor nagy erősségű áramot kell alkalmazni. Ehhez le kell csökkenteni a tekercs elektromos ellenállását. Ezt leghatásosabban úgy lehet elérni, ha **szupravezető mágnest alkalmazunk.** Ezért cseppfolyós, –269 °C-os héliummal hűtött tekercseket alkalmaznak ott, ahol nagyon erős mágneses térre van szükség.

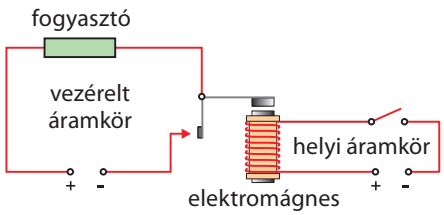
Az állandó mágneseket is elektromágnessel készítik. Különleges kohászati eljárással megalkotják a megfelelő mágnesezhető ötvözetet, majd megfelelő körülmények között egy erős elektromágnes terébe teszik.

## Az elektromágnesek gyakorlati alkalmazása

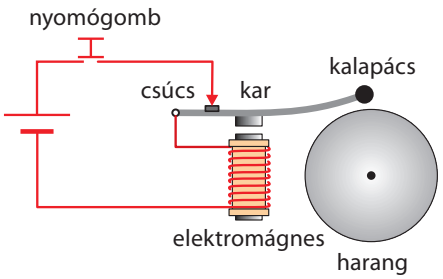
- **Teheremelő mágnes**
  Mágnesezhető anyagok felemelésére, szállítására használják. Az elektromos áram ki- és bekapcsolásával szabályozzák, hogy a mágnes felemelje vagy elengedje a vasanyagot.

- **Sínfék**
  Kötöttpályás járműveknél a sínfék biztosítja a gyors fékezést. Az elektromágnes rugó ellenében a sínhez vonzza magát, és a jármű a nagy súrlódást kihasználva fékez.

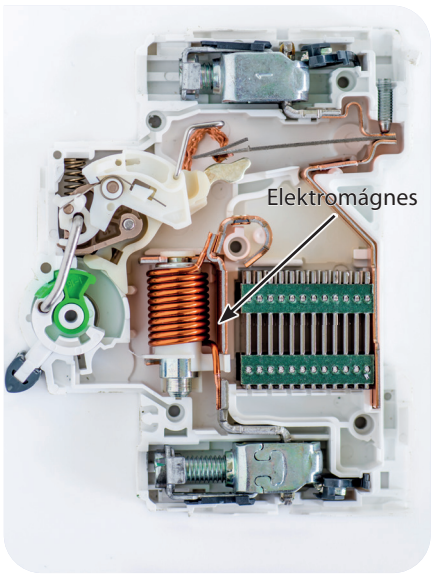
- **Elektromágneses jelfogó (relé)**
  Az elektromágnes akkor húz be, és szakítja meg az áramkört, ha az áramerősség túllépi a megengedett értéket, vagy a saját áramkörében zárjuk az áramot. Így távoli áramkörök ki-be kapcsolgatása is végezhető vele.




- **Elektromos csengő**
  Az elektromos csengő lényege egy elektromágneses áramszaggató, ami a reléhez hasonlóan működik. Az áramkört záró kis vaslemezt az elektromágnes a rugó ellenében magához rántja, illetve elengedi.




- **Automata biztosíték**
  Az automata biztosíték lényegében egy relé. Áramkörök túláram elleni védelmére használják. A felhasznált áramot egy elektromágnesen keresztül vezetik. Ha itt az áram erőssége elér egy kritikus értéket, akkor az elektromágnes beránt, és az áramkör megszakad.




Elektromos automata biztosíték

### NE FELEDD!

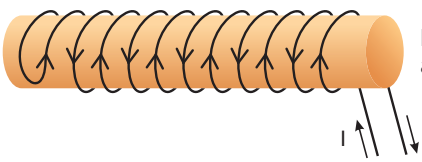
**Az elektromos áram mágneses teret hoz létre.**

**Az elektromágnes egy áramjárta tekercs, amelyet általában vasmaggal látnak el. Az elektromágnes annál erősebb, minél erősebb áram folyik benne, minél nagyobb a menetszáma és minél rövidebb. Az elektromágneseket igen sok helyen alkalmazzák.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Már a középkorban észrevették a tengerészek azt, hogy villámláskor a mágnestű elfordul. Mi lehet ennek a magyarázata?

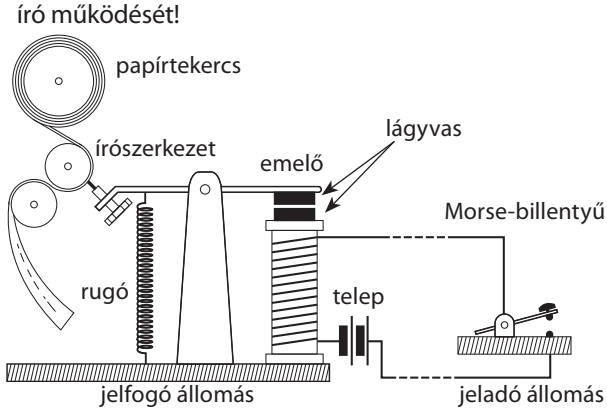
2. Milyen lesz a mágneses tere az ábrán látható kettős csévélésű (úgynevezett bifiláris) tekercsnek?




3. Józsi és Feri elektromágnest készített úgy, hogy Józsi egy 20 cm hosszú ceruzára, Feri viszont egy szintén 20 cm-es szögre egy rétegben szigetelt vezetéket csévélt fel. Mindketten 5 cm hosszan 50 menetet tekertek fel. Kipróbálták az elektromágnesüket, és furcsálkodva állapították meg, hogy az egyiküké erős lett, a másikuké pedig gyenge, noha egyforma elemet használtak áramforrásként. Kinek az elektromágnese lett erős? Mi az eltérés oka?

4. A XIX. század közepén a híradás forradalmát hozta el a Morse-távíró, amivel lehetővé vált a nagy távolságú gyors hírközlés. A morzeábécé hosszú és rövid hármas jelei jól ismertek, a segélykérés S. O. S. jelét mindenki tudja: **S. O. S.** ▮ ▮ ▮ ▬ ▬ ▬ ▮ ▮ ▮.

A mellékelt ábra alapján próbáljuk kitalálni a Morse-távíró működését!



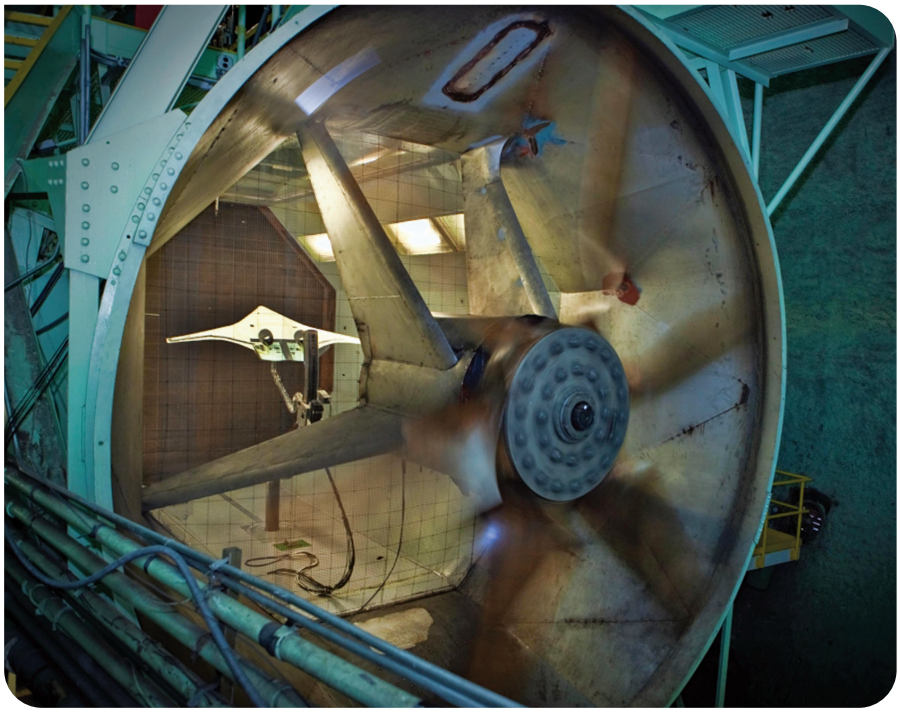
## Hallottál róla?

A nagyon nagy, mérőműszerrel már nehezen mérhető áramerősség egyik meghatározási módszere az, hogy a vezetéket körbeveszik egy mágnesezhető gyűrűvel. A vezetéken végighaladó áram hatására a gyűrű felmágneseződik. Ennek mértékéből lehet következtetni az áramerősségre. Így lehet mérni például egy villámhárítón végigfolyó áram erősségét.

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Géza azt hallotta, hogy egy hosszú, sűrű menetelésű, légmagos, áramjárta, egyenes tekercs közepén a mágneses indukció nagysága éppen kétszerese annak, mint amit a tekercs két végpontjában mérhetünk.
   *a)* Hogyan lehet bebizonyítani ezt az állítást?
   *b)* Ha a tekercs közepén az erővonalak száma $N$, akkor hány erővonal „bújik ki” a tekercs végén?
2. Egy 1200 menetes, 12 cm hosszú tekerccsel szeretnénk 0,01 T indukciójú mágneses teret előállítani. A tekercs belsejében lévő vasmag relatív permeabilitása 500. Mekkora áramerősséggel lenne ez lehetséges? (A megoldáshoz szükséges képletet vegyük a Négyjegyű függvénytáblázatokból.)
3. Jóska bácsi nagyon aggódik attól, hogy esetleg túl erős mágneses térben alszik, ugyanis az ágya melletti falban fut egy vezeték, amin az éjszakai áram halad a bojler felé. Az áramerősség értékét vegyük 10 A-nek. Jóska bácsi teste 0,5 m-re van a falban lévő vezetéktől. Hasonlítsuk össze, hogy mitől származik nagyobb mágneses tér, a falban lévő vezetéktől vagy a Földtől!
   Egy hosszú egyenes vezető terében kialakuló mágneses indukció nagyságát a következő képlet adja meg:
   $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$, ahol $R$ a vezetőtől mért távolság, $I$ a vezetőben folyó áramerősség, $\mu_0$ pedig a vákuum mágneses permeabilitása, melynek értéke $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am.
   Milyen eredményt kapunk akkor, ha azt is figyelembe vesszük, hogy a falban nem egyetlen vezetékben, hanem két érben (érpárban) folyik az áram?
4. Egy 40 m hosszú, 1 mm$^2$ keresztmetszetű, lakkszigetelésű rézdrótból 8 cm átmérőjű tekercset akarunk készíteni. A rézdrótot szorosan egymás mellé tekerjük. (A lakkréteg vastagsága elhanyagolható.) A rézdrót méterenként 0,018 Ω ellenállású.
   Mekkora lesz a tekercs belsejében a mágneses indukció nagysága, ha a tekercsre 4,5 V-os feszültséget kapcsolunk?
5. Megfigyelték azt, hogy ha egy villám lesújt valahová, akkor az annak környezetében elhelyezett vastárgyak felmágneseződnek. Tegyük fel, hogy a 4. feladatban szereplő képlet alkalmazható földbe lefutó villám okozta áramra is. Mekkora lesz ennek alapján egy 30 kA-es villám földbehatolási helyétől 10 m-re a mágneses indukció nagysága a villámcsapás pillanatában?

# 18. | Az elektromotorok



*A képen a NASA egyik hatalmas szélcsatornája látható, benne a világ legnagyobb elektromotorjával, amely 135 000 lóerős, azaz csaknem 100 000 kW, azaz 100 MW teljesítményű. Ez a teljesítmény egy közepes erőművével azonos.*
*Az elektromotoroknak tehát iszonyatos „erejük" lehet. Ebben a fejezetben azt mutatjuk meg, hogy milyen elvek alapján működnek az elektromotorok, és a mágneses erőket hogyan tudják munkavégzésre fordítani.*

## Forgó mozgás létrehozása mágneses térrel

Az elektromotorok működése forgómozgást eredményez. A motor forgó tengelyére különféle eszközeinkkel csatlakozhatunk rá (például a ventilátorral, a hajszárítóval, a darálókkal). A forgómozgást forgatónyomaték hozhatja létre. A forgatónyomatékhoz pedig valamilyen erőnek kell hatnia. Vizsgáljuk meg, milyen a mágneses erőhatások jellege!

Jedlik Ányos (1800–1895)
a villanymotorok ősének, a villámdelejes forgonynak a feltalálója

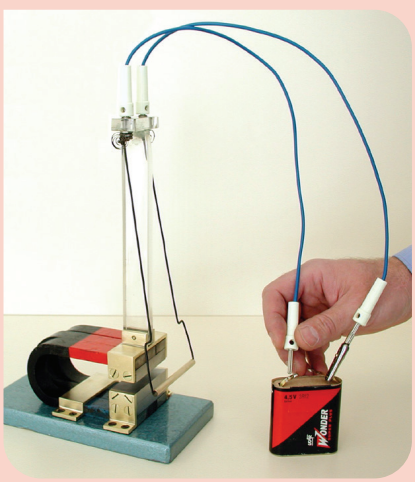
**FIGYELD MEG!**

Állítsunk össze olyan kísérleti elrendezést, amelynél megfigyelhetjük az áramjárta vezetőre ható erőt! Egy erős patkómágnes végei közti mágneses mezőt használjuk ki.

Ebbe a homogén mágneses mezőbe lógassuk be a vezetékünket a kép elrendezésének megfelelően!

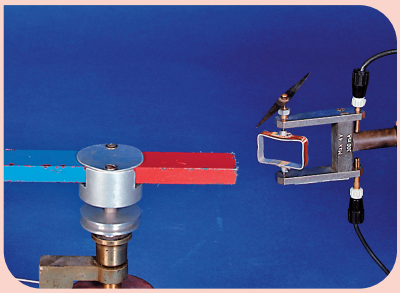
Ha a vezetőn keresztül nagy erősségű áram folyik, akkor a vezeték kilendül annak bizonyítékaként, hogy erő hat rá.

Figyeljük meg, hogyha növeljük az áramerősséget, vagy erősebb patkómágnest használunk, akkor a vezeték kilengése erőteljesebb lesz.



Megfelelő erősségű áram hatására a vezeték kilendül

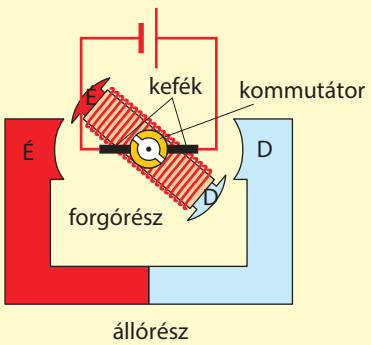
## FIGYELD MEG!

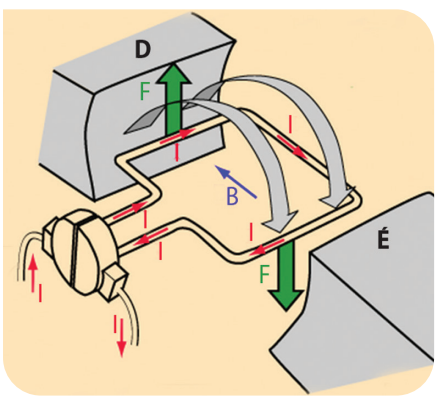


Közelítsük például a képen látható lapos áramjárta tekercsünket egy mágnes pólusa felé. Azt tapasztalhatjuk, hogy a lapos tekercsünkre forgatónyomaték hat, és az elfordul.

Ez a forgatónyomaték is növelhető, ha:

1. növeljük a forgó tekercs áramerősségét *(I);*
2. növeljük a külső, nyugvó mágneses tér erősségét *(B);*
3. növeljük a forgó tekercs menetszámát *(N);*
4. növeljük a forgó tekercs méretét, amit a felülettel tudunk jellemezni *(A).*




Egyenáramú motorok működése

A mágneses mezőben lévő, áramjárta vezető szakaszra tehát erő hat, ha a mágneses mező és az áram iránya megfelelő. Maximális az erő akkor, ha a mágneses erővonalak merőlegesek az áramjárta egyenes vezető irányára. Ez az erő annál nagyobb, minél erősebb a mágneses mező, és minél nagyobb a vezetékben folyó áram.

Ezekből az erőhatásokból azonban még nem lesz motor. A motorban forgómozgás jön létre, azaz forgatónyomaték kell hogy hasson. Erre is van megoldás, mert mágneses mezőben egy lapos tekercsben vagy keretben forgatónyomaték léphet fel.

### Az elektromotorok

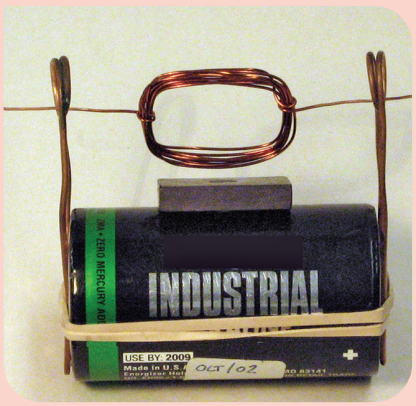
Egy elektromos motornak általában három fő része van:

1. Egy állórész, amely mágnes vagy elektromágnes lehet.
2. Egy forgórész, ami általában elektromágnes.
3. Egy áramszedő, ahonnan a forgórész felszedheti az áramát.

## KÍSÉRLETEZZ!

A legegyszerűbb villanymotorhoz tehát mindössze három dolog kell.

4. *Állórész:* egy kicsi, de erős mágnes.
5. *Forgórész:* egy ívesen meghajlított, részlegesen szigetelés nélküli drót. (Az áramszedőt külön nem kell megépíteni. Arra kell csak ügyelni, hogy az elem felső részén nyugodjon, alsó része pedig hozzá kell, hogy érjen a telephez.)
6. *Áramforrás:* egy elem, ami egyben a tartószerkezete is az egésznek.




Motorunk működési elve a következő: A drót vezeti az elektromos áramot, így az elemet rövidre zárja, és benne áram fog folyni. Az alul elhelyezkedő mágnesnek mágneses tere van. Az ívelten hajlított drótnak van olyan része, amire megfelelő irányú erő fog hatni. Ez a Lorentz-erő, amely forgásba hozza drótot.

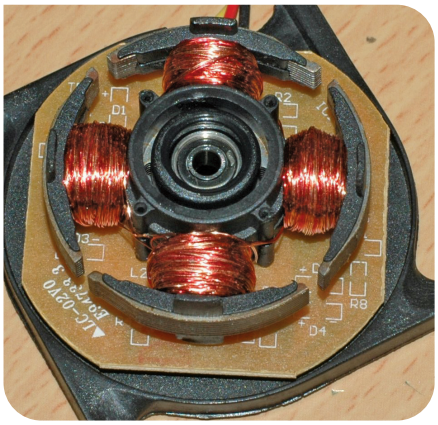
### Az egyenáramú motor működési elve

Az egyenáramú motor a rengeteg különböző motorfajta egyike, amelyet ma is széles körben alkalmaznak.

Az állórész ezekben állandó mágnes vagy elektromágnes. A forgórész elektromágnes. Az áramszedőt kommutátornak nevezik. A mágnes két pólusa közé helyezett elektromágnesre forgatónyomaték hat a jobb oldali ábránk szerint mindaddig, amíg el nem éri az egyensúlyi helyzetét. (Ábránkon ez a függőleges helyzet lenne.) A forgó tekercs perdülete miatt túlfordul, de ha semmi nem történne, visszabillenne az egyensúlyi helyzetbe. Az egyensúlyi helyzet pillanatában a kommutátor megfordítja az áram irányát, ezáltal a tekercs továbbfordul. A kommutátor nem más, mint az elektromágnes tengelyére erősített két, egymástól elszigetelt félgyűrű. A kommutátor minden félfordulatnál megfordítja az áram irányát. Ezekhez a félgyűrűkhöz csatlakoztatják az elektromágnes két kivezetését. A félgyűrűkbe csúszóérintkezőkkel, általában szénkefékkel vezetik az áramot.

Ez a szénkefe a motor leggyengébb pontja. Egyrészt kopik, elhasználódik, ezért az ilyen motor élettartama korlátozott. Másrészt a szénkefék gyakran szikráznak, a kommutátor pedig a súrlódás miatt felmelegszik.

A szénkefés kommutátor gyengeségei miatt kifejlesztették a szénkefe nélküli egyenáramú motort is (BLDC motor), ahol az elektromágnes középen áll, körülötte a mágnesek (elektromágnesek) forognak. A középen elhelyezkedő álló elektromágnesben pedig a kefe-kommutátor rendszer helyett egy elektronikus vezérlő szabályozza az áramot. A vezérlő hasonlóan osztja el az áramot, mint ahogy az egyenáramú szénkefés kommutáros motornál történik.

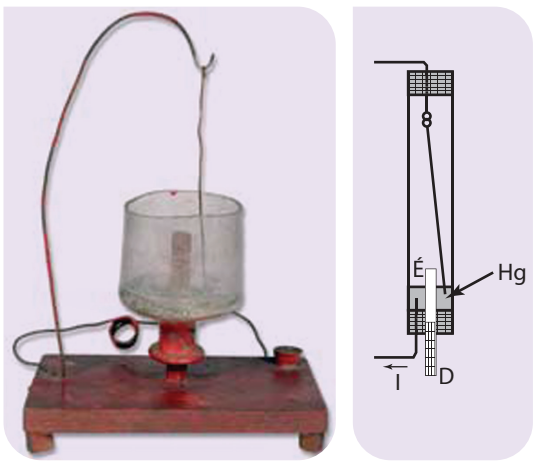


A pólusok az állórészen egy kétfázisú BLDC motornál. Ez egy számítógép hűtőventilátorának a része; a forgórész el van távolítva

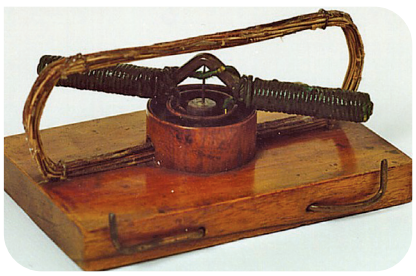
Ennél a megoldásnál nincsenek egymáson csúszó alkatrészek, nincs kopás, nincs szikrázás, jobb a hatásfok, hosszabb az élettartam. Ilyen elektromotorok hajtják a számítógép merevlemezeit, valamint a CD-ket és a DVD-ket.

## Mit gondoltak régen?

Az elektromotor ősének **Faraday** egyszerű szerkezetét tekinthetjük 1821-ből, amelynek működését az ábra alapján érthetjük meg. Egy lazán felfüggesztett acéldrót higanyba lógott. A dróton és a higanyon keresztül záródott az áramkör. A higanyból egy mágnesrúd egyik pólusa emelkedett ki. Az áramjárta acéldrót a pólus körül forgómozgásba jött. Ez az egyszerű szerkezet csak a forgómozgás bemutatására volt alkalmas, gyakorlati célokra nem volt használható.




Faraday motorja csak a forgó mozgást demonstrálta

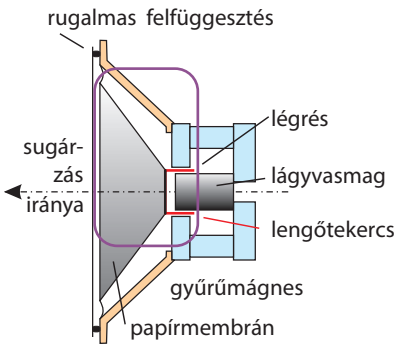


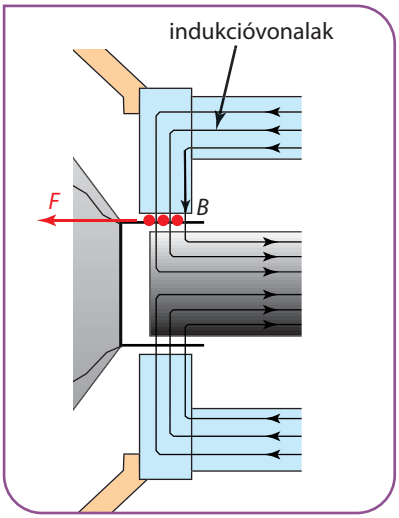
Jedlik motorjának – villámdelejes forgonyának – higanyos kommutátora

**Jedlik Ányos** motorja ezzel szemben, a kommutátoros megoldástól eltekintve, már teljesen a mai egyenáramú motorokra emlékeztet, és jól használható volt. Jedlik maga is egy kis kerekes villanyautót hajtott továbbfejlesztett változatával – eredeti példánya pedig még ma is működőképes. Annak ellenére, hogy az első tényleges elektromotor Jedlik találmánya volt, erről a világ nem nagyon szerzett tudomást.

## Hallottál róla?

A hangszórók működésénél is az áramjárta vezetőre ható erőnek van szerepe.




A lengőtekercsben az ábrán a lap síkjára merőlegesen folyik most az áram. A *B* mágneses indukció iránya lefelé mutat, a 3 piros pöttyel jelölt lengőtekercsben az áramirány a lap síkjában befelé hat. Ekkor az erő kifelé mozgatja a hangszóró membránját, ami a levegőt megrezegtetve hanghatást eredményez. A tekercsben folyó áram a hangintenzitásnak megfelelően változik, így a membrán is ennek megfelelő rezgéseket fog végezni.

## NE FELEDD!

**Áramjárta vezetőre mágneses mezőben erő hat. Egy tekercsre mágneses mezőben forgatónyomaték hat. Ez az elektromotor működési alapelve.**

**Az elektromotorban tehát álló tekercsek vagy ritkábban mágnesek szolgáltatják a mágneses mezőt, a forgórész általában elektromágnes.**

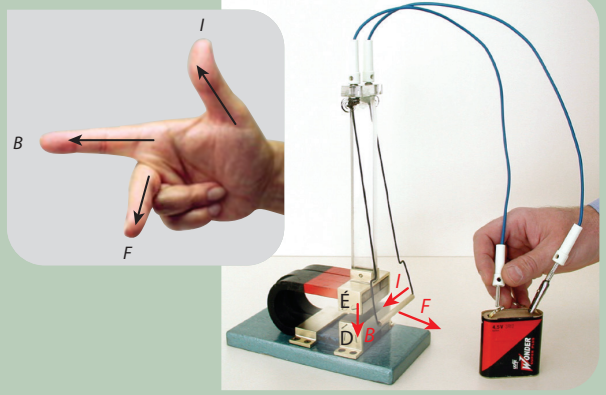
**Ezenkívül szükség van egy áramelosztó kommutátorra, amely a forgó tekercset látja el megfelelő árammal.**

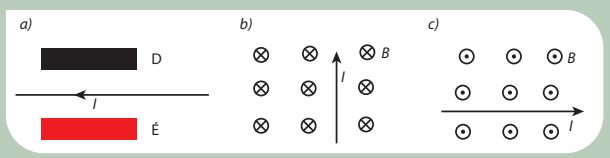
## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Gyűjtsd össze, hogy milyen háztartási gépekben lehet elektromotor!
2. Nézz utána, hogy Jedliknek milyen más találmányai voltak!
3. Az első kísérletünknél a patkómágnes pólusait felcserélve helyezzük el, azaz a piros színű pólus lesz felül, a kék alul. Merrefelé fog most kilendülni a vezeték? És ha az áramirányt is felcseréljük?
4. Jedlik Ányostól idézünk:
   „…mivel a villamdelej (elektromos áram) a multiplikátor (tekercs) delejes (mágneses) hatása alatt azon helyzetből, amelyben a hossza a multiplikátor huzalainak irányával egyenközű, ott megint nyugvó állapotba jönne, ahol a delej hossza a multiplikátor huzalainak irányával épszöget (derékszög) képez: tehát avégett, hogy azon helyeken meg ne állhasson, hanem forgó mozgásba jöjjön s azt megszakadás nélkül folytassa, a multiplikátor szerkezete úgy módosítandó, hogy a villamdelejen létező huzaltekercsben a villamfolyam ellenkező irányúvá változzék ott, ahol a villamdelej hossza a multiplikátor huzalainak irányával épszöget képez."
   Minek a működéséről írhatott itt Jedlik?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A leckénk ábráját kiegészítettük a mágneses mezőben lévő áramjárta vezetőre ható erő irányára vonatkozó szabállyal, amelyik egy újabb „háromujjas jobbkéz-szabályhoz" vezet. Ennek alapján döntsük el, hogy az alábbi ábrákon milyen irányú erő hat az áramjárta vezetőkre!




(A papír síkjában befelé ható vektor jele: ⊗, a mellette álló betű pedig az adott vektormennyiségre utal. A papír síkjából kifelé tartó vektor jele: ⊙)

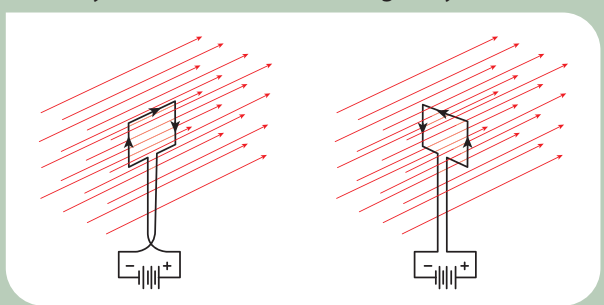
2. A mágneses mezőben lévő áramjárta vezetőre ható, Lorentz-erőnek is nevezett erő az $F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \alpha$ képlettel számolható ki, ahol $L$ a mágneses mezőben lévő vezető hossza, $\alpha$ pedig a vezetőnek a mágneses mező $\boldsymbol{B}$ vektorával bezárt szöge.
   *a)* Ennek alapján számoljuk ki, hogy mekkora lehetett a vezetőre ható erőhatás nagysága az előző feladatnál, ha a mágneses indukció nagyságát $B = 0{,}1$ T-nak, a vezetőben folyó áram erősségét 10 A-nek és a mágneses mezőben lévő vezető hosszát 10 cm-nek vesszük!
   *b)* Az áramkört hirtelen megszakítva, mekkora gyorsulással indult el 10 g tömegű vezeték?

3. 1948 és 2018 közt az 1 amper áramerősség definíciója a mágneses mezőben fellépő erőhatáson alapult. Nézz utána, mi volt ez a régi amper definíció, és mi volt ennek a fizikai alapja! A megszerzett tudásod alapján válaszolj a következő kérdésekre:
   *a)* Ha két párhuzamos vezetékben azonos irányú áram folyik, akkor milyen lesz a köztük ható erő? Vonzó vagy taszító?
   *b)* Mekkora lesz két párhuzamos vezető közt ez az erő méterenként, ha vezetékeben egyaránt 10 A-es áram folyik, és egymástól 10 cm-re vannak?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

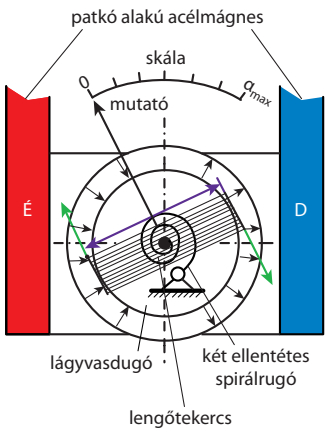
4. Az elektromos autókba épített motorok forgatónyomatéka a legnagyobb teljesítményű sportautóknál már eléri a 4500 Nm-t is. Tételezzük fel, hogy az $M = B \cdot I \cdot N \cdot A$ képlet ezekre a motorokra is alkalmazható. A motor tekercseiben folyó áramot vegyük 20 A-esnek, felületét 5 $dm^2$-nek, és tegyük fel, hogy a motor 1 T indukciójú mágneses térben forog.
   *a)* Mekkora a motor forgórészének menetszáma?
   *b)* Ehhez a villanymotorhoz a szükséges energiát egy 42,4 kWh-s, 213 kg tömegű lítiumionos akkumulátor biztosítja, amely 230 V-os hálózatról 7 óra alatt tölthető fel. Mekkora az autó akkumulátorának minimális töltőárama?
   *c)* Ez az autó 250 km megtételére képes teljesen feltöltött akkumulátorokkal. Minek olcsóbb az „üzemanyaga", a villanyautónak vagy egy benzines autónak? Az elektromos áram kWh-ját 40 Ft-nak vehetjük, egy hagyományos sportautó fogyasztását pedig tekintsük 8 liternek 100 km-enként, az üzemanyag árát 350 Ft-nak literenként.

5. Egy áramjárta lapos tekercsre ható forgatónyomaték nagyságát képlet formájában is megadhatjuk. Ezek szerint egy *B* mágneses indukciójú térben lévő, *I* árammal átjárt, *N* menetszámú, *A* felületű lapos tekercsre ható forgatónyomaték maximális értéke: $M = N \cdot B \cdot I \cdot A$.
   *d)* Milyen legyen a lapos tekercs és a homogénnek tekinthető mágneses mező helyzete, hogy ez a maximális forgatónyomaték létrejöjjön? Válasszuk ki a két ábra közül a helyeset! A másik ábrának megfelelő helyzetben mekkora lesz a forgatónyomaték?



   *e)* Az iskolai szertárakban magnetométernek nevezik ezt az eszközt. Mekkora egy ilyen iskolai magnetométerre ható maximális forgatónyomaték, ha a menetszáma 50, 10 mA-es áramot vezethetünk bele, 0,05 T indukciójú mágneses mezőbe helyezzük és a felülete 10 $cm^2$?

6. Az úgynevezett lengőtekercses műszer belsejében is egy kis lapos tekercset találunk egy könnyen elforduló lágyvasdugóra felcsévélve. Tekintsük úgy, hogy a tekercs homogén mágneses térben van, amelynek nagysága 0,1 T. Ezzel a feltételezéssel számoljuk ki, hogy egy 50 menetes, 10 $cm^2$ nagyságú tekercsen mekkora áram folyhat át, ha a maximális megengedett forgatónyomaték $5 \cdot 10^{-4}$ Nm!



# 19. | Áramtermelés kicsiben és nagyban

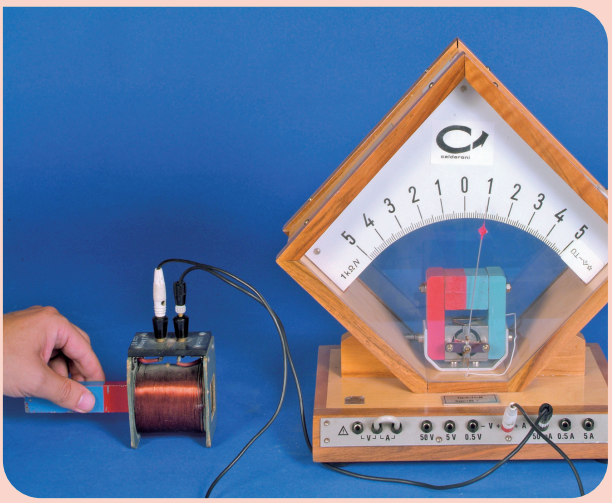
*Elsőként Ørsted mutatta meg, hogy az áramnak mágneses tere van. Ennek analógiájára a fizikusok azt gondolták, hogy egy erős mágnes hatására egy vezetőben áram fog folyni. Éveken keresztül gyártották az egyre erősebb (elektro)mágneseket, és figyelték, hogy a közelükben elhelyezett vezetőben mikor indul meg az áram. Faraday jött rá arra, hogy nem a mágnes erősségét kell növelni, hanem a mágneses mező változása hoz létre indukált áramot egy zárt áramkörben.*

Michael Faraday (1791–1867) minden idők egyik legnagyobb kísérletező fizikusa volt, aki szegény sorból, egy vidéki kovácsmester gyenge fizikumú gyermekeként indulva küzdötte fel magát a legnagyobb tudósok közé, sok megalázás, gáncsoskodás és lemondás közepette.

## Az elektromágneses indukció és Faraday törvénye

**KÍSÉRLETEZZ!**

Egy tekercs két kivezetését csatlakoztassuk érzékeny, középállású demonstrációs műszerhez. A tekercs belsejébe dugjunk mágnest, majd húzzuk ki onnan! A mágnes közelítésekor és távolításakor a műszer mutatója kitér, mégpedig egymással ellentétes irányba. Érdemes azt is megfigyelnünk, hogy gyorsabban mozgatva a mágnest, az indukálódó áram is nagyobb lesz.



Faraday a jelenséget elemezve rájött, hogy az a lényeges, hogy a mágnes mozgatásakor a tekercs hol erősödő (közeledéskor), hol gyengülő (távolodáskor) mágneses mezőt érzékel. Ez alapján fogalmazta meg törvényét:

**A változó erősségű mágneses mező a tekercsben elektromos mezőt eredményez, amelynek eredményeképpen indukált feszültség keletkezik. Az indukált feszültség annál nagyobb lesz, minél gyorsabb a mágneses mező változása. Ezt a jelenséget elektromágneses indukciónak nevezzük.**

## A nyugalmi indukció

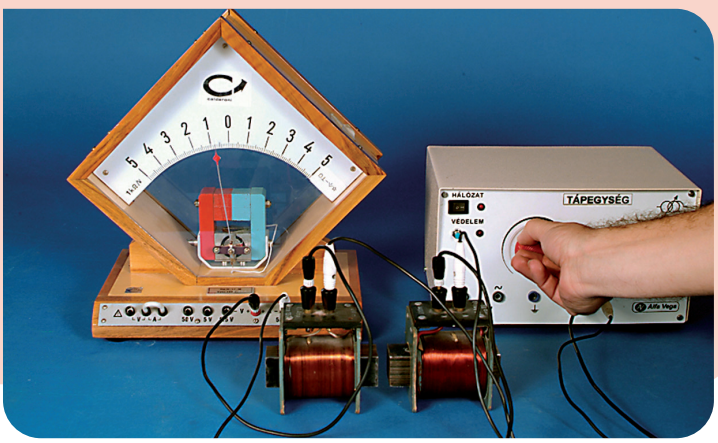
Érdemes foglalkoznunk még az elektromágneses indukció speciális esetének tekinthető úgynevezett nyugalmi indukcióval is. Nyugalmi indukciónak nevezik azt az esetet, amit semmilyen mechanikai értelemben vett mozgás nem kísér!

**KÍSÉRLETEZZ!**

Helyezzünk közel egymáshoz két tekercset. A tekercseket lássuk el vasmaggal!

A bal oldali tekercset kapcsoljuk voltmérőre, a jobb oldalit kapcsolón keresztül csatlakoztassuk egyenáramú feszültségforrásra. A jobb oldali tekercs áramát kapcsoljuk be, majd kapcsoljuk ki!

Azt tapasztaljuk, hogy a be- és kikapcsolás pillanatában a bal oldali tekercshez kapcsolt műszer feszültséget jelez.

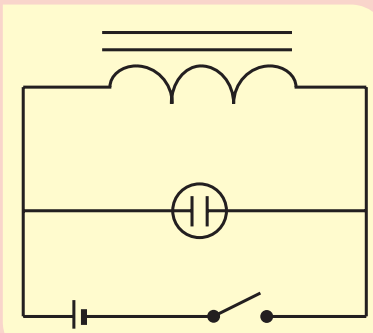


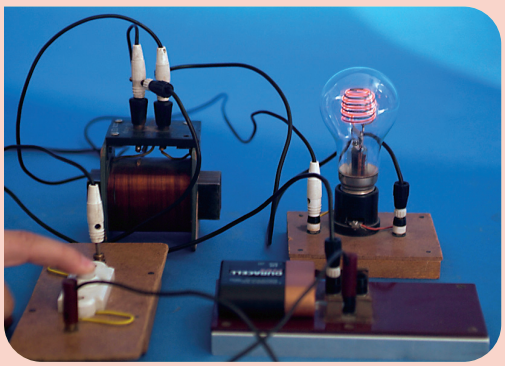
Kísérletünk tanulsága az, hogy **feszültség mindig akkor indukálódik, amikor a tápegységre kapcsolt tekercs mágneses mezeje változik.** A jelenséget Faraday törvénye szerint tudjuk értelmezni. A be- és a kikapcsolás pillanatában a jobb oldali tekercs körül a mágneses mező változik. Ez a változó mágneses mező a bal oldali tekercsben elektromos mezőt hoz létre, ami az indukált feszültséggel jellemezhető.

## Az önindukció

**KÍSÉRLETEZZ!**

Állítsunk össze kapcsolási rajzunknak megfelelően egy olyan párhuzamos kapcsolásból álló áramkört, ami egy 4,5 V-os zsebtelepből, egy kapcsolóból, egy 300 menetes vasmagos tekercsből és egy ködfénylámpából áll.





A ködfénylámpa a lámpák egy olyan fajtája (lényegében gázkisülési cső), ami alacsony áramerősség mellett viszonylag gyengén világít. A gyújtófeszültsége kb. 80 V, azaz ekkora feszültségnél villan fel és kezd világítani, de ennél jelentősen nagyobb feszültséget is elbír károsodás nélkül. Nagy ellenállás jellemzi.

Zárjuk, majd nyissuk a kapcsolót. Bekapcsoláskor nem történik semmi látványos, kikapcsoláskor azonban felvillan a ködfénylámpa, annak ellenére, hogy az áramkörben csak egy 4,5 V-os telep van, miközben az ő gyújtási feszültsége ennek sokszorosa.

Az előző kísérlet meglepő jelenségének a magyarázata a következő: Amikor a kapcsolót zárjuk, a telep feszültségét rákapcsoljuk a tekercsre és a ködfénylámpára. A ködfénylámpa ellenállása nagy, ezért kevés lesz a rajta átfolyó áram. A rá eső 4,5 V jóval a gyújtási feszültség alatt van, tehát nem villan fel.

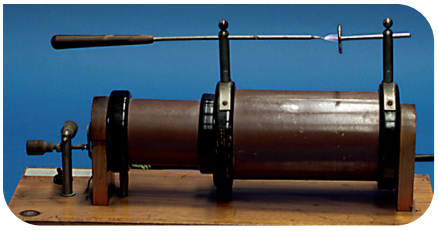
A tekercs elektromos ellenállása mindössze néhány ohm, ezért a tekercsben egy-két amperes áram kezd folyni. Ez a nagy áramerősség azt eredményezi, hogy erős mágneses tér alakul ki a tekercsben.

A telep lekapcsolása után a tekercs árama hirtelen megszűnik, vagyis a tekercsben gyors lesz a mágneses mező változása. A Faraday-törvény értelmében a gyorsan változó mágneses mező nagy feszültségű elektromos mezőt indukál magában a tekercsben. A tekercsben indukálódó nagy feszültség a vele párhuzamosan kötött ködfénylámpában fényfelvillanást okoz. **Önindukcióról tehát akkor beszélünk, amikor egy tekercsben bekövetkező hirtelen áramerősség-változás hatására indukálódik feszültség magában a tekercsben.** Az önindukció is az elektromágneses indukció speciális esetének tekinthető.

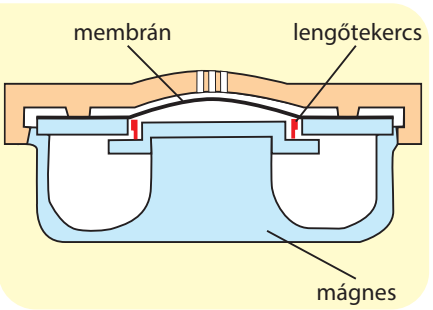
## Az elektromágneses indukció néhány alkalmazása

*a)* Az **indukciós főzőlap** lelke egy nagy lapos tekercs, ami a főzőlap alatt található. Ebben a tekercsben gyorsan változó mágneses mezőt állítanak elő. A főzéshez használt fémedényt lényegében erre a tekercsre helyezik rá. A gyorsan változó mágneses mező a fémedényben elektromos mezőt indukál, amelynek hatására az edényben erős áram folyik. Ezt az áramot örvényáramnak nevezzük. Ennek az áramnak a hatására az edény felforrósodik, a benne lévő étel megfő. Az indukciós lap nagy előnye, hogy maga a főzőlap nem forrósodik fel, így energiatakarékos és biztonságos is. Bár elvileg

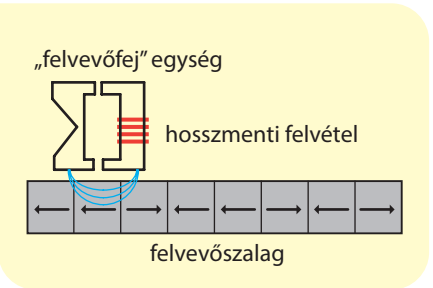
Egy indukciós főzőlap



A szikrainduktor




Egy dinamikus mikrofon




Mágneses információtárolás

Kincskeresésre is használják a fémkeresőt

minden fémedényben indukálódik örvényáram, azonban megfelelően nagy áram csak mágnesezhető anyagból (vasból, rozsdamentes acélból) készült edényekben indukálódik, mert ezek anyaga felerősíti a tekercs mágneses terét. A berendezés megfelelő méretezésével érik el, hogy nagy energia szabaduljon fel az edény anyagában.

*b)* A **szikrainduktor** kis feszültségből nagy feszültséget állít elő. Egy kis menetszámú elektromágnesre áramot kapcsolnak, és a csengőnél megismert áramszaggató segítségével ki-be kapcsolják az áramot. A folyamatosan változó mágneses mező az elektromágnessel közös vasmagon lévő sokmenetes külső tekercsben nagy, többcentis szikrák keltésére alkalmas feszültséget indukál.

***c)*** Az indukció jelenségét használják a **dinamikus mikrofonok**ban is. A hanghullámok által rezgésbe hozott membránhoz egy tekercs is kapcsolódik, ami állandó mágneses mezőben rezeg, ezáltal a hanghullámra jellemző feszültség indukálódik. Ezt a jelet vezetik tovább.

*d)* A **mágneses információtárolás**ról már volt szó. Az indukciónak az **adathordozó írása-olvasása** során van szerepe. A „felvevő-" és „lejátszófej" egy elektromágnes, melynek vasmagja majdnem zárt, csak egy kis rés van rajta. A felületre felvitt mágnesezhető vékony réteg kicsiny részei önállóan mágnesezhetők, az állapotuk kiolvasható.

Felvételkor az elektromos áram mágnesessé teszi a vasmagot, mely az áramnak megfelelően felmágnesezi a rés előtt haladó mágneslemez kicsiny önálló celláit. Lejátszáskor fordított folyamat játszódik le, a szalag vagy lemez elhalad a rés előtt, és mágneses hatásával áramot indukál a tekercsben.

*e)* **Fémkeresők.** Ha erős elektromágnes gyorsan változó mágneses terébe kiterjedt fémtárgy kerül, akkor az abban indukálódó áramok keltette mágneses mező kölcsönhatásba lép az elektromágnes saját terével, ezáltal a tekercs áramerőssége megváltozik. Ez az áramváltozás jelzi a fémtárgy jelenlétét. Fémkeresőket nemcsak a régészek használnak, hanem a repülőterek **biztonsági kapu**inál vagy az **érmefelismerő automatá**knál is.

*f)* A **gyújtótekercs** feladata az, hogy rövid ideig tartó, nagyfeszültségű áramimpulzust állítson elő. A benzines autókban a benzingőz berobbantását elekt-

## Hallottál róla?

A számítógép merevlemezeinek olvasófejében korábban valóban csak egy tekercset használtak, mely a változó mágneses tér hatására indukálódó elektromos áram révén értelmezte az adattárolókban levő információt. Ez az eljárás az írásnál megmaradt, az olvasásnál azonban megjelent egy új technológia, amely az úgynevezett óriás mágneses ellenálláson alapszik. Ezt az érdekes, de nehezen elmagyarázható jelenséget 1988-ban fedezte fel egy francia és egy német kutató (Albert Fert és Peter Grünberg). Már 1997-ben elkezdték gyártani azokat a merevlemezegységeket, amelyek így működnek, de 2003 óta már minden számítógép merevlemez-olvasója ezt az elvet használja. A két kutató a felfedezéséért 2007-ben kapta meg a Nobel-díjat, azaz csaknem húsz évet kellett várni a legmagasabb rangú elismerésért. Ez a húszéves „várakozási idő" a Nobel-díj esetében átlagosnak mondható. Ennyi idő általában kell ahhoz, hogy egy felfedezés rendkívülisége beigazolódjon.

romos szikrák végzik el. A szikrákat előállító gyújtógyertyák nagy feszültséget igényelnek. Az autókban azonban csak 12 V-os akkumulátor az áramforrás. Ahhoz, hogy ebből nagyfeszültség legyen, a szikrainduktorhoz hasonló gyújtótekercset alkalmaznak. Szintén gyújtótekercset találunk a fénycsövekben is, mert azok „begyújtásához” is nagyfeszültségre van szükség.

## Faraday-törvényének matematikai alakja (kiegészítő anyag)

A Faraday-féle indukciós törvény matematikai alakban is megadható. Ehhez előbb bevezetünk egy újabb fizikai mennyiséget, amit mágneses fluxusnak nevezünk. Mint már láttuk, a mágneses mező erősségét az dönti el, hogy a mágneses erővonalak milyen sűrűn helyezkednek el. Ezt jellemezhetjük egy adott felületen merőlegesen kilépő erővonalak számával. Tehát egy adott $A$ felületen áthaladó indukcióvonalak számát mágneses fluxusnak ($\Phi$) nevezzük, és a $\Phi = B \cdot A$ összefüggéssel számolhatjuk ki, ahol $B$ a mágneses indukció értéke az $A$ felületen. A fluxus mértékegysége: $T \cdot m^2$

Ennek külön nevet is adtak, ez a Wb-vel jelölt weber. Az $N$ menetű tekercs esetében, mivel minden menetre ugyanaz a $B \cdot A$ a fluxus értéke, a teljes mágneses fluxus:

$\Phi_{össz} = N \cdot B \cdot A = N \cdot \Phi.$

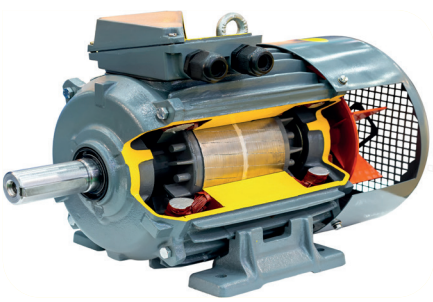
A fluxus fogalmával megfogalmazhatjuk az indukált feszültségre vonatkozó, a Faraday-féle indukciós

törvényt: $U_{ind} = -\frac{\Delta\Phi_{össz}}{\Delta t} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ (A képletben szereplő negatív előjelnek történelmi okai vannak, és az összetett feladatok közt szereplő Lenz-törvény miatt került a képletbe.)

Szavakban megfogalmazva: az indukált feszültség egyenlő nagyságú és ellentétes előjelű a fluxus időegységre jutó megváltozásával.

## A generátor

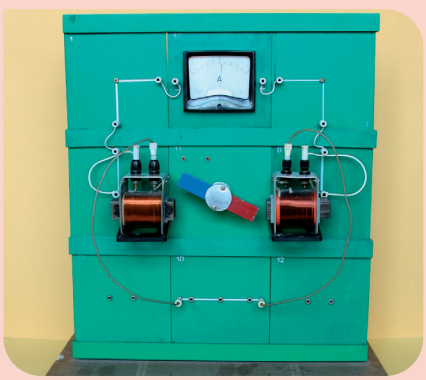
Az áramtermelés elve az elektromágneses indukció alapján világos: Egy tekercs körül folyamatosan létre kell hozni egy állandóan változó mágneses mezőt. Ennek legegyszerűbb módja az, ha egy tekercs környezetében mágnest forgatunk.
Vegyük észre, hogy a generátorunk mennyire hasonlít az elektromotorhoz.



Generátor

**KÍSÉRLETEZZ!**

Egy lehetséges elrendezést mutat a kép. Figyeljük meg, ahogy a mágnes forgásának ütemében az áramerősség-mérő mutatója is folyamatosan kileng. Az áram nagysága is, iránya is folyamatosan változik. Az ilyen áramot váltakozó áramnak (röviden váltóáramnak) nevezzük.
(A váltóáram tulajdonságaival a következő fejezetünkben foglalkozunk majd.)



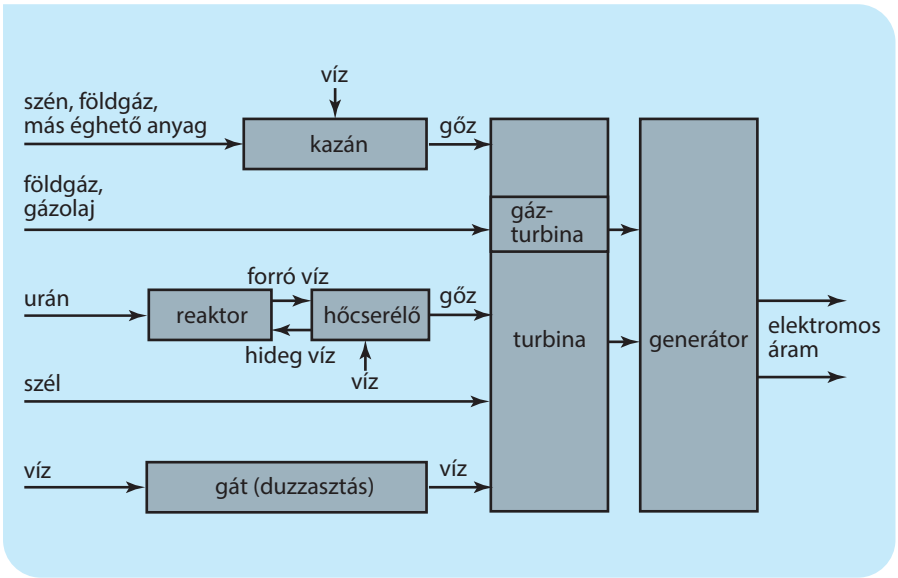
Generátor modellje

Egy vízerőmű turbinája

Energetikailag is egymás fordítottjai, az elektromotor elektromos energiából állít elő mechanikai energiát, a generátor mechanikai energiából elektromos energiát.

## Az erőművek

Ma hazánkban az ábra bal oldalán felsorolt energiaforrásokat használó erőművek állítják elő a villamos energiát. A turbinát általában nagynyomású gőz forgatja meg. Az ábra bal oldalán látjuk azt, hogy mi az energiahordozó, amivel a villamos energiát termeljük. A legrégebbi típusú erőművek a hőerőművek. Ezekben a kazánban valamilyen éghető anyag (szén, földgáz, fa, biomassza, gáz stb.) felhasználásával termelik a gőzt.




Egy erőmű vázlata

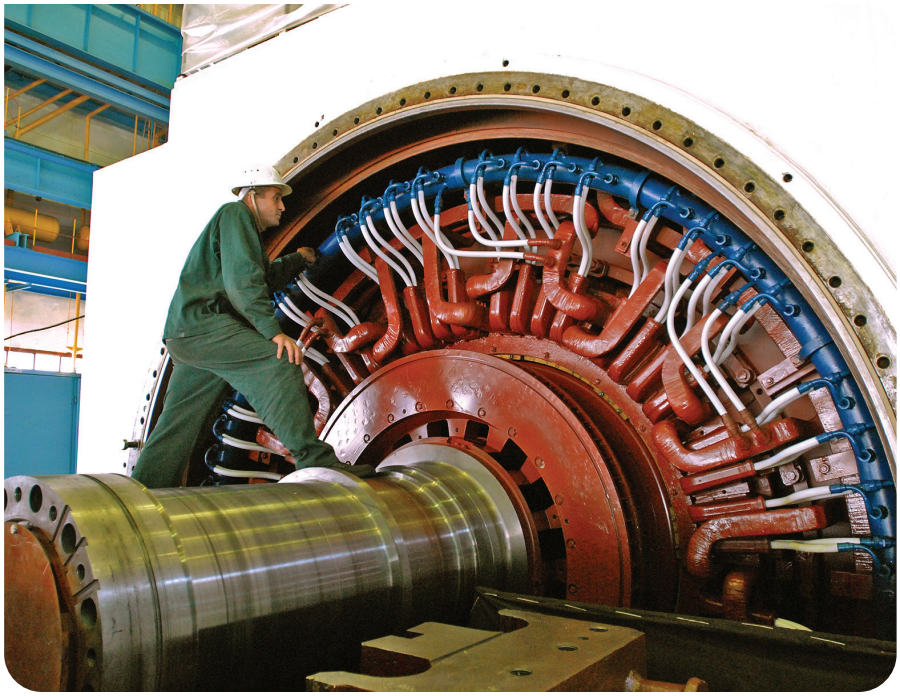
Az atomerőművek legelterjedtebb típusánál – amilyen a paksi is – még egy hőcserélő eszközt is közbeiktatnak a reaktor és a turbina közé. A reaktorban játszódik le az a szabályozott láncreakció, aminek segítségével a hőt megtermelik. A gőz fejlesztése a hőcserélőben történik.

A szélnél nincs szükség semmi energiaátalakításra, az közvetlenül a turbinát hajtja meg. Némileg speciális a gázturbinás erőmű. Ennél a típusnál gázolaj vagy földgáz nagynyomású füstje hajt meg egy speciális turbinát.

A turbina feladata az, hogy a gőz, a víz, a szél vagy a nagynyomású forró füst energiáját átalakítsa olyan forgó-

A paksi erőmű gőzturbinalapátjainak részlete

Hazánk legnagyobb erőművének, a paksi atomerőműnek 500 m hosszú turbinacsarnoka. A sárga fémtokok rejtik a turbinákat, hozzájuk a kék generátorok kapcsolódnak



Egy nagy erőmű generátorának forgórésze

mozgássá, ami a generátorban elektromos energiává alakulhat át. A turbina forgómozgást biztosít, azaz a turbina felől egy gyorsan forgó tengely érkezik a generátorba. Erre csatlakoztatják rá a generátor forgórészét. Ez az erőművekben elektromágnes. E köré helyezik el azokat a tekercseket, amelyben a forgó rész mágneses mezejének változása áramot indukál.

## Egyéb generátorok

A **generátor fontos kelléke az autók motorjának** is, mert az általa megtermelt árammal töltik fel az akkumulátort, és üzemeltetik az autók elektromos berendezéseit. Meghajtására egy ékszíjat használnak, amit a motor főtengelye hajt meg.

A **kerékpárdinamó** már egy határozottan kisebb teljesítményű generátor. Felépítését az ábrán látjuk. A teteje a kerék pereméhez dörzsölődik, így a belsejében lévő állandó mágnes forgásba jön. Ez a köréje helyezett tekercsben áramot indukál. Manapság a kerékpárok dinamóját a kerékagyba építik.

Kaphatók már **indukciós zseblámpák**. Ezeknek felrázása során általában egy akkumulátort töltünk fel azzal, hogy egy erős mágnes többször átesik egy tekercsen.

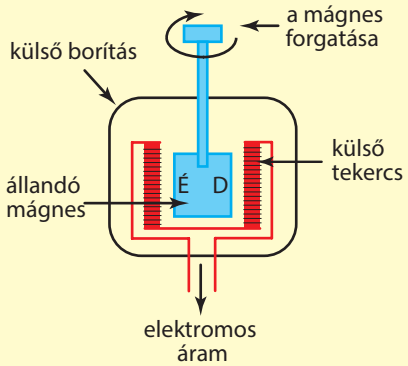
**Aggregátor**nak nevezik a benzinnel/gázzal/gázolajjal működő generátorokat, amelyekben belső égésű motor hajtja meg a generátor forgórészét. Ezek általában 230 V-ot szolgáltatnak.

Aggregátor

**NE HIBÁZZ!**

A generátort gyakran összekeverik a turbinával, pedig egészen más a szerepük. A turbina szó latinul forgószelet jelent, ez is kifejezi azt, hogy a turbina csak forgómozgássá alakítja át a „beérkező" energiát. Az áramtermelést a generátor végzi.

Autó generátora

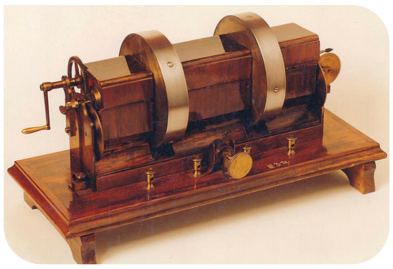



Kerékpárdinamó vázlata

Egy indukciós zseblámpa

## Hogyan volt régen?

A köznapi nyelvben sokszor minden generátort dinamónak nevezznek. A dinamó azonban csak az olyan áramfejlesztő gép, amely a dinamóelv alapján működik. Magát a dinamóelvet nevezik öngerjesztés elvének is, és feltalálása Jedlik Ányos nevéhez köthető (1856).



Jedlik dinamója

Jedlik nagyon fontos újításként mind az álló-, mind a forgórésznél elektromágnest alkalmazott. Felismerte, hogy minden korábban mágneses hatás alá került vastestben valamekkora visszamaradó mágneses tér van jelen. Így a generátor állórészében lévő tekercs vasmagjában is van egy kis mágnesség. Ha ebben a gyenge mágneses térben egy elektromotor forgórészét megforgatjuk, akkor a forgórész tekercsében feszültség indukálódik. Ha ezt a tekercsben indukálódó gyenge áramot a külső tekercsekbe vezetjük, akkor növelni tudjuk annak a mágneses térnek az erősségét, amelyben a forgórészünk forog. Az erősebb elektromágnesek között forgatott tekercsben már nagyobb feszültség indukálódik, és így nagyobb áram folyik, ami azután ismét az állórész tekercseinek erejét növeli. Az öngerjesztés addig növekedhet, amíg a vasmagok mágnesesen telítetté nem válnak; vagy addig, amíg a visszavezetett gerjesztő áramot nem korlátozzák valamilyen szabályzóval.

## Hallottál róla?

A világ legnagyobb erőműve a Három-szurdok-gát vízerőműve Kínában, a Jangce folyón. A munkálatokat 1997-ben kezdték el, s 2009-re készült el. A duzzasztómű több mint 2300 méter hosszú és 185 méter magas. Teljesítménye 18 200 MW (megawatt). (Összehasonlításul: a paksi atomerőmű teljesítménye 2000 MW.) A beruházás során mintegy száz település került víz alá, és 1,3 millió embert kellett kitelepíteni. A hullámsírba jutott települések, épületek között számos régészeti emlék is található. Szakértők komoly vitát folytatnak arról, hogy a megváltozott viszonyok mennyiben módosítják majd a terület ökológiai egyensúlyát.

*a)* A világ legnagyobb erőművei általában a vízerőművek. A könyv írásakor is (2020-ban) az első tízből 7 vízerőmű, 1 atom, 1 széntüzelésű hőerőmű, 1 pedig egy szélpark.

*b)* Hazánkban a legnagyobb erőmű a paksi atomerőmű a maga 2000 MW-os teljesítményével. Ezt a százhalombattai Dunamenti Hőerőmű követi 1390 MW-tal. Itt a kőolajlepárlási folyamat végén visszamaradt kátrányszerű anyaggal fűtik fel a kazánt. A harmadik legnagyobb erőmű a mátraaljai (visontai). Itt a közelben bányászott lignitet használják.

**NE FELEDD!**

**Az elektromos energia döntő hányadát a Földön villamos erőművekben állítják elő az elektromágneses indukció elve alapján.**

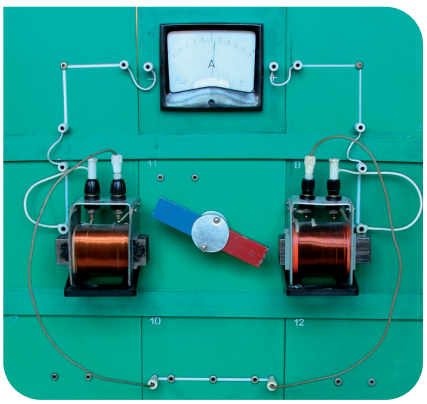
**Általában egy turbina segítségével hajtják meg az áramtermelő generátorokat.**

**Azt a jelenséget, amikor egy mágneses mezőben mozgatott vezeték végei között feszültség keletkezik, mozgási indukciónak nevezzük. Ha változó mágneses mező hatására elektromos mező keletkezik, elektromágneses indukcióról beszélünk. Ez a két módszer az elektromos áram megtermelésének a fizikai alapja. Nagyfeszültségű áramimpulzust önindukció révén tudunk létrehozni.**

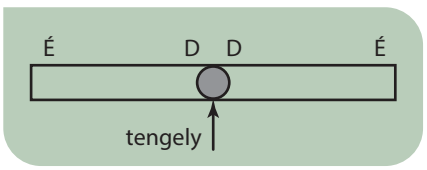
## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy kerékpár dinamójában véletlenül rosszul szerelik vissza a mágnest, és jobbra lesz az északi, balra a déli pólus. Fog-e így is áramot termelni? (Nézd a rajzot a leckében!)

2. A bemutatott elrendezésben két sorba kapcsolt tekercsünk van. Miben különbözik az indukált áram ebben az elrendezésben attól, ha csak egy tekercsünk lenne? Miben különbözik ahhoz képest, mintha párhuzamosan kapcsolnánk a tekercseket?



3. Milyen lenne az indukált áram a 2. feladatban adott elrendezésben, ha a középen forgó mágnes olyan lenne, mint amit az ábránk szemléltet?



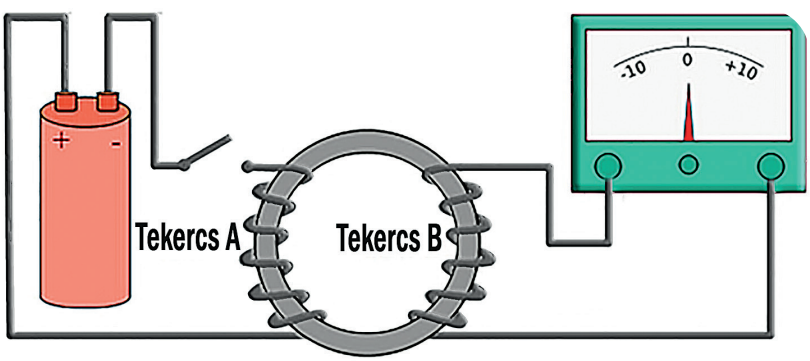

4. Egy aggregátor óránként 3,6 liter benzint fogyaszt. Három darab konnektorán egyenként 16 A-es áramot tud leadni 230 V-os feszültségen. A benzin égéshője 47,3 MJ/kg, sűrűsége 730 kg/m$^3$. Mennyi az aggregátor hatásfoka?

5. Faraday az indukciós jelenségek vizsgálatát az alábbi kísérletekkel végezte el: egy nagy lágyvasgyűrűre két helyen hosszú rézdrótot tekercselt. Az egyiket elemhez kötötte, ezt ki-be kapcsolgatta. A másikat mágnestű felett vezette át. Amikor bekapcsolta az elemet, a mágnestű kilendült, majd visszatért eredeti helyzetébe. Kikapcsoláskor az iránytű a másik irányba lendült ki, és onnan tért vissza. E két művelet között azonban az iránytű mozdulatlan maradt. Az alábbi kérdésekre válaszolva elemezzük a jelenséget!

   *a)* Mit bizonyít az iránytű elfordulása?

   *b)* Miért csak be- és kikapcsoláskor tér ki az iránytű?

   *c)* Miért ellentétes az iránytű kitérése a két esetben?

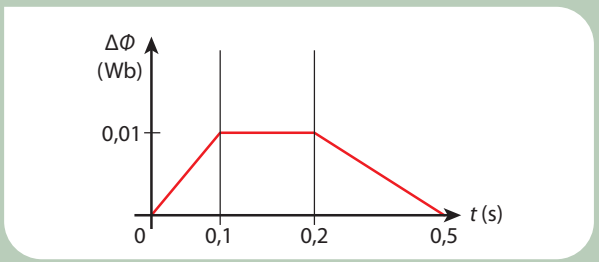



Faraday iránytűjét a rajzon egy középállású ampermérővel helyettesítettük

Kerékpár dinamó

Aggregátor

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. 


A Faraday-féle törvény alapján számoljuk ki, mennyi feszültség indukálódik az egyes szakaszokon!

2. A lecke anyagában olvashattuk, hogy a 18 200 MW teljesítményű Három-szurdok-gát vízerőműnél a víz 150 m magasból zúdul a turbinákra. Másodpercenként hány köbméter víznek kell alázúdulni, ha az energiatermelés hatásfokát 80%-nak tekinthetjük?

3. Milyen magasra kellene duzzasztani Paksnál a Dunát, ha ott vízerőművel szeretnék kiváltani az atomerőmű 2000 MW-os energiatermelését? A másodpercenként lezúduló víz mennyiségét vegyük 6000 $m^3$-nek, az energiatermelés hatásfokát 80%-nak. (Az eredmény értékelésénél vegyük figyelembe, hogy a Duna esése az osztrák határtól Paksig 28 m.)

4. A Duna Magyarországhoz legközelebbi erőműve a bősi, ez a folyó szlovák oldalán működik. Az erőmű „névleges víznyelése" 5000 $m^3/s$ . Az erőmű hatásfoka 80%, „hasznosítható esésének" átlagértéke 18 m. Mekkora az erőmű névleges teljesítménye?

5. A Mátrai Erőmű lignittel működő részlegének összes teljesítménye 884 MW. Ehhez 12 MJ/kg fűtőértékű lignitet használnak fel. Az erőmű hatásfoka 32%. A lignit elégetésekor sok más égéstermék mellett, eredeti tömegének kb. 5%-át elérő por is keletkezik. Mennyi a teljes kapacitással működő erőmű egy nap alatt keletkező pormennyisége? (Ennek csak egy töredéke kerül a környezetbe a kéményeken keresztül.)

6. A Sellyei naperőmű teljesítménye 500 kW, évi 772 000 kWh elektromos energiát állít elő.
   *a)* Mennyi az erőmű kihasználtsága, azaz névleges teljesítményének hány százalékát tudja leadni egy év során?
   *b)* Mennyi lignit elégetését válthatjuk ki ennek az erőműnek az üzemeltetésével? (Lásd az előző feladatot!)

Naperőmű

# 20. | A váltakozó áram

## Alapfogalmak

Az előző leckében már foglalkoztunk a generátorral, és láttuk, hogy az indukált áram nagyság és irány szerint is állandóan változik. A változás annak köszönhető, hogy a tekercsek előtt forgó mágnes változó mágneses mezőt hoz létre a tekercsekben, ami elektromos mezőt indukál. A mágnes forgása miatt hullámzó mágneses mező hullámzó feszültséget okoz.

Az áram és a feszültség jellemzésére a periodikus mozgásoknál bevezetett fogalmakat használjuk. A feszültség egy periódusának időtartamát periódusidőnek ($T$) nevezzük. Ennek reciproka a frekvencia ($f = 1/T$), a másodpercenkénti periódusok száma. A váltakozó áramot röviden váltóáramnak nevezzük.

**KÍSÉRLETEZZ!**

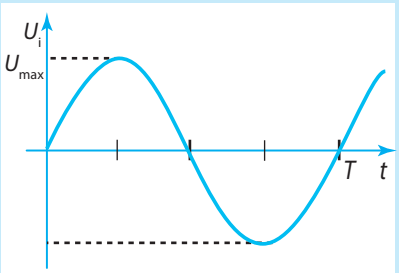
Kapcsoljunk az iskolai transzformátorra kb. 40 V váltakozó feszültséget, és a vasmag záróvasát próbáljuk elemelni az U alakú vasmagtól. Recsegő, búgó hangot hallunk, aminek hangmagassága 100 Hz környékén van. A búgó hang különösen erős lesz, ha a transzformátort megfelelő rezonáló dobozra, például egy gitártestre tesszük.

Az 50 Hz-es váltóáram hatása kimutatható egy nagyobb fémlemezzel vagy például egy bádogvödörrel. A bádogvödör oldalát érintsük meg a váltóárammal átjárt vasmagos tekerccsel. Némi gyakorlással megtalálhatjuk azt az ideális nyomóerőt, amikor a bádogvödör a tekercs hatására berezonál, és hangos rezgéssel jelzi, hogy valóban egy periodikusan változó erő éri.

A jelenség magyarázata az, hogy a mágnes másodpercenként 100-szor magához vonzza és elengedi a bádogvödör oldalát, amelynek hatására a bádogvödör rezgésbe jön. Ezért ad az 50 Hz-es váltakozó feszültség 100 Hz-es hangot.

Kísérletünk azt mutatja, hogy a váltóáram frekvenciája hazánkban 50 Hz, periódusa tehát 0,02 s.

A váltakozó feszültség és áram pillanatnyi értékei csak különleges műszerekkel követhetők, olyan gyors az áramirány változásának az üteme. A váltóáramot átlagértéke alapján kell jellemezni. Ez az átlagérték az úgynevezett **effektív (hatásos) érték. A váltakozó áram effektív erősségén egy olyan egyenáram erősségét értjük, amely ugyanannyi idő alatt ugyanazon fogyasztóban ugyanannyi hőt fejleszt, mint a kérdéses váltakozó áram.** Hasonlóan értelmezhető a váltakozó feszültség effektív értéke is. Megmutatható, hogy az áram, illetve a feszültség maximális és effektív értéke között a következő kapcsolat van változó áram esetén:




A generátor feszültsége az idő függvényében. Az ábrán látható függvényt színusz függvénynek nevezzük

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \quad \text{és} \quad I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

*A XIX. század végén az Egyesült Államokban két híres feltaláló, Thomas Edison és Nikola Tesla találmányait hasznosító George Westinghouse ádáz vitát folytatott arról, hogy milyenek legyenek a kiépítendő elektromos hálózatok. Edison arra számított, hogy jelentős mennyiségű villamos energiát lehet majd tárolni akkumulátorokkal. Így ő az egyenáramú hálózatot részesítette előnyben. Az első elektromos hálózatot ennek szellemében hozta létre New Yorkban 1882-ben. Ekkor az 59 előfizetőjét 110 V-os egyenárammal látta el, és az áramot lényegében még csak egyetlen eszközben, a szintén Edison által feltalált szénszálas izzóban lehetett hasznosítani. Westinghouse viszont felismerte, hogy a jövő a váltóáramú hálózatoké lesz. Kettejük közt ekkor egy személyeskedéstől sem mentes rivalizálás kezdődött, ami az 1890-es években a váltóáramú hálózatok győzelmével ért véget. Edison a viták hevében azzal is érvelt, hogy a váltóáramnak sokkal veszélyesebb élettani hatásai vannak. Hívei kóbor macskákon és kutyákon elvégzett kísérletekkel bemutató körutakat is szerveztek. Ennek a vitának a „melléktermékeként" felfedezték a villamosszéket is, amely természetesen váltóárammal működik.*

Hazánkban az áram effektív értéke 230 V (régebben 220 V volt). Ebből következik, hogy a maximális értéke közelítően 325 V.

### A váltóáram és az egyenáram tulajdonságainak összehasonlítása

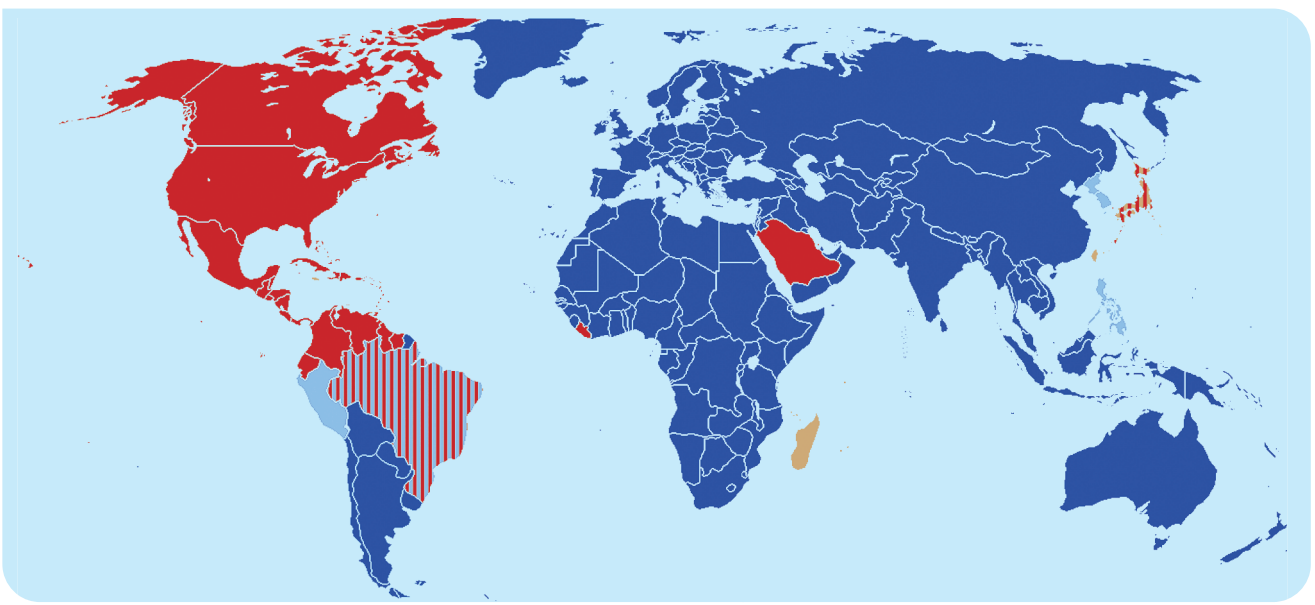
| Hatások | Egyenáram | Váltóáram |
|---|---|---|
| Hőhatás | Van, a Joule-törvénnyel számolható. $Q = W = UIt$. | Van, és az effektív értékekkel számolva hosszabb idő alatt semmiben nem különbözik az egyenáramtól. |
| Mágneses hatás | Van, lásd elektromágnes sokrétű alkalmazását. | Van, de a pólusok az áramirányoknak megfelelően másodpercenként 50-szer felcserélődnek. Ezért sok egyenáramú alkalmazás kiesik. Ugyanakkor több motor csak ilyen árammal megy, és a periodikus változást használja ki, pl. az elektromos csengő egyik fajtája is. Teheremelő mágnesekhez is jó. |
| Vegyi hatás | Van, sokrétűen alkalmazzák: elektrolízis, galvánelemek, akkumulátorok, tüzelőanyag-cellák. | Váltakozó áram esetén félperiódusonként pólusváltás történik. Ennek következtében az egyik félperiódusban kivált anyag a másik félperiódusban visszaalakul. Így csak korlátozottan alkalmazható. Például vízbontásra használható, de mindkét oldalon durranógáz (hidrogén és oxigén keveréke) képződik. |
| Élettani hatás | Van. | Van és az egyenáramnál jelentősebb. |

**FIGYELD MEG!**

Egy izzólámpára kapcsoljunk azonos effektív értékű váltó- és egyenfeszültséget, így mindkettő ugyanúgy fog világítani. Az izzólámpa az áram hőhatásán és az effektív érték is az áram hőhatásán alapszik, nem meglepő tehát, hogy semmi különbséget nem tapasztalunk egy izzólámpa működésében egyen- és váltóáram esetében. Érzékeny fényintenzitás-mérővel kimutatható, hogy váltóáram hatására az izzólámpák fényereje másodpercenként 100-szor felerősödik, majd legyengül. Ilyen váltakozást egyenáram esetén nem tapasztalhatunk.

## Hallottál róla?

A világ számos országában nem a miénkhez hasonló 230 V-os, 50 Hz-es rendszer üzemel. Erről tájékozat az alábbi térkép. Lényeges, hogy számos, elektronikában jelentős nagyhatalomnak számító országban más rendszer van: USA-ban 120 V-os 60 Hz-es, Japánban a feszültség csak 100 V, azonban Kelet-Japánban 50 Hz, Nyugat-Japánban 60 Hz a frekvencia, Dél-Koreában 220 V, 60 Hz, Észak-Koreában 220 V, 50 Hz.



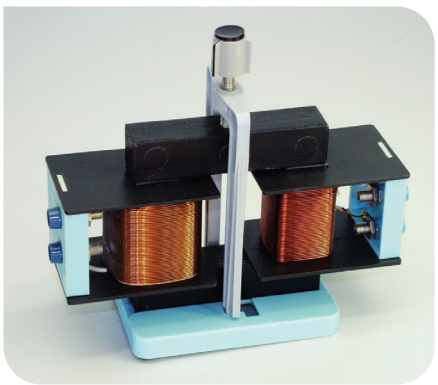
220–240 V/50 Hz; 220–240 V/60 Hz; 100–127 V/50 Hz; 100–127 V/60 Hz

## A transzformátor

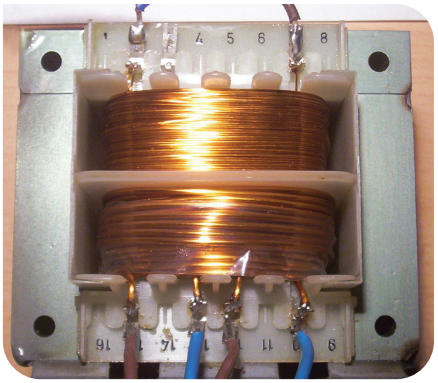
A transzformátort a maihoz közeli formában 1885-ben három magyar mérnök: **Zipernowsky Károly, Bláthy Ottó és Déri Miksa alkotta meg.** (A nemzetközi irodalomban az általuk megalkotott transzformátort nevük kezdőbetűi alapján csak ZBD-nek nevezik, mi is ezzel a névvel fogunk utalni rá.)

**A transzformátor zárt vasmagra csévélt két tekercsből áll.** Az elektromos energiát felvevő tekercset primer tekercsnek, az elektromos energiát leadót szekunder tekercsnek nevezzük (primer = elsődleges, szekunder = másodlagos). **Működése az elektromágneses indukció elvén alapszik.** A primer tekercsre kapcsolt váltakozó áram változó mágneses mezője a szekunder tekercsben váltakozó feszültséget indukál. Mivel a primer tekercs változó mezeje csak váltóáram hatására alakul ki, ezért a transzformátor egyenárammal nem működik.

A ZBD, azaz Zipernowsky, Bláthy és Déri eredeti transzformátora…



…és egy mai iskolai transzformátor

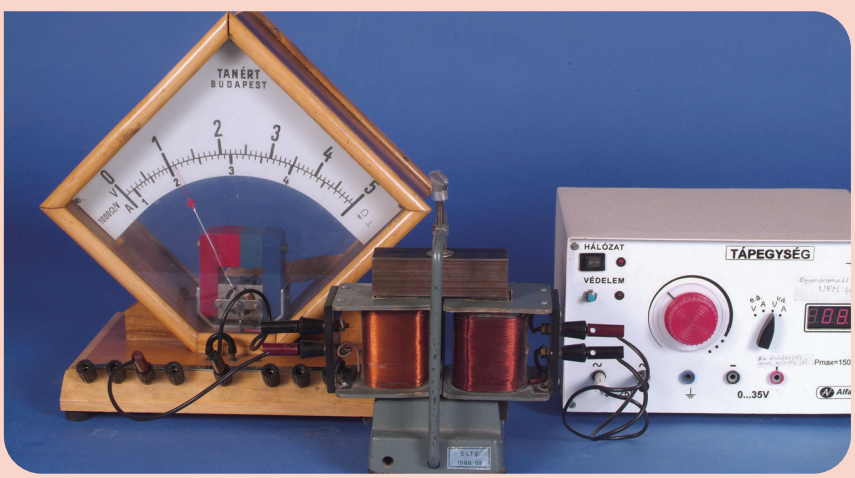


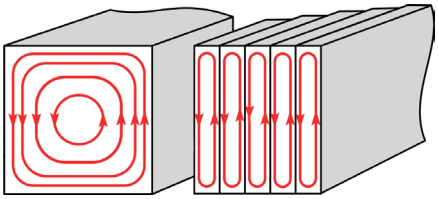
Egy korszerű, a hálózati feszültséget 9 V-ra átalakító transzformátor. Fenn a primer, alul a szekunder tekercs. Figyeljük meg, hogy a szekunder tekercsnek mennyivel vastagabb a huzalozása. Vajon miért?

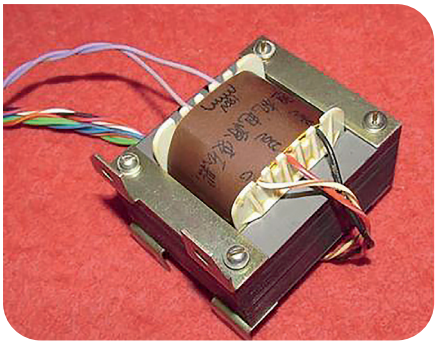
Erőművi trannszformátor állomás

### KÍSÉRLETEZZ!

Kapcsoljunk váltakozó feszültséget egy transzformátorra, és voltmérővel mérjük meg a primer és a szekunder feszültséget! Ismételjük meg a kísérletet más menetszámú tekercsekkel! Vizsgáljuk meg az indukált feszültség nagyságát különböző menetszámok esetében!







Amorf ötvözetből készült vasmag

A mérések alapján némi közelítéssel a következő megállapítást tehetjük: A transzformátorban a primer és szekunder feszültségek aránya megegyezik a primer és szekunder tekercsek menetszámának arányával. Ha *N*-nel jelöljük a menetszámot, akkor ezt a következőképpen írhatjuk fel:

$$\frac{U_{\text{primer}}}{U_{\text{szekunder}}} = \frac{N_{\text{primer}}}{N_{\text{szekunder}}}.$$

Ebből az összefüggésből kiolvasható, hogy ha nagyobb menetszámú szekunder tekercset választunk, mint a primer tekercs menetszáma, akkor a feszültség megnő. Ilyenkor beszélünk feltranszformálásról. Ellenkező esetben letranszformálás történik.

A teljesítményt a $P = U \cdot I$ összefüggéssel számolhatjuk ki. A primer és a szekunder tekercsen ugyanakkora teljesítménynek kell megjelennie (a veszteségektől eltekintve):

$$P = U_p \cdot I_p = U_{sz} \cdot I_{sz},$$

ezért ha a feszültség feltranszformálódik, akkor az áramnak le kell transzformálódnia. Az áram frekvenciája a transzformálás során nem változik.

## A vasmag szerepe

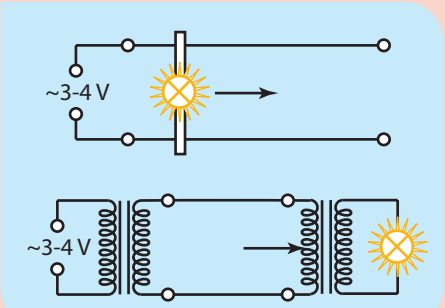
A ZBD egyik nagy újdonsága **a zárt vasmag** volt. A vasmag szerepe, hogy a változó mágneses mezőt lehetőleg veszteségmentesen átvezesse a primer tekercs felől a szekunder tekercsbe. Csakhogy a primer tekercs váltakozó mágneses mezeje magában a vasmagban is áramot indukál. Ezt az áramot örvényáramnak nevezik. Ez az örvényáram a kiterjedt vastestben a kis ellenállás miatt nagy áramerősséget ér el, ezért a $P_{(\text{veszteség})} = I^2Rt$ képlet értelmében nagyon sok veszteség termelődne hő formájában. A vasmag örvényáramának csökkentése érdekében a vasmagot nem tömör fémből készítik, hanem vékony, szigetelő lakkréteggel ellátott lemezekből, majd ezeket összeerősítik például szegecseléssel. A ZBD gyártásánál is már felismerték azt, hogy nem lehet a vasmag tömör vasból, ezért az első típusnál huzalból készítették azt. A megfelelő transzformátort vasmaggal ellátva és egyéb hatásfoknövelő lépésekkel sikerült elérni, hogy a mai korszerű transzformátorok hatásfoka 98% körül legyen.

## Az elektromos energia szállítása

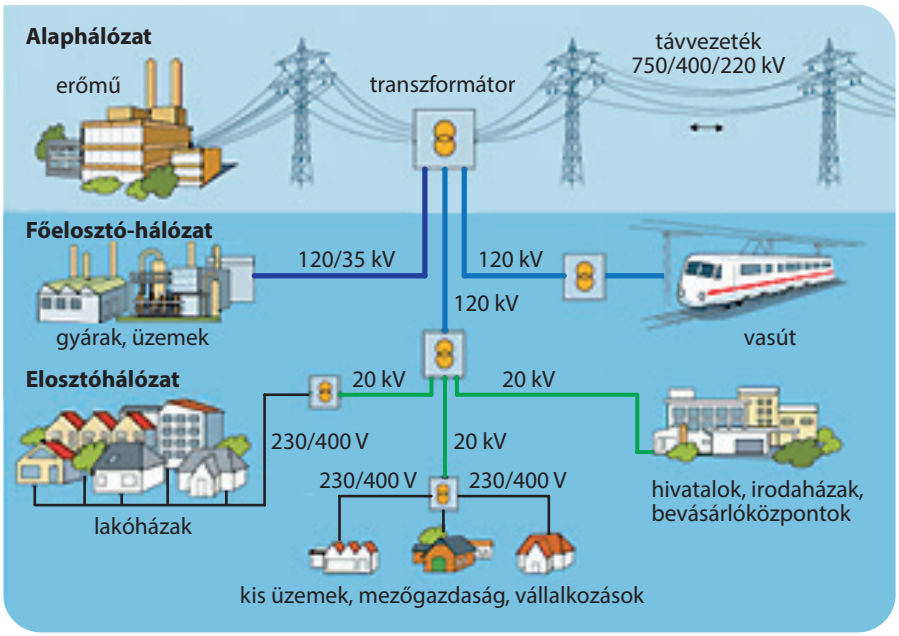
Az erőműből az elektromos energiát távvezeték szállítja a fogyasztókhoz. A vezetékben folyó áram hőhatása révén a környezetét melegíti, ez veszteség, ezért ezt **hőveszteség**nek nevezzük.

### KÍSÉRLETEZZ!

Egy 2 m hosszú ellenálláshuzal-párra kapcsoljunk 3-4 V váltóáramot, majd csúsztassunk rajta végig egy fémérintkezős zsebizzót az áramforrástól indulva! Az izzó az áramforrástól kb. 1 m-re nem fog világítani. Ha azonban egy transzformátorral az elején feltranszformáljuk a feszültséget, a végén pedig letranszformáljuk, akkor az izzó a huzal végén is világítani fog.



## A távvezetékrendszer



A nagyteljesítményű transzformátorokat általában a szabadban helyezik el, más épületektől távol. Így egy esetleges meghibásodás esetén, ha leég a transzformátor és a benne lévő olaj, másra nem terjed át a tűz.

Az elektromos áramot az erőművekhez kapcsolódó transzformátorállomásokon feltranszformálják. Hazánkban a nagy távolságú szállításra 400 kV-os vagy 220 kV-os vezetékeket használnak. Ukrajna felől egy 750 kV-os vezetéken is érkezik elektromos energia. Ezek képezik az alaphálózatot. Ehhez egy 120 kV-os főelosztó-hálózat kapcsolódik. Kisebb régiókba 20 kV-os vezetékeken jut el az áram. A háztartásban is sokféle transzformátort használunk. A széles körben elterjedt félvezető eszközöknek ugyanis „túl sok” a 230 V, ezek számára sokkal kisebb feszültséget kell előállítanunk, ezért „tápegységek” sorát használjuk, amelyekben nemcsak letranszformálják az áramot, hanem egyenirányítják is.

### SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* A paksi erőmű generátorai 9900 A-es elektromos áramot állítanak elő. Egy átlagos távvezeték ellenállása 0,12 ohm kilométerenként. Mekkora lenne a hőveszteség másodpercenként, ha a generátor áramát közvetlenül a vezetékre kapcsolnák, és azt csak egy irányba, a 90 km-re lévő martonvásári elosztóba szállítanák? Mekkora lenne a teljesítményveszteség, ha az áramerősséget 25-öd részére csökkentenék a feszültség 25-szörösére emelésével?

*Megoldás:*

$R = 90 \cdot 0{,}12 = 10{,}8\ \Omega$.

$P_{(\text{veszteség})} = I^2 R = 1059$ MW.

Ez iszonyatos nagy veszteség, az egész erőmű 2000 MW-os, azaz a megtermelt energiának több mint a fele elveszne. Valamint, ha ekkora hő termelődne a vezetékben, akkor az nagyon gyorsan elolvadna.

Ha az áramerősség 25-öd részére csökkenne, akkor a veszteség $25^2 = 625$-öd részre csökkenne, és csak 1,7 MW lenne.

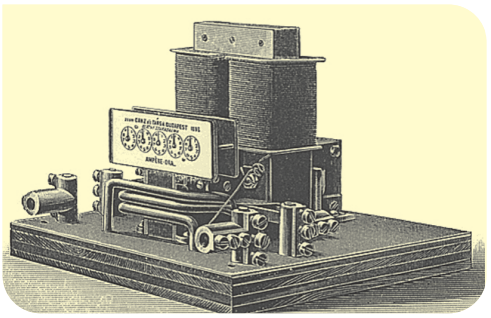
**NE FELEDD!**

**A váltóáram sokirányú felhasználását a transzformátorok teszik lehetővé. A transzformátor három magyar mérnök, Déri Miksa, Bláthy Ottó és Zipernowsky Károly találmánya. Az elektromos energia szállításában nagy jelentősége van abból a szempontból, hogy a feltranszformált feszültség esetén a veszteségek sokkal kisebbek. Számos háztartási gép is más feszültséget igényel, mint a hálózati áram. Veszteségmentes transzformátor esetén:**

$$\frac{U_{primer}}{U_{szekunder}} = \frac{N_{primer}}{N_{szekunder}}.$$

## Hogyan volt régen?

**Zipernowsky Károly** (1853–1942) a pesti Műegyetem elvégzése után a Ganz-gyár újonnan alakult villamos osztályának vezetője lett. Itt először egyenáramú generátorokkal foglalkozott, de hamarosan felismerte, hogy a váltóáramoké a jövő. Amikor 1882-ben Déri is a Ganz-gyárba érkezett, figyelme végleg a váltóáram felé fordult. Itt alkotta meg 1885-ben a három mérnök az energiaátvitelre alkalmas zárt vasmagú transzformátort. Zipernowsky 1893-ban elvállalta a Műegyetem újonnan megalakult elektrotechnika tanszékének tanszékvezetői feladatait, és ezek után mint egyetemi oktató alkotott maradandót.



Bláthy wattmétere (villanyórája)

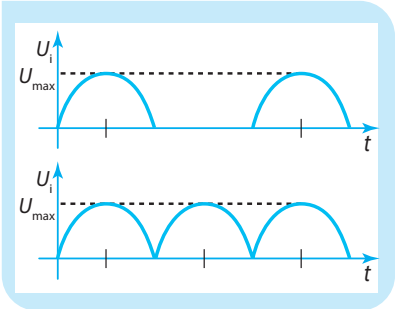
**Bláthy Ottó** (1860–1939) a bécsi Műegyetemen tanult gépészmérnöknek, majd a budapesti Ganz-gyárba került gyakornokként 1883-ban. Itt Zipernowsky sikereinek hatására érdeklődése az elektrotechnika felé fordult. Neki voltak a legalaposabb ismeretei az elektromos jelenségek területén; ismerte Faraday kísérleti és Maxwell elméleti munkáit is. Még a XIX. század végén is gyakori volt, hogy az elektrotechnikai mérnökök matematikai számítások nélkül álltak neki kísérletezni. Bláthy óriási érdeme, hogy ő matematikai számításokkal is meg tudott egyes eredményeket jósolni, így a transzformátor kifejlesztésének elméleti háttere főként az ő érdeme. A transzformátor szót is ő alkotta meg. Igen kreatív és termékeny feltaláló volt, többek között megalkotta a „villanyórát", azaz a fogyasztásmérőt, amit ma már minden lakásban megtalálunk. Bláthy szellemi képességeiről, memóriájáról, fejszámoló-művészetéről legendákat mesélnek. Híres sakkozó is volt. Sakk-könyvei, feladványai ma is világhírűek, és a soklépéses sakkfeladványok terén ma is világrekordernek számít. Országosan ismert volt fajkutyatenyészetéről. Ferenc József is elsősorban erről az oldaláról ismerte.

Déri, Bláthy, Zipernowsky

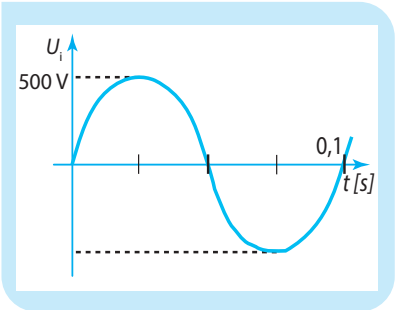
**Déri Miksa** (1854–1938) a budapesti és a bécsi Műegyetemen tanult vízépítőmérnöki szakon. Kezdetben részt vett a szabályozási munkákban is, de aztán érdeklődése az elektrotechnika felé fordult. A híres Ganz-gyár villamossági osztályához 1882-ben csatlakozott. Az egyre inkább terjeszkedő cég képviseletében külföldi megbízásokat vállalt. A transzformátor kifejlesztésében döntően ő végezte a kísérleteket. 1889-ben a Ganz Bécsben is vállalatot alapított, Bécs villanyhálózatának kiépítésében Dérinek döntő szerep jutott. Bécs után Róma villamosítását is irányította.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Az ábrán egy 230 V-os hálózati áram képét látjuk egy- és kétutas egyenirányítás után. Mennyi lesz ezeknek a feszültségeknek az effektív értéke?

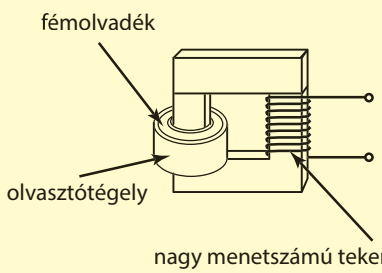



2. Mennyi az ábrán látható váltófeszültség effektív értéke és frekvenciája?




3. Egy transzformátor primer tekercsére 24 V váltakozó feszültséget kapcsolunk. A primer tekercs menetszáma 600, a szekunder tekercsé pedig 1200. Mekkora lesz a szekunder tekercsen megjelenő feszültség? A veszteségeket hanyagoljuk el!

4. Az ábrán az úgynevezett Siemens-féle indukciós kemence modelljét látod. Magyarázd meg, hogy az olvasztótégelybe kerülő ónadarabok miért olvadhatnak meg!




5. Egy transzformátor primer áramerőssége 200 mA, menetszáma 1000. A szekunder áram erőssége 2,4 A, feszültsége 12 V. Mekkora a primer feszültség és a szekunder tekercs menetszáma, ha a veszteségeket elhanyagoljuk?

6. A hegesztésnél nagy méretű transzformátorokat szoktak használni. Egy hegesztőtranszformátoron a következő adatok olvashatók:
hegesztési áram: 100 A,
hegesztési feszültség: 18 V.
   *a)* Milyen lesz ebben a hálózati áramra kötött transzformátorban a primer és a szekunder menetszámnak az aránya?
   *b)* Mennyi lesz a hálózatból felvett áramerősség? (Tételezzünk fel 100%-os hatásfokot. )

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy akkumulátortöltő kimenete 8,4 V-os és 750 mA áramot ad le. Mekkora lesz a töltő áramfelvétele a hálózatról, ha ideális transzformátornak tekintjük?

2. A paksi atomerőműben a generátorban termelt közel 10 000 A erősségű áram a főtranszformátorban 372 A-re csökken, míg a 15,75 kV-os feszültséget 400 kV-ra alakítják át.
   *a)* Mennyi a transzformátorok hatásfoka?
   *b)* Körülbelül mennyi a transzformátor menetszámainak az aránya?

3. Egy kisebb erőmű teljesítménye 500 kW. Generátorai 2,5 kV feszültséget állítanak elő. Az áramot 10 kV-os távvezetéken szállítják tovább, amelynek ellenállása 20 Ω. Az ideálisnak tekinthető transzformátorainak primer körei 5000 menetes tekercseket tartalmaznak.
   *a)* Mekkora a transzformátorok szekunder tekercseinek menetszáma?
   *b)* Mekkora lesz a szállítási veszteség?
   *c)* Mekkora lesz a szállítási veszteség, ha a szállítást 100 kV-on végzik, és a drót ellenállása ugyanakkora?

4. 230 V-os hálózati áramról szeretnénk működtetni két 24 V-os fogyasztót. A két fogyasztó működtetését egyetlen transzformátorról szeretnénk megoldani. Az egyik 24 V-os fogyasztó teljesítménye 96 W, a másiké 36 W. A transzformátort tekintsük veszteségmentesnek.
   *a)* A primer tekercs menetszáma 5000. Mennyi legyen a szekunder tekercs menetszáma?
   *b)* Mekkora áramerősséget kell kibírnia a primer és a szekunder tekercsnek?
   *c)* Mennyibe kerül ennek a két fogyasztónak az egész napos egyidejű üzemeltetése 40 Ft/kWh-s ár esetén?

5. Pista Amerikából ajándékba kapott két teaforralót, melyeket 115 V-os feszültségre gyártottak. Mindegyik teljesítménye 1 kW. Pista hamar rájön arra, hogy hiába alakítja át a hazai szabványnak megfelelőre a csatlakozóját, azt nem dughatja be a hazai konnektorba, mert a teaforraló tönkre fog menni. Ezért arra gondol, hogy egy kis barkácsolással a két teaforralót sorba kapcsolja, és közösen csatlakoztatja ezeket a hálózatra. Ha most mindegyikbe fél-fél liter vizet tesz, akkor (az elhanyagolható hőveszteségeket nem számítva) ugyanannyi idő alatt lesz 1 liter forró vize, mintha egy hazai 2 kW-os merülőforralóba tölt 1 liter vizet. Helyes-e Pista ötlete?

## A trombita

*hangmagasságát a rajta lévő billentyűk lenyomásával változtathatjuk. Milyen hangmagasság-tartományban szól a trombita? Mi történik, amikor lenyomunk egy billentyűt?*

## Ebben a diszkóban

*mindenki fejhallgatót visel, és csak azon keresztül élvezi a zenét. Mit hall a diszkóba látogató ember, akin nincs fejhallgató? Miért nem terjedtek el az ilyen típusú diszkók?*

## Hatalmas süketszobában

*egy vadászrepülő hangját is meg lehet mérni. Hogyan lehet elérni, hogy a pilóta erősen lehalkítva hallja csak a gép félelmetesen erős hangját?*

# A HULLÁMOK SZEREPE A KOMMUNIKÁCIÓBAN

## A hárfa húrjai

*gyenge hangot adnak, amit az úgynevezett hangszertető erősít fel. Mi ez a hangszertető, és hogyan működik?*
*A hárfa ősi hangszer, sokféle változatát használják ma is. Milyenek lehettek a legrégebbi hárfák?*

# 21. | Hogyan hallunk?

*„A szó elszáll, az írás megmarad.” Értjük a régi mondás jelentését, azonban mai világunkban nagyon könnyen megmarad a szó is, a zene is, hiszen könnyen elérhető a jó minőségű hangrögzítés. Öt érzékszervünk egyike a fülünk, segítségével léphetünk be a hangok világába.*

**EMLÉKEZTETŐ**

A mechanikai hullámok valamilyen közegben haladnak. Folyadékokban, gázokban csak longitudinális (hosszanti) hullámok terjedhetnek, szilárd anyagokban emellett transzverzális (keresztirányú) hullámok is mozoghatnak. A hullámokhoz valamilyen hullámkeltő mechanizmusra van szükség, ami a közegnek energiát ad át, és a hullámban ez az energia terjed különböző irányokba. Lehetséges, hogy egyszeri zavar terjed szét (például amikor egy kavicsot dobunk a tó nyugodt vizébe, vagy egyet tapsolunk, vagy amikor villámláskor nagyot dörren az ég); ezt a jelenséget lökéshullámnak nevezzük. Ha a hullámkeltő ismétlődő jelet kelt, akkor periodikus (ismétlődő) hullám jön létre. Harmonikus hullámról beszélünk akkor, ha a hullámkeltő harmonikus rezgést, vagyis szinuszfüggvénnyel leírható rezgést végez. Ilyenkor a hullámot hordozó homogén (egynemű) közegben terjedő jel is harmonikus.

9. osztályban már megismertük a mechanikai hullámokat. A hullám terjedése során a hullámzó közeg pontjai a hullámforrás mozgását ismétlik, az attól való távolság növekedtével egyre nagyobb időkéséssel. Miközben a hullámhegyek tartósan mozognak a terjedés irányába, a hullámzó közeg pontjai nem. A hullám terjedése során a hullámzó közeg pontjai továbbadják a hullámforrás mozgását, így a hullám alkalmas arra, hogy energiát illetve jeleket továbbítson. A víz hullámzása könnyen megfigyelhető és mindenki számára ismerős, de ennél sokkal több hullámjelenség vesz bennünket körül. Amikor beszélünk egymással valójában levegőben keltett nyomáshullámokat keltünk és érzékelünk, környezetünk pedig a tárgyakról visszaverődő elektromágneses hullám – a fény – segítségével válik láthatóvá.

## A hang

Hétköznapi értelemben **a levegőben terjedő mechanikai hullámokat nevezzük hangnak**. A levegőben terjedő hang longitudinális (hosszanti) hullám. (Szilárd anyagokban longitudinális hullámokon kívül

**Hallottál róla?**

Egyes állatok, például a kutyák meghallják a 20 kHz-nél nagyobb frekvenciájú hangokat is. Kutyák esetében ez a határ elérheti a 30-40 kHz-et is, de egyes források szerint vannak olyan kutyák, amelyek 70–100 kHz-ig érzékelik a hangokat.

**Hallottál róla?**

A nagyon erős infrahangok rezgésbe hozhatják az emberi test egyes szerveit, ily módon érzékelhetjük azokat. Szerencsétlen esetekben (például régi szovjet dízel-elektromos mozdonyokban) a mozdonyvezető súlyos sérüléséhez vezetett, amikor a mozdony által kisugárzott infrahang hatására a kötőszövetekkel felfüggesztett hasi szervek erős rezgésbe kezdtek, vagyis berezonáltak.

A természetben infrahangok jöhetnek létre többek között viharos időjárás, tornádó, tenger hullámzása, lavina, földrengés, vulkánkitörés, vízesés, jéghegy leomlása, villámlás, sarki fény hatására. Az állatok közül a bálnák, elefántok, vízilovak, rinocéroszok, zsiráfok, okapik és az aligátorok ismertek arról, hogy infrahangot bocsátanak ki nagy távolságú kommunikáció céljából (ez a bálnák esetében több száz km is lehet). Az elefántok által kibocsátott infrahang is több száz km-re terjed a szilárd talajban, amit fajtársaik a lábukon keresztül érzékelnek.

Az infrahangok sok emberben félelmet vagy rosszullétet váltanak ki. Mások természetfeletti élményként élik meg. A vizsgálati eredmények arra utalnak, hogy az alacsony frekvenciás hang szokatlan, kellemetlen élményeket hozhat létre, még akkor is, ha az érzékelhetőségi küszöb alatt van. Néhány tudós szerint ilyen hangok lehetnek a felelősek néhány „kísértetjárta” helyszínen tapasztalható élményekért, mert a szem 18 Hz körüli saját rezgési frekvenciával rendelkezik. Ha pontosan a szem rezonanciafrekvenciájával megegyező az infrahang rezgésszáma, akkor olyan foltokat, képeket „láthatunk”, melyeket agyunk kísértetekként azonosít.

## Hallottál róla?

Az egyik internetes oldalon olvashatjuk: „Az ultrahangos vizsgálat nem jár sugárterheléssel, ezért szükség esetén többször is ismételhető. Alapvizsgálat, melyet az orvosok a képalkotó módszerek közül általában elsőként alkalmaznak. Szervezetünk különböző szövetei jól vezetik az ultrahangot, azonban az egyes szervek vezetőképessége különböző. Ha az ultrahang elér egy szervet, akkor egy része visszaverődik, másik része továbbhalad. A vizsgálófej úgynevezett piezoelektromos kristályokat tartalmaz, és ezek segítségével ultrahanghullámokat állít elő, valamint képes a szövetek felületéről visszavert hullámok érzékelésére is. A jobb képminőség érdekében az emberi test és a vizsgálófej közé zselés anyagot kell juttatni."

Anyaméhben fejlődő magzat digitális képe és az ultrahangos vizsgálat

transzverzális [keresztirányú] hullámok is terjedhetnek.) Az emberi fül nagyjából a 20 Hz-nél nagyobb és a 20 000 Hz = 20 kHz-nél kisebb frekvenciájú hangokat érzékeli. (A hertz, rövidítve Hz a frekvencia, magyarul a rezgésszám mértékegysége. Azt mutatja meg, hogy másodpercenként hány rezgés történik.)

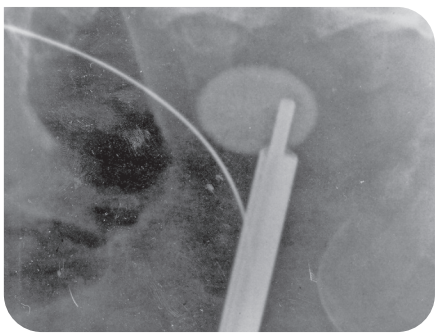
A 20 Hz-nél alacsonyabb frekvenciájú hangokat **infrahang**nak, a 20 kHz-nél magasabb frekvenciájú hangokat **ultrahang**nak nevezzük.

### Ultrahangos képalkotás

Az ultrahang legfontosabb alkalmazása az orvosi diagnosztikai képalkotás. Az ultrahangos képalkotás azon alapszik, hogy az ultrahang behatol a testbe,

## Hallottál róla?

Ultrahangos vizsgálatkor géllel bekenik a páciensek bőrét, így nem kerül levegő az ultrahangos adó-vevő készülék és az emberi bőr közé. Erre azért van szükség, mert a levegőben terjedő ultrahang a bőr felületéről szinte teljesen visszaverődne, így nem hatolna be a test belsejébe, amelyről a képalkotás történik. A gél és a bőr az ultrahang terjedése szempontjából közel azonos tulajdonságú, ezért a bőrfelületről a gél segítségével alig történik visszaverődés, szinte teljes mértékben bejut az ultrahang a testbe.



Endoszkóp segítségével ultrahangadófejet juttathatunk egy-egy nagyobb vesekő közelébe, melyet az ultrahang felaprít

és a különböző szövetekről valamilyen mértékben visszaverődik. A visszaverődő ultrahangot a készülék adó-vevője érzékeli, és egy számítógépes program a jeleket felismerhető képpé alakítja. Ezzel a módszerrel gyakorlatilag teljesen sérülésmentesen kaphatunk képeket az emberi test belsejéből, például az anyaméhben fejlődő magzatról.

Az ultrahangos képalkotás alacsony energiájú besugárzással történik. Nagy energiák esetén terápiára, például vesekövek apróra zúzására használhatjuk az ultrahangot. Ilyenkor kívülről a vesekőre fókuszálják az ultrahangnyalábot, így gyakorlatilag csak a vesekövet károsítja, a többi szövetet alig. Még ér-

**NE FELEDD!**

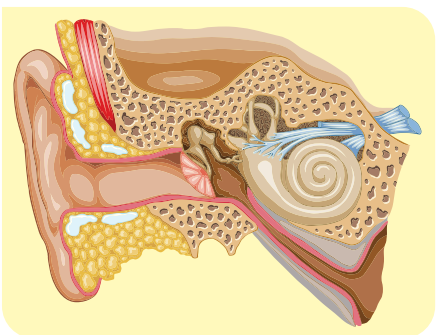
**A levegőben terjedő hang longitudinális (hosszanti) hullám. Az emberi fül a 20 Hz-nél nagyobb és 20 kHz-nél kisebb frekvenciájú hangokat érzékeli. A 20 Hz-nél alacsonyabb frekvenciájú hangokat infrahangnak, a 20 kHz-nél magasabb frekvenciájúakat ultrahangnak hívjuk. Az ultrahangoknak fontos a szerepük az orvosi képalkotásban, a diagnosztikában, sőt terápiás célokra is használnak ultrahangot.**

dekesebb az ultrahangos vesekőaprítás, ha endoszkópos módszerrel a vesekő közvetlen közelébe juttatják az ultrahangot adó készüléket, amely a közvetlen környezetében fejti ki kőaprító hatását.

## Helymeghatározás füllel

Hogyan tudjuk megmondani, hogy milyen irányból érkezik a fülünkbe a hang? A fülünk számos különböző megoldással határozza meg a beérkező hang irányát:

- A 4 kHz-nél magasabb frekvenciájú hangok esetében a fő módszer a két fülünkbe érkező hang erősségének a különbségén alapszik. A fejünk mintegy „leárnyékolja” az ilyen magas hangokat a másik oldalon lévő fülünk számára, vagyis ha például jobbról érkezik a hang, akkor a jobb fülünk sokkal erősebbnek érzi, mint a bal fülünk.
- A fülkagyló alakja olyan, hogy némileg jobban vezeti be a hallójáratba a szemből érkező hangokat, mint a hátulról jövőket. Ez a magas hangok esetében segít annak eldöntésében, hogy elölről vagy hátulról érkezett-e a hang.
- Az alacsonyabb frekvenciájú hangoknál az segíti a tájékozódást, hogy a két fülbe nem ugyanabban az időpillanatban érkezik a hang, és így a két fül között a hang hullámzási üteme eltérő (tudományosan ezt fáziskülönbségnek nevezik).



Fül részei

### EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mit nevezünk infrahangnak? Veszélyesek lehetnek-e az infrahangok az emberi szervezetre? Nézz utána interneten, milyen veszélyek ezek!
2. Mit nevezünk ultrahangnak? Vesekövek eltávolításához hogyan tudnak az orvosok ultrahangos segítséget kapni? Keress az interneten erről információt!
3. Hogyan tudjuk megállapítani, milyen irányból érkezik a hang felénk?

### ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Sokan sokféle optikai csalódást ismernek. Vannak azonban hangtani csalódások is. Gyűjts össze néhány ilyet, és legalább egyet mutass be az osztályban!
2. Az 1960-as évektől terjedt el széleskörűen a sztereó hanghatású zenehallgatás. 1982-ben vezették be a Dolby Surround szabványt. Hasonlítsd össze, hogy miben különbözik az új (dolby) megoldás a régitől (sztereótól)!
3. Sorolj fel néhány példát arra, hogy milyen módon használják az ultrahangot diagnosztikára! Milyen terápiás alkalmazása van az ultrahangnak!
4. Vannak ultrahangos egér-, rágcsáló-, vakond-, sőt mókusriasztók is. Nézz utána, hogy mekkora frekvencián működnek ezek! Ha van rá lehetőséged, akkor próbáld ki, hogy hallod-e a hangjukat!

# 22. | Zajszennyezés

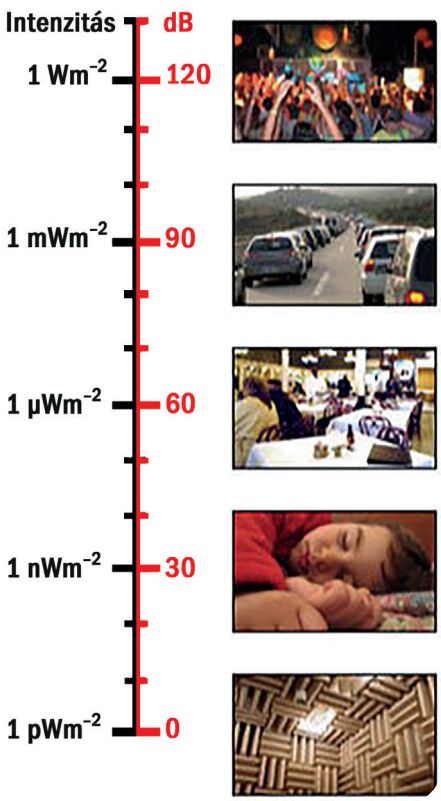
A hatalmas Boeing 747-400 típusú repülőgép leszálláshoz közeledik a londoni Heathrow repülőtéren

*A világ bármelyik nagyvárosában vagy akár a kisebb településeken is egyre nagyobb méreteket ölt a zajszennyezés. Az egészségügyi szakemberek és kutatók által az elmúlt időszakban végzett felmérések és tanulmányok szerint egyre több a zaj káros hatásai miatt kialakuló betegség. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) európai regionális irodája szerint minden ötödik európai olyan zajban alszik, amely negatív hatást gyakorolhat az érintettek egészségére, közérzetére.*

## Hangerősség

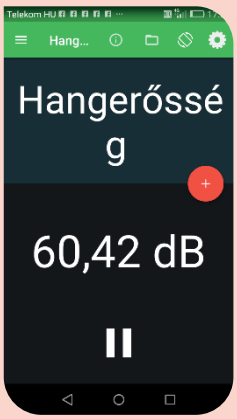
A fülünk nagyon halk és nagyon erős hangokat is érzékelni képes. A jó fülű ember meghallja egy szúnyog repülését három méter távolságból. Az ilyen igen halk hangintenzitást **hallásküszöb**nek nevezzük. A hangtan orvosi vonatkozásaival foglalkozó szakemberek, az audiológusok megegyeztek abban, hogy az egészséges emberi fül esetén 1000 Hz-es frekvencián a hallásküszöb értéke $10^{-12}$ W/m$^2$. Ez azt jelenti, hogy a hang terjedési irányára merőlegesen 1 m$^2$ felületen másodpercenként $10^{-12}$ J energia halad át. Az emberi dobhártya nagyjából 1 cm$^2$-es, ami a négyzetméter tízezred része, vagyis a jó fülű ember meghallja az olyan gyenge hangot is, amikor a fülébe másodpercenként csak $10^{-16}$ J energia érkezik. A rockzenét sok fiatal olyan hangerővel szereti hallgatni, ami már a fül fájdalomküszöbéhez közeli hangintenzitású. Az ilyen erős zene hangintenzitása a hallásküszöb ezermilliárdszorosa!

A fülünk által keltett ingerület nem ezermilliárdszoros, ha a szúnyog zümmögését összehasonlítjuk a rockzene által keltett jellel. Érzékelésünk sajátosságait figyelembe véve alakították ki a hangerősség mérésére a **decibelskálá**t. A hallásküszöböt nevezzük nulla decibelnek (0 dB), míg a fájdalomküszöböt 130 dB-nek. Ha 10-zel nő a decibelek száma, akkor ez tízszeres hangintenzitást jelent, ha 20-szal nő a decibelek száma, akkor ez tízszer tíz, azaz százszoros hangintenzitásnak felel meg. Ha például egy osztályteremben csendben vannak a tanulók, akkor a hangerősség nagyjából 40 dB-es, míg ha beszélgetnek a gyerekek, akkor ez 70 dB körüli hangerősséget eredményez, ami a „csendes” osztályhoz képest 10 · 10 · 10 = 1000-szeres hangintenzitásnak felel meg. A következő táblázat érzékelteti, hogy különböző erősségű hangok hány decibelesek.



## KÍSÉRLETEZZ!

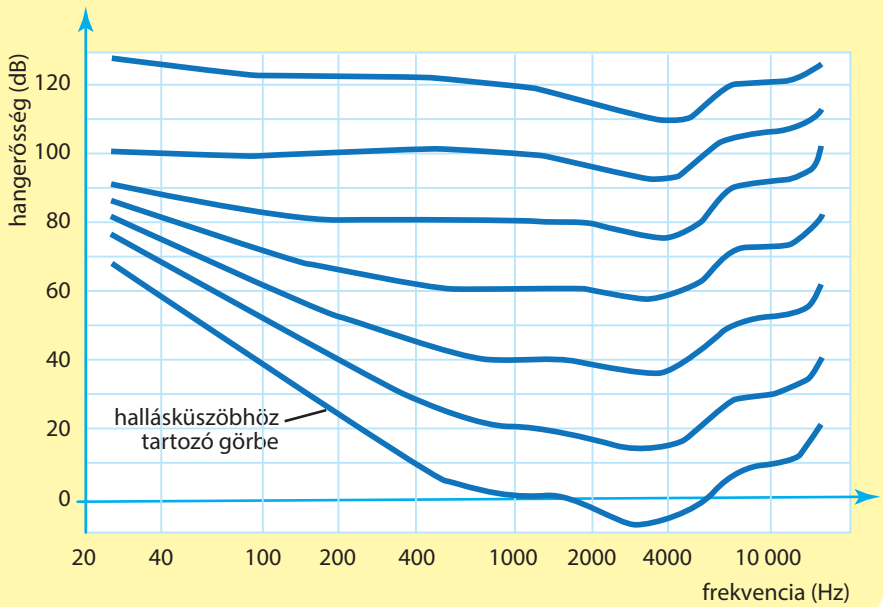
Tölts le a mobiltelefonodra olyan alkalmazást, ami méri a hangerősséget. Végezz tájékozódó méréseket az osztályteremben, a lakóhelyeden, forgalmas kereszteződés mentén. Hasonlítsd össze az általad kapott eredményt a tankönyvi táblázatban közölt értékekkel és más telefonokkal végzett mérésekkel. Mennyire lehet pontos egy hangerősség mérés eredménye? Hogyan lehetne ellenőrizni illetve növelni a mérés pontosságát?




Egy jól használható, okostelefonon futó alkalmazásról (Physics Toolbox Suite) készült képernyőkép

| Decibel (dB) | Forrás (távolság) |
|---|---|
| 194 | Elméleti határ, hanghullám esetén, 1 atmoszféra környezeti nyomásnál |
| 180 | A Krakatau vulkán robbanása 100 mérföldről (160 km) a levegőben |
| 168 | Géppuska lövése 1 méterről |
| 150 | Repülőgép sugárhajtóműve 30 méterről |
| 140 | Pisztolylövés 1 méterről |
| 130 | Fájdalomküszöb; vonatkürt 10 méterről |
| 110 | Gyorsító motorkerékpár 5 méterről; láncfűrész 1 méterről |
| 100 | Légkalapács 2 méterről; diszkó belül |
| 90 | Üzemi zaj; kamion 1 méterről |
| 80 | Porszívó 1 méterről; zaj forgalmas utca járdáján |
| 70 | Erős forgalom 5 méterről |
| 60 | Iroda vagy vendéglő belül |
| 50 | Csendes vendéglő belül |
| 40 | Lakóterület éjjel |
| 30 | Színházi csend |
| 10 | Emberi lélegzet 3 méterről |
| 0 | Emberi hallásküszöb (egészséges fül esetén); egy szúnyog repülésének hangja 3 méterről |

Hangerősségérzetünk nemcsak a hang intenzitásától függ, hanem a frekvenciájától is. Ezt más szavakkal úgy fejezhetjük ki, hogy a fülünk érzékenysége frekvenciafüggő. A következő ábrán egy átlagos, egészséges fülű ember egyenlő hangosságérzetű görbéit láthatjuk. Minden egyes görbe azonos hangosságérzethez tartozik, amit a különböző frekvenciákon más-más hangintenzitással, vagyis más-más decibeles hangerősséggel érhetünk el.




Egyenlő hangosságérzet-görbék. A görbék azt mutatják, hogy az emberi fül a 3 kHz és a 4 kHz közötti frekvenciatartományban a legérzékenyebb, ami részben a hallójárat hosszúsága miatt fellépő rezonanciahatásnak köszönhető. A fül érzékenysége 800 Hz alatt és 10 kHz fölött gyors ütemben romlik, ezen két frekvencia között viszont csak kismértékben változik, ezért tekinthetjük a decibelben mért hangerősséget egyben a hangosságérzet mérőszámának is. Ebben a frekvenciatartományban a legkisebb észlelhető hangerősség-változás hozzávetőlegesen 1 dB. A grafikonon láthatjuk a hallásküszöbhöz tartozó görbét is, ami azt mutatja, hogy csak 1000 Hz körül 0 dB a hallásküszöb. Alacsony és magas frekvenciákon ennél jóval nagyobb decibeles hangerősség jelenti a hallásküszöböt, viszont 3 kHz és 4 kHz között a jó fülűek negatív decibeles (vagyis $10^{-12}$ W/m$^2$-es hangintenzitásnál gyengébb) hangokat is meghallhatnak

## Zajszennyezés

Közönséges értelemben minden nemkívánatos hangot zajnak nevezünk. Megállapodás szerint a 65 dB-nél erősebb hangot tekintik **zaj**nak, vagyis ha a környezetünkben ennél erősebbek a hangok, akkor zajszennyezésről beszélünk. A decibelskála sajátos (tudományos nevén logaritmikus) tulajdonsága alapján megállapítható, hogy amennyiben van két egyenként 60 dB-es hangforrásunk, akkor a kettő együtt nem 120 dB-t jelent, hanem mindössze 63 dB hangerősséget. Általánosságban is igaz, hogy a hangintenzitás minden egyes megkettőződése +3 dB-lel növeli a hangerősséget. Tehát ha mondjuk egy versenyautó hangja bizonyos távolságból 100 dB-es, akkor 16 ugyanolyan versenyautó hangja ugyanakkora távolságból négyszer 3 dB-lel nagyobb, vagyis a hangerősség 16-szoros hangintenzitás-növekedéskor 12 dB-lel nő, a példánkban a 16 versenyautó együttes hangja 112 dB-es.

A hang intenzitása függ a hangforrás távolságától, mégpedig a távolság négyzetével fordított arányban. Ez azt jelenti, hogy ha kétszer olyan messze megyünk például egy szabadtéri koncerten a hangfalaktól, akkor annak hangját négyszer kisebb intenzitással halljuk, ami 6 dB-es hangerősség-csökkenést jelent. Ha nyolcszor messzebbre megyünk, akkor az intenzitás 64-szer kisebb lesz, és mivel $64 = 2^6$, így a hangforrást hatszor 3 dB-lel, tehát 18 dB-lel halkabbnak halljuk.

A mérések azt mutatják, hogy közönséges körülmények között nulla decibeles „csöndet” soha nem tapasztalunk. A szélcsendes erdőben a levelek susogása, az avar zizegése 10–20 dB-es hangerősséget eredményez. A nagyvárosok „csöndje” általában 40 dB feletti, amit az ott élők észre sem vesznek, azonban agyunkat ez folyamatosan terheli. Egy átlagos, egészséges felnőtt 20 Hz-től 16 000 Hz-ig érzékeli a hangokat. A hétköznapi társalgás 500–2000 Hz intervallum közé esik, és hangerőssége általában 60 dB körüli.

Az emberi fájdalomküszöb 130 decibel közelében van, magasabb értékű zaj már halláskárosodást, ezenkívül agyi és idegrendszeri károkat is okozhat. Nemcsak az egyszeri, magas szintű behatás ártalmas, hanem a zajszennyezett környezetben való hosszú távú tartózkodás. Egyes vélemények szerint Budapest (Szófia és Barcelona után) a harmadik legzajosabb város Európában, ahol több millió embert fenyeget a zajártalom. Kutatások erősítik meg a feltételezést, miszerint a tartós zajártalom felelős az idős kori halláskárosodásért és a 8-10 évvel rövidülő élettartamért.

A zajszennyezés egyre nagyobb méreteket ölt, egyre több a zaj káros hatásai miatt kialakuló betegség, és nem csak a munkahelyeken. Mára mindennaposá vált a nagyvárosokban élő hétköznapi emberek nagyothallása és a zajhatások miatt kialakuló fizikai fájdalom.

| Zajhatár | A zaj hatása az átlagos emberi szervezetre |
|---|---|
| 30 dB-től | pszichés |
| 65 dB-től | vegetatív problémák |
| 90 dB-től | károsodnak a hallószervek |
| 130 dB-nél | fizikai fájdalmat okoz |
| 160 dB-nél | átszakad a dobhártya |
| 175 dB-t | nem éljük túl |

### Hallottál róla?

A decibelben mérhető hangerősséget nemcsak a levegőben terjedő hang intenzitásából lehet kiszámolni, hanem az úgynevezett **hangnyomás** alapján is. Amikor a hang mint longitudinális (hosszanti) hullám a levegőben terjed, sűrűsödések és ritkulások jönnek létre, amelyek a levegő nyomásának emelkedésével és gyengülésével járnak. A közönséges légköri nyomáshoz képesti nyomásváltozást nevezzük hangnyomásnak.

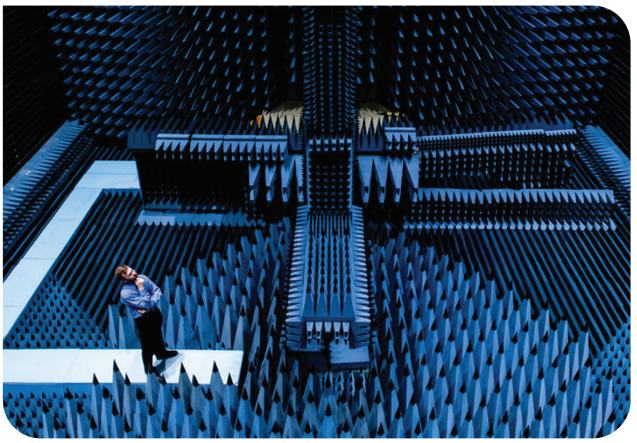
Az 1 atmoszférás légköri nyomás körülbelül 100 000 Pa, amelyhez képest a hangnyomás általában kicsiny. Például 90 dB-es hang esetén a hangnyomás amplitúdója (maximális értéke) 1 Pa, míg az a fájdalomküszöb (130 dB) esetén is csak 30 Pa. Fülünk érzékenységét mutatja, hogy a hallásküszöb elérésekor a hangnyomás amplitúdója mindössze $3 \cdot 10^{-5}$ Pa, ami nagyon kicsi a légköri nyomás $10^5$ Pa értékéhez képest.

Mivel a nyomás csak pozitív értéket vehet fel, és a hangnyomás a légköri nyomáshoz képesti pozitív és negatív nyomásingadozást jelenti, így megállapíthatjuk, hogy a hangnyomásnak van elvi maximális értéke, ami éppen $1 \text{ atm} \approx 10^5$ Pa nyomásamplitúdót jelent. Kiszámították, hogy ez az elméleti hatás 194 dB-nek felel meg, tehát ennél nagyobb hangerősség normál légköri nyomás mellett elvileg nem létezhet.

## Hallottál róla?

Nulladecibeles vagy még halkabb „csöndet” úgynevezett **süketszobá**ban lehet létrehozni. Egy ilyen speciális hangelnyelő elemekkel borított és geometriailag is a hang elnyelésére kialakított süketszobában általában 10 dB alatti a hangerősség. A szoba a hangok 99,9%-át elnyeli, teljesen visszhangmentes. 30 perc után az emberek többsége elkezd hallucinálni, 45 percnél meg általában senki sem bírja tovább – hiába tűnik nyugodt környezetnek, ahol minden zavaró tényező kizárható.

Hivatalos Guinness-rekord szerint a legcsendesebb süketszoba az amerikai Orfield Laboratórium terme, ahol –9,4 dB a hivatalosan mért hangerősség, míg a nem hivatalos rekordot a Salford Egyetem tartja –12,4 dB-es süketszobájával. (A negatív decibel olyan hangintenzitásokat jelent, amit az átlagos, egészséges emberi fül már nem képes meghallani.) Az ilyen süketszobákat általában különböző akusztikai kísérletekre használják, illetve bennük különböző készülékek zajkibocsátását tesztelik. A süketszobák kialakításánál két cél lebeg a mérnökök szeme előtt: egyrészt a maximális zajelnyelés: ez nem hangszigetelést jelent, hanem a visszaverődés, azaz a visszhang minimálisra (lehetőleg minél közelebb a nullához) csökkentését; másrészt igyekeznek a süketszobát (akusztikai szempontból) minél inkább elszigetelni a külvilágtól, hangszigetelni, hogy semmiféle külső zaj ne szűrődhessen be, ami a mérést befolyásolhatná. Létezik olyan süketszoba, ami a föld alatt van egy betonbunkerben, vagy a méretéből adódóan inkább betonhangárban. Ezen belül van még magát a süketszobát tartalmazó helyiség, erős rugókon felfüggesztve szinte lebeg, hogy a Föld rezgéseit se adja tovább.



Futurisztikus külsejű süketszoba

## HOGYAN VÉDEKEZZÜNK A ZAJÁRTALOM ELLEN? *(Olvasmány)*

A zajok 80%-a a közlekedésből ered. Amikor autópályák haladnak el lakott települések közvetlen közelében, a legtöbb helyen hangvisszaverő falakkal próbálják a gépkocsik által keltett zajt elszigetelni az épületekben lakóktól.

Melbourne-ben (Ausztrália) egy esztétikus hangalagútban vezetik a Tullamarine-autópálya városi szakaszát

Nagy problémát jelent a repülőgépek zaja is, különösen azokon a lakott településeken, melyek közel vannak a repülőterek le- és felszálló pályáihoz. Ilyen esetekben a pilóták arra törekszenek, hogy meredeken szálljanak fel, illetve meredeken ereszkedjenek le, mert így csökkenthető a lakosság zajterhelése. A repülőtereken dolgozók (hasonlóan más nagyon nagy zajjal járó munkát végzőkhöz) fülvédőt használnak, mert egyébként viszonylag hamar halláskárosodást szenvednének.

Nagyon sokan járnak rendszeresen koncertekre, zenei eseményekre, klubokba. Egy csodálatos éjszaka után sokan érnek haza csengő fülekkel, vagyis fülzúgással. A hangos zene és az egymás fülébe kiabálás idővel meghozza az eredményét.

A diszkókban a zene hangereje igen közeli a fájdalomküszöbhöz. Nem mindenkinek képes a füle a nagy hangerőhöz alkalmazkodni, ezért erősen egyénfüggő, hogy ez a szórakozás kinél mekkora halláskárosodással jár

Hangerősségmérő műszer (decibel skálával)

A fülek túlterheltté válnak, ilyenkor pihentetni kell őket. Ha rendszeresen komoly zajhatásnak tesszük ki hallószerveinket, nagyobb a kockázata a végleges halláskárosodásnak. Néhány gyártó kifejlesztett olyan füldugókat, melyek kifejezetten bulikra és koncertekre valók. Az ilyen füldugók egy biztonságos szintre gyengítik a hangerőt anélkül, hogy rontanának a zene élvezhetőségén. Ráadásul közben jobban lehet hallani a beszédet a hangos zene ellenére is. Különösen fontos a rockzenészeknek füldugókkal védeniük magukat a halláskárosodástól. A legismertebb zenészek közül Freddy Mercury, Phil Collins, Sting, Eric Clapton, Cher és Rod Steward karrierjük során halláskárosodást szenvedtek, melyet a hallásuk megfelelő védelmével megelőzhettek volna.

Nagyon sok fiatal szinte állandóan fülhallgatóval vagy fejhallgatóval hallgat zenét. Ilyenkor azért is fel szokták erősíteni a hangerőt, hogy ezzel nyomják el a környezet zaját. Így viszont különösen kiteszik magukat a halláskárosodás veszélyének. Sokkal jobb megoldás, ha olyan fül- vagy fejhallgatót használnak, ami jó hangszigeteléssel van ellátva, így nem kell a zene élvezetéhez (és a külső zajok eltompításához) annyira felerősíteniük a hangot. Az ilyen hangszigetelt fül- és fejhallgatók persze visszafelé is működnek, ezért ilyet használva a környezetnek sem muszáj elviselni a zeneélvező torzított „koncertjét”.

A technika fejlődésével igen kifinomult eljárások is megjelentek a mindennapi gyakorlatban. Igaz, hogy meglehetősen drágák, de már kaphatók olyan fejhallgatók is, melyeken mikrofonok észlelik a környezet zaját, és képesek ezt a zajt ellentétes fázissal úgy hozzákeverni a fejhallgatóval hallgatott zenéhez, hogy a környezet zaját gyakorlatilag teljesen kioltja. Ilyen fejhallgatóval például repülőgépeken utazva úgy lehet zenét hallgatni, hogy nem halljuk a repülőgép hajtóművének a zaját. Ezt az eljárást először vadászrepülők pilótáinak fejlesztették ki, mert a vadászgépeken a hajtóművek rendkívül erős hanghatással terhelték meg a pilóták fülét. Ma már vannak olyan luxusautók is, melyekben ugyanezzel az eljárással teszik szinte hallhatatlanná a menetzajt.

Ezen a fejhallgatón mikrofonok is találhatóak, melyek veszik a környezet zaját, és ezt ellentétes fázissal úgy adják hozzá a hangszórók jeléhez, hogy gyakorlatilag teljesen kioltják a környező zajokat

## NE FELEDD!

**A hangerősség mérésére a decibelskálát használjuk. 1000 Hz frekvencián a $10^{-12}$ W/m²-es intenzitású hangot 0 decibelesnek tekintjük, és ezt hívjuk hallásküszöbnek. Tízszer ekkora hangintenzitás 10 dB-lel nagyobb, százszor ekkora hangintenzitás 20 dB-lel nagyobb, ezerszeres intenzitás 30 dB-lel nagyobb hangerőt jelent a decibelskálán. Ha a hangintenzitást megduplázzuk, akkor az hozzávetőlegesen +3 dB-es hangerő-növekedést eredményez. A decibelskálát azért vezették be, mert ez jól fejezi ki az erősebb hangok okozta hangingerület mértékét. A 130 dB-nél erősebb hangok már fájdalmat okoznak a fülben. Az erős hangok halláskárosodáshoz vezethetnek.**

**Fülünk a 3 kHz és 4 kHz közötti hangfrekvenciákra a legérzékenyebb. Az egészséges emberi fül a 800 Hz és 10 kHz közötti hangokat nagyon jól érzékeli, az ennél mélyebb és az ennél magasabb hangokra a fül érzékenysége meredeken romlik. A felnőttek általában a 20 Hz és a 16 kHz közötti frekvenciákat hallják, míg a gyerekek, fiatalok ennél magasabb frekvenciákat is érzékelnek egészen 20 kHz-ig. Az emberi beszéd frekvenciatartománya hozzávetőlegesen 500 Hz-től 2000 Hz-ig terjed, a normál társalgás hangereje 60 dB körüli.**

**A zajszennyezés azokat a nem kívánatos hangokat, vagyis a környezetünkben keletkező zajokat jelenti, melyek zavarják életünket, sőt károsítják hallásunkat, egészségünket. Figyelnünk kell arra, hogy életvitelünk során minél kevesebb zajszennyezést okozzunk, továbbá támogassuk azokat az eljárásokat, megoldásokat, melyek a környezetünk zajszennyezését csökkentik.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mit nevezünk hallásküszöbnek?
2. Hogyan jellemzi a decibelskála a hangerősséget?
3. Mely frekvenciákon érzékeny az emberi fül, és milyen tartományban veszti el az érzékenységét? Hogyan változik a fül érzékenysége az életkor előrehaladtával?
4. Keress interneten olyan oldalt, melynek segítségével le tudod mérni, hogy füled mekkora minimális és mekkora maximális frekvencián érzékeli a hangokat!
5. Saját környezetedben milyen hangforrások keltenek zajszennyezést? Kérdezd ki családod fiatalabb és idősebb tagjait, hogy őket milyen zajok zavarják, és hasonlítsd össze a válaszokat!
6. Írd le saját tapasztalataidat, hogy mit vettél észre füled működésében közvetlenül azután, hogy kiléptél egy olyan teremből, ahol előzőleg hosszabb ideig nagy hangerejű zenét hallgattál!

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hányszor nagyobb a hangintenzitása a 65 dB-es hangnak, mint az 50 dB-esnek?
2. Egy autóversenyen először egy versenyző indítja el az autóját a startvonalon, amit a helyünkön 91 dB-esnek érzékelünk. Ha már mind a nyolc autó motorja jár az indulás előtt, és jó közelítéssel mindegyik egyforma hangos, akkor hány decibelre nő a hangerősség a helyünkön?
3. Hangintenzitás-mérővel 128 dB-esnek mérjük egy lány sikítását. Mennyivel haladja meg a 130 dB-es fájdalomküszöböt a hangerősség, ha ugyanez a lány az ikertestvérével együtt sikít?
4. A szabadtéri rockkoncerten a hangfalaktól 10 méterre beszélgetni próbál két fiatal, mert nem hallják egymás hangját a 120 dB-es hangerősségű zenében. Becsüljük meg, hány decibeles zenei háttérben fognak beszélgetni a fiatalok, ha 100 méterre eltávolodnak a hangfalaktól!
5. Milyen képlettel (képletekkel) lehet kiszámítani a hangerősséget decibel egységekben?
6. A Földön az elméletileg legerősebb hang 194,09 dB-es. Nézz utána, hogy „jön ki” ez a furcsa számérték! Miért nem lehet ennél erősebb hangot kelteni levegőben?

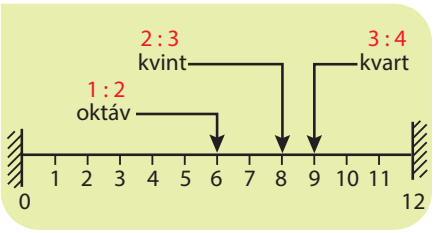
# 23. | A zene fizikája

Mindannyian tudjuk, mit tartunk zenének, ennek ellenére a zene meghatározása nehéz. Sokan egyetértenek abban, hogy **a zene a hangok tudatosan elrendezett folyamata**. A zene egy művészi kifejezési forma, a hangok és „nem hangok” (csendek) időbeli váltakozásának többnyire tudatosan előállított sorrendje, mely nem utasít konkrét cselekvésre, viszont érzelmeket, indulatokat kelt, és gondolatokat ébreszt. Bár a zenéről általában énekórákon beszélünk, azonban érdemes megismerkedni a zene fizikai alapjaival is.

*Valószínűleg a legrégebben felismert természettörvény Püthagorasz nevéhez köthető: harmóniát akkor kapunk, ha a húrok hosszai úgy aránylanak egymáshoz, mint a kis egész számok.*

## Hangmagasság

A hang frekvenciáját hangmagasságként észleljük. Amikor felfelé vagy lefelé skálázunk, akkor a hangmagasság emelkedik, illetve süllyed. A hangmagasság nagyon szoros kapcsolatban van a hang frekvenciájával, azonban kismértékben a hangszín is befolyásolhatja a hangmagasságérzetünket. A hangmagasság-érzékelésünk is logaritmikus, vagyis hasonló, mint ahogy a hangerősséget érzékeljük. Ez azt jelenti, hogy egy hangköz nagysága nem a frekvenciák különbségétől, hanem azok arányától függ.




A kétszeres frekvenciához tartozó hangköz az **oktáv**. Az emberi fül által érzékelhető hangtartomány 10 oktáv. Ez csak akkor teljesül, ha valaki hallja a 20 Hz körüli rendkívül mély hangokat is, és az ennél ezerszer nagyobb frekvenciájú, 20 000 Hz-es igen magas hangokat is. A 10 oktáv tízszeres frekvenciakettőzést, vagyis $2^{10} = 1024 \approx 1000$-szeres frekvencianövekedést jelent. A zongorán lévő hangok hét és negyed oktávot fognak át; a zongora legalacsonyabb hangja 27,5 Hz-es, legmagasabb hangja pedig 4190 Hz-es.

A zenei hangok és a frekvencia közötti kapcsolatot az *a* **(normál zenei *a* hang)** frekvenciájának definiálása rögzíti. Az úgynevezett kamarahang a zenetörténet folyamán többször változott, a ma elfogadott érték 440 Hz.

Az európai fül számára egy hangköz akkor **konszonáns** (akkor hangzik „szépen”), ha a két frekvencia aránya (ezt nevezzük **hangköz**nek) kis egész számok hányadosaként írható fel. Erre a szabályra feltehetően először a püthagoreusok (Püthagorasz követői) jöttek rá Kr. e. a VI. században. Konszonanciáról beszélünk, ha két vagy több zenei hangot egyszerre hallva azokat kellemesnek találjuk. Az ellenkező eset a **disszonancia**. Egy hangköz annál inkább tűnik konszonánsnak, minél kisebb egész számok aránya a frekvenciák aránya. Az egyes hangközöknek külön nevük van. A táblázatban felsoroljuk a hangközök nevét és frekvenciájuk arányát a konszonancia mértékének megfelelően csoportosítva.

Az **akkord**ban egy skála több konszonáns hangja egyszerre szólal meg.

| Hangközök | |
|---|---|
| Abszolút konszonancia: | |
| Uniszónó | 1 : 1 |
| Tiszta oktáv | 2 : 1 |
| Duodecima | 3 : 1 |
| Teljes konszonancia: | |
| Tiszta kvint | 3 : 2 |
| Tiszta kvart | 4 : 3 |
| Közepes konszonancia: | |
| Nagy terc | 5 : 4 |
| Nagy szext | 5 : 3 |
| Tökéletlen konszonancia: | |
| Kis terc | 6 : 5 |
| Kis szext | 8 : 5 |

### ZENEI SKÁLÁK *(Olvasmány)*

A **diatonikus hangsor** a mai zenei szóhasználatban olyan hétfokú hangsor, amelyben öt egész hang és két félhang van úgy elhelyezve, hogy a félhangok a lehető legmesszebb legyenek egymástól. A nyugati zene leggyakrabban használt hangsora.

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Igazoljuk, hogy ha a zongorán a legmélyebb hang 27,5 Hz-es, akkor a legmagasabbnak 4190 Hz-esnek kell lennie!

*Megoldás:* A zongorán 52 fehér és 36 fekete billentyű található, ami összesen 88 billentyű. Ezek között 87 szomszédos hangköz található, melyek frekvenciaaránya mind $\sqrt[12]{2}$. Tehát a legmélyebb és a legmagasabb billentyűk frekvenciája között ezt az összefüggést írhatjuk fel:

$f_{88} = (\sqrt[12]{2})^{87} \cdot f_1 = (152{,}2) \cdot (27{,}5\ \text{Hz}) =$
$= 4186\ \text{Hz} \approx 4190\ \text{Hz}.$

## Hallottál róla?

A valóságban a zongorákat nem pontosan a kiegyenlített (temperált kromatikus) módon hangolják, hanem attól kissé eltérően. A zongora 88 billentyűje közül a 49. billentyű a normál *a*, amit pontosan 440 Hz-re hangolnak. Elméletileg bármely két szomszédos billentyű közötti frekvenciaarány $\sqrt[12]{2} \approx 1{,}05946$, azonban a valóságos zongorák esetén a jobb hangzás érdekében a félhangok (kisszekundok) közötti arányt ennél valamivel nagyobbra választják. Ez az eltérés különösen a nagyon magas és a nagyon alacsony frekvenciájú húrok esetén jelentkezik, mert azok rezgése nem tudja teljesen követni a harmonikus rezgések jellegzetességeit.

Az elméleti arányoktól eltérő zongorahangolást az teszi lehetővé, hogy az átlagember 0,3%-on belüli frekvenciakülönbséget nem vesz észre. (A zenészek esetén ez lecsökken 0,1%-ra, de még így is ad bizonyos játékteret.)

A két fő diatonikus hangnem egyike a **dúr**, a másik pedig a **moll** hangsor. A dúr hangnemnek általában világos, tiszta, olykor vidám, vagy akár megható érzéseket tulajdonítanak, míg a mollnak sötét, komor, esetenként szomorú, gyászos jelleget. Bármilyen zenei hang lehet a dúr vagy a moll skála kezdőhangja, ezt alaphangnak nevezzük. Például ha az alaphang a *c*, akkor C-dúrról, ha *f*, akkor F-dúrról beszélünk. A következőkben csak a dúr skálával foglalkozunk.

A dúr skála hangjainak megkülönböztetésére leggyakrabban a szolmizációs hangokat használjuk. Ezek sorrendben: *dó, ré, mi, fá, szó, lá, ti*. A *dó* a skála első hangja, vagyis az alaphang, a *ti* pedig a hetedik, utolsó. Énekes vagy hangszeres skálázáskor a skálát mindig a következő oktáv első hangjával, vagyis a következő *dó*val zárjuk. Ennek oka egyrészt, hogy a dúr hangnemben a *dó* a hangnem alaphangja, így a felső *dó* lezáró érzést kelt. Fontosabb azonban, hogy a felső *dó* nélkül hiányozna a skálából a *ti* és a *dó* közötti hangköz, márpedig a skála lényege éppen a hangközökben rejlik.

A dúr skála hangközei akusztikai szempontból különbözhetnek, aszerint hogy milyen hangolást használunk, de legtöbbször csak a fejlett zenei hallással rendelkezők képesek megkülönböztetni a hangolások közötti eltérést, a laikus hallgatók általában nem.

A dúr skála hangközei a diatonikus hangolásnál törtekkel kifejezve:

**dó** $\frac{9}{8}$ **ré** $\frac{10}{9}$ **mi** $\frac{16}{15}$ **fá** $\frac{9}{8}$ **szó** $\frac{10}{9}$ **lá** $\frac{9}{8}$ **ti** $\frac{16}{15}$ **dó**

Látható, hogy a skálában kétféle nagyszekund (egész hangköz) van; ezek aránya 9/8 és 10/9. A két kisszekund (félhang) frekvenciaaránya 16/15. Ha minden hangközt összeszorzunk, akkor 2-t kapunk, vagyis oktávtávolságot. Az utóbbi állítás minden hangolásra igaz.

A XX. század eleje óta a **kiegyenlített (temperált kromatikus)** a legelterjedtebb hangolás. Azért hozták létre, hogy az olyan hangszereken, melyeken a zenész nem közvetlenül maga határozza meg a hangok magasságát (például billentyűs hangszerek), lehetővé váljon a **moduláció**, vagyis hangnemváltás, és a **transzponálás**, vagyis adott mű áthelyezése tetszőleges hangnembe. Ezt úgy érték el, hogy az oktávot 12 egyenlő hangközre bontották, és ezekből a félhangokból állították elő a dúr skálát úgy, hogy minél inkább hasonlítson diatonikus eredetijére. Ezt a legkisebb, 1/12 hangközt úgy határozzuk meg, hogy veszünk egy $F$ frekvenciát, és az egy oktávval magasabban lévő $2F$-et. A két frekvencia közötti hangok egy 12 elemű mértani sort alkotnak, melyek kvóciense (a sor szomszédos elemeinek hányadosa) a keresett legkisebb hangköz. Ez a szám: $\sqrt[12]{2}$ vagyis nagyjából: 1,059463. A temperált kromatikus dúr skála a következő hangközöket tartalmazza:

**dó** $\sqrt[6]{2}$ **ré** $\sqrt[6]{2}$ **mi** $\sqrt[12]{2}$ **fá** $\sqrt[6]{2}$ **szó** $\sqrt[6]{2}$ **lá** $\sqrt[6]{2}$ **ti** $\sqrt[12]{2}$ **dó**

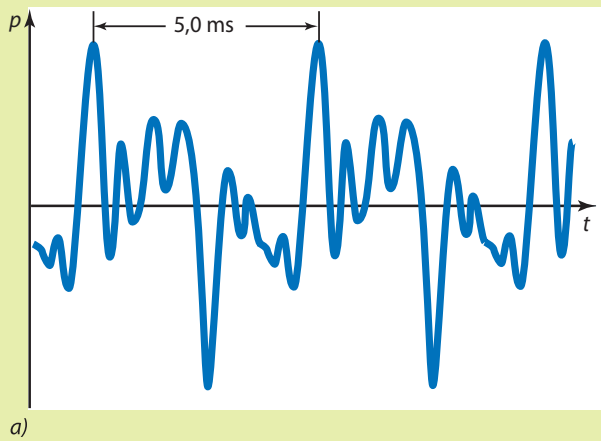
Ellentétben a diatonikus skálával, itt már csak egyféle nagyszekund található, mely a kisszekund négyzete ($\left[\sqrt[12]{2}\right]^2 = \sqrt[6]{2}$). Ha a hangközöket összeszorozzuk, megint csak 2-t kapunk.

A zongorán az egész hangok (nagyszekund) esetén a fehér billentyűk között fekete billentyűk is vannak. A mai zongorákon 52 fehér és 36 fekete billentyű található, és ezek úgy vannak hangolva, hogy a szomszédos billentyűk frekvenciaaránya $\sqrt[12]{2} \approx 1{,}0595$ legyen. Ezt úgy is mondhatjuk, hogy a magasabb hangok felé haladva minden szomszédos billentyűhöz 5,95%-kal magasabb hang tartozik.

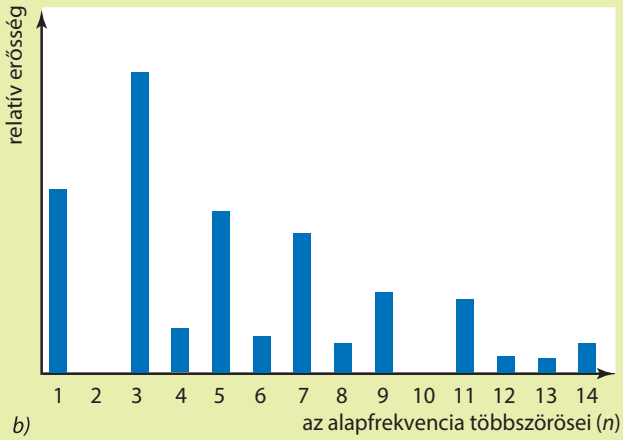
## Hangszín

A természetes hangokban legtöbbször több különböző frekvenciájú szinuszos hullám keveredik. A legalacsonyabb alaphang mellett megjelennek a többszörös frekvenciájú felharmonikusok. A hang hangszínét a felharmonikusok amplitúdóinak aránya határozza meg. A hangszín különböztet meg két különböző (azonos hangmagasságon, azonos hosszúsággal kimondott) magánhangzót, és részben a hangszín alapján lehet megkülönböztetni két hangszer vagy két ember (azonos hangmagasságú) hangját is. (A hangnak ezen kívül sok más jellemzője is van – például a hangerősség időbeli változása: a hang felfutása, kitartása és lecsengése –, ezek szintén segítik a megkülönböztetést.)

Bármely periodikus hullámot, függetlenül attól, hogy mennyire összetett, szét lehet választani tiszta harmonikus hullámok összegére. Ezt az eljárást Fourier-felbontásnak nevezzük (Jean Baptiste Joseph Fourier (1768–1830) francia matematikus dolgozta ki a módszert). Az interneten több olyan ingyenesen letölthető alkalmazás is található (például a „Soundcard Oscilloscope"), ami azonnal elvégzi a hangjelek Fourier-felbontását. A felbontott jel az alapfrekvenciából és annak egész számú többszöröseiből, az úgynevezett felharmonikusokból áll.




a)




b)

Az *a)* ábrán egy klarinét hangnyomás–idő függvényének grafikonját láthatjuk. A *b)* ábra ugyanennek a függvénynek az oszlopdiagramban ábrázolt Fourier-felbontását mutatja, ahol az oszlopok magassága a felbontott amplitúdók értékével arányos. Figyeljük meg, hogy szinte teljesen hiányoznak az alapfrekvencia páros számú többszöröseit jelentő felharmonikusok, ami azzal kapcsolatos, hogy a klarinét olyan sípnak felel meg, amelynek egyik vége zárt, a másik pedig nyitott.

A Fourier-felbontás fordítottja is létezik. Ez azt jelenti, hogy tisztán harmonikus összetevőkből tetszőleges periodikus jel előállítható. Ezt használják az elektronikus szintetizátorokban, melyek egyre élethűbben szólaltatják meg különböző hangszerek hangját. A valódi hangzáshoz a hangok felfutását, kitartását, lecsengését is hitelesen kell elektronikusan megvalósítani.

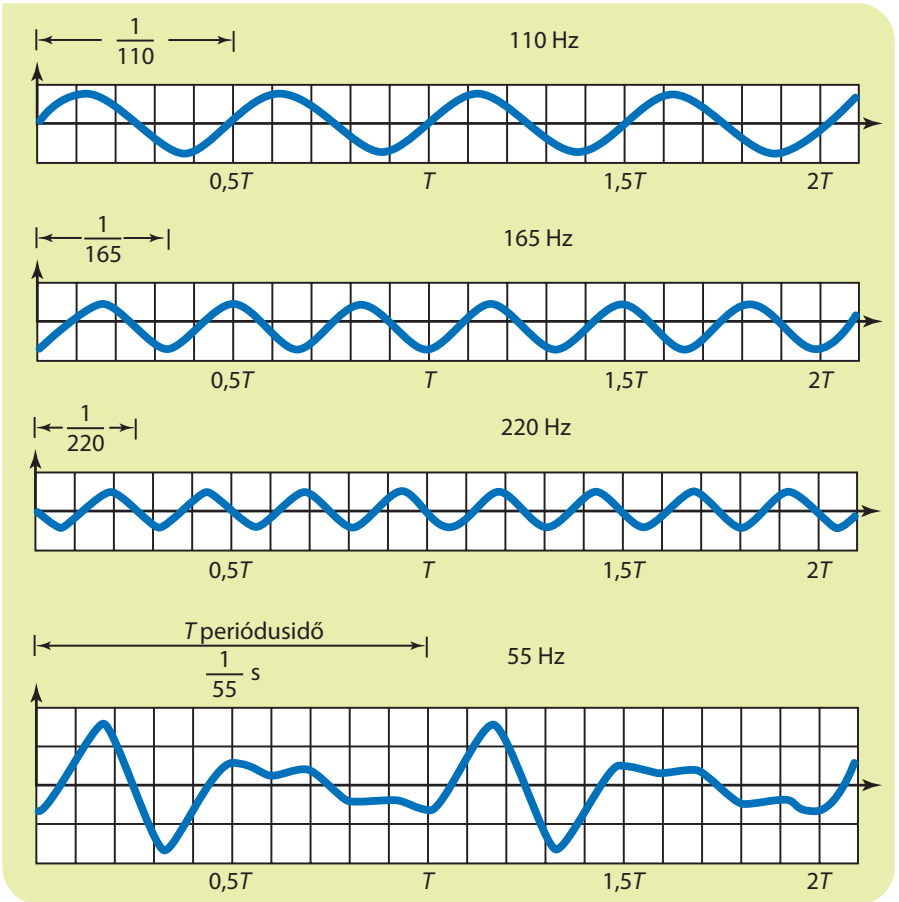
A következő ábrán három különböző harmonikus hullám összeadását mutatjuk be. Ezek a hullámok 110 Hz, 165 Hz és 220 Hz frekvenciájúak, vagyis ezek a rezgésszámok az 55 Hz egész számú többszörösei. A létrejött hullám 55 Hz frekvenciájú annak ellenére, hogy ez a rezgésszám hiányzik az összetevők közül. A fülünk számára az eredő jel 55 Hz-esnek hallatszik. Ezt a módszert használják ki azokban az esetekben, amikor kis méretű hangszó-

## NE FELEDD!

**A zene meghatározása nehéz, rövid definícióként elfogadható, hogy a zene a hangok tudatosan elrendezett folyamata.**

**A zenében a hangok magassága a frekvenciájukkal áll szoros kapcsolatban. Akkor érzünk két hang között azonos hangközt, ha nem a frekvenciájuk különbsége, hanem a frekvenciájuk aránya azonos. A mi kultúránkban akkor érzünk két hangot kellemesnek, vagyis konszonánsnak, ha frekvenciáik aránya kis egész számok arányának felel meg. Ennek megfelelően alakult ki a diatonikus hangsor, ami öt egész hangból és két félhangból áll. A két fő diatonikus hangnem egyike a dúr, a másik pedig a moll hangsor. A XX. század eleje óta a kiegyenlített (temperált kromatikus) skála jelenti a legelterjedtebb hangolást. Az oktávot 12 egyenlő közre osztották, vagyis minden félhang között ugyanekkora a frekvenciaarány ($\sqrt[12]{2}$), míg az egészhangok között ennek négyzete ($\sqrt[6]{2}$).**

róval akarnak mély hangot létrehozni, és a kicsi membrán nem képes a mély alaphang előállítására.




Három különböző amplitúdójú, eltérő frekvenciájú (110 Hz, 165 Hz, 220 Hz) hullám Fourier-összetétele 55 Hz frekvenciájú periodikus jelet eredményez

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mekkora a normál a hangnál két oktávval magasabb, illetve két oktávval mélyebb a hang frekvenciája?
2. A hanghullám milyen fizikai jellemzője határozza meg, hogy milyen erős hangot hallunk? És hogy milyen magasat?
3. Hogyan változik a hang magassága, ha a hangforrás rezgésének periódusideje megduplázódik?
4. Magyarázd el, mit értünk egy hang Fourier-felbontásán?
5. Fogalmazd meg, mi a különbség a zene és a zaj között!

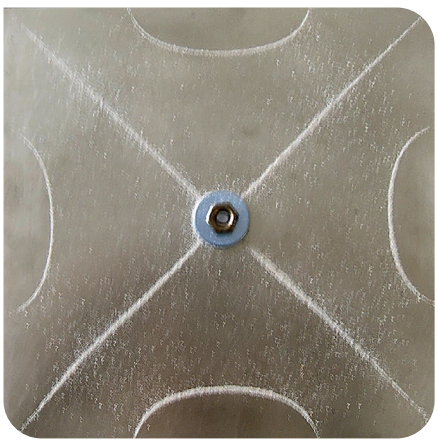
## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A zongorán a legmagasabb hang nagyjából 4190 Hz-es. A legtöbb hangszer ennél mélyebb hangú; az énekesek közül kevesen képesek 1000 Hz-nél magasabb frekvencián énekelni. A hifi minőségű zenelejátszó készülékeknek mégis 20 000 Hz-ig (vagyis 20 kHz-ig) kell tisztán, torzításmentesen szólniuk. Miért?
2. Mekkora a dó-fá hangköz frekvenciaaránya a diatonikus és a temperált C-dúr skálán?
3. Egy hang fourier felbontása 2 összetevőt tartalmaz. Egy 1000Hz frekvenciájú erősebb, és egy 4000Hz frekvenciájú gyengébb összetevőt, melynek amplitúdója fele a másik összetevő amplitúdójának. Rajzold meg a jel fourier-felbontását és próbáld megszerkeszteni a jel időbeli lefutását ábrázoló görbét is.

# 24. | A hangszerekben kialakuló állóhullámok

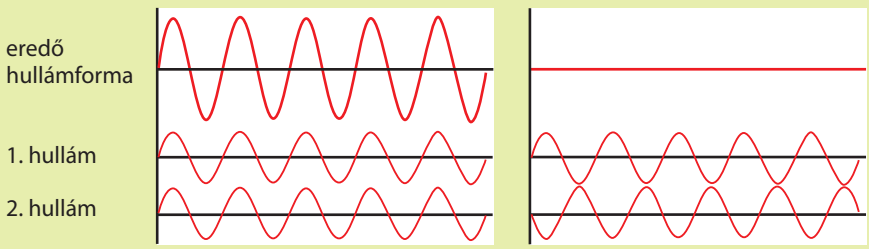
## Interferencia és állóhullám

**Interferencia**nak nevezzük azt a jelenséget, ami akkor következik be, ha két azonos hullámhosszúságú, különböző forrású hullám találkozik úgy, hogy a hullámforrások rezgési üteme egymáshoz képest időben nem változik (például mindig együtt vagy mindig ellentétesen rezegnek). Ekkor létrejönnek olyan pontok a térben, ahol a hullámok maximálisan erősítik, illetve olyanok, ahol maximálisan gyengítik egymást (annak függvényében, hogy az egyes pontokba a két hullám milyen ütemben érkezik).



Négyzet alakú fémlemezen kialakuló felületi állóhullámok csomóvonalait láthatjuk a képen. A megrezgetett vízszintes lemezre szórt homokszemek kirajzolják a nyugalomban lévő csomóvonalakat. Az így kialakuló mintázatot Chladni-ábráknak nevezzük.

*„…hogy a zenében mi szép, csakis azon múlik, hogy mi mit fogadunk el szépnek. Tudom, ezt nehéz elfogadni, míg élvezettel hallgatjuk a zenét, de azt gondolom, hogy a zenében az egyszerűség és komplexitás kontrasztját szeretjük. Ha túl egyszerű, előbb-utóbb unalmassá válik. Ha túl komplex, idegenszerűnek érezzük. Amikor egy szonáta ugyanazt a témát különböző skálákon mutatja be, és azokat éppen csak észrevehető módon fűzi össze, akkor örömet okoz, hogy a kapcsolatok felfogása érdekében oda kell figyelnünk. A zene olyan játék, ami az emberi megismerés folyamatát példázza." (Teller Ede)*

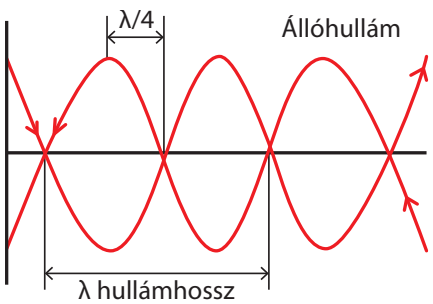



Eredő hullámformák

Ha hullámhegy találkozik hullámheggyel, akkor a hullámhegyek interferenciája erősítő, az eredő hullámhegy amplitúdója megnő (a hullámhegyek egymásra „rakódnak", szuperponálódnak). Ha hullámhegy és hullámvölgy találkozik, akkor az interferencia gyengítő, az eredő amplitúdó lecsökken, vagy meg is szűnhet (ezt is szuperpozíciónak nevezzük).

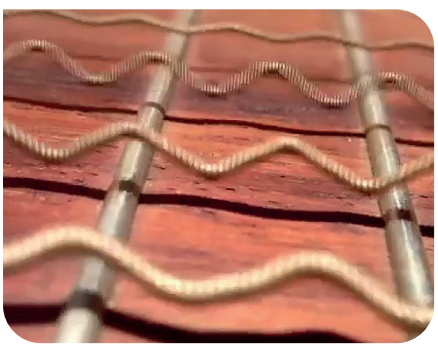
**Állóhullám** akkor keletkezik, ha egyazon helyen két azonos hullámhosszúságú hullám egymással ellentétes irányban halad át. Akusztikai állóhullám esetén természetesen a közeg nincs nyugalomban, de a hangnyomás és a részecskesebesség *maximumai* és *minimumai* a térben nem mozdulnak el. A maximumhelyeket duzzadóhelyeknek, a minimumhelyeket csomópontoknak nevezzük.

Állóhullám leggyakrabban akkor jön létre, ha két különböző tulajdonságú közeg határfelületén egy hullám visszaverődik, és „saját magával" találkozik,




Állóhullám

A fuvola és a klarinét hozzávetőlegesen azonos hosszúságú, mégis a fuvola hangja magas, a klarinété pedig viszonylag mély, nagyjából egy oktávval mélyebb a fuvolánál. Ennek az a magyarázata, hogy a fuvola mindkét végén nyitott sípnak felel meg, míg a klarinét egyik végén nyitott, másik végén zárt sípnak, ami azzal a következménnyel jár, hogy a klarinétban nagyjából kétszer akkora hullámhosszúságú, tehát feleakkora frekvenciájú hanghullámok alakítanak ki állóhullámokat.
A fuvolán az első felharmonikus az alaphang kétszeres frekvenciáján szól, míg a klarinéton háromszoros frekvencián. Ez magyarázza, hogy a klarinéton sokkal több billentyű van, mint a fuvolán, mert kétszer akkora frekvencia- (hangköz-) intervallumot kell a játékosnak áthidalnia, míg az első felharmonikushoz eljut. Mindkét hangszeren az alapfrekvenciák mellett használják az első és a második felharmonikusok magasabb frekvenciáit is, ezért mindkét hangszer több oktávot fog át.



A kép egy megrezgetett gitár húrjain kialakuló állóhullámokról készült videófelvétel egy kockája. A videó ezen a címen érhető el: http://www.sciencealert.com/watch-what-guitar-strings-are-really-doing-up-close

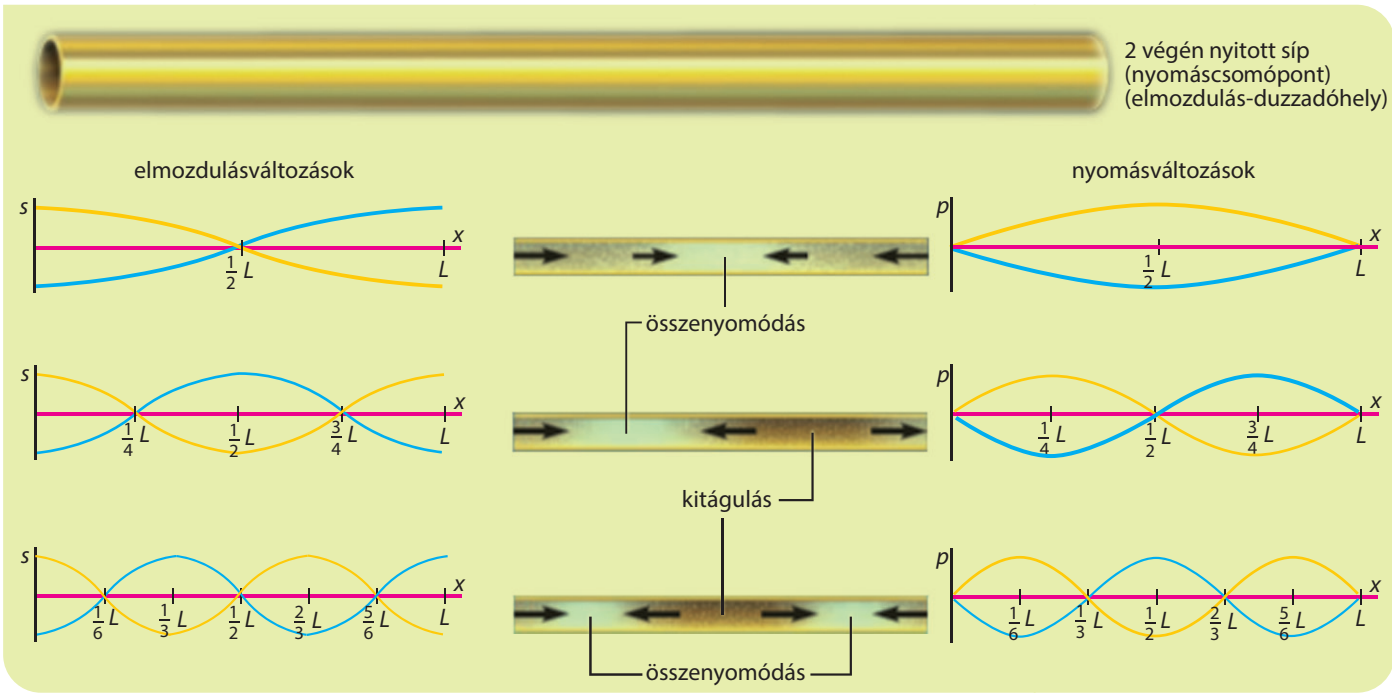
hoz létre interferenciát. A határfelület milyenségétől függően a következő esetek lehetnek:

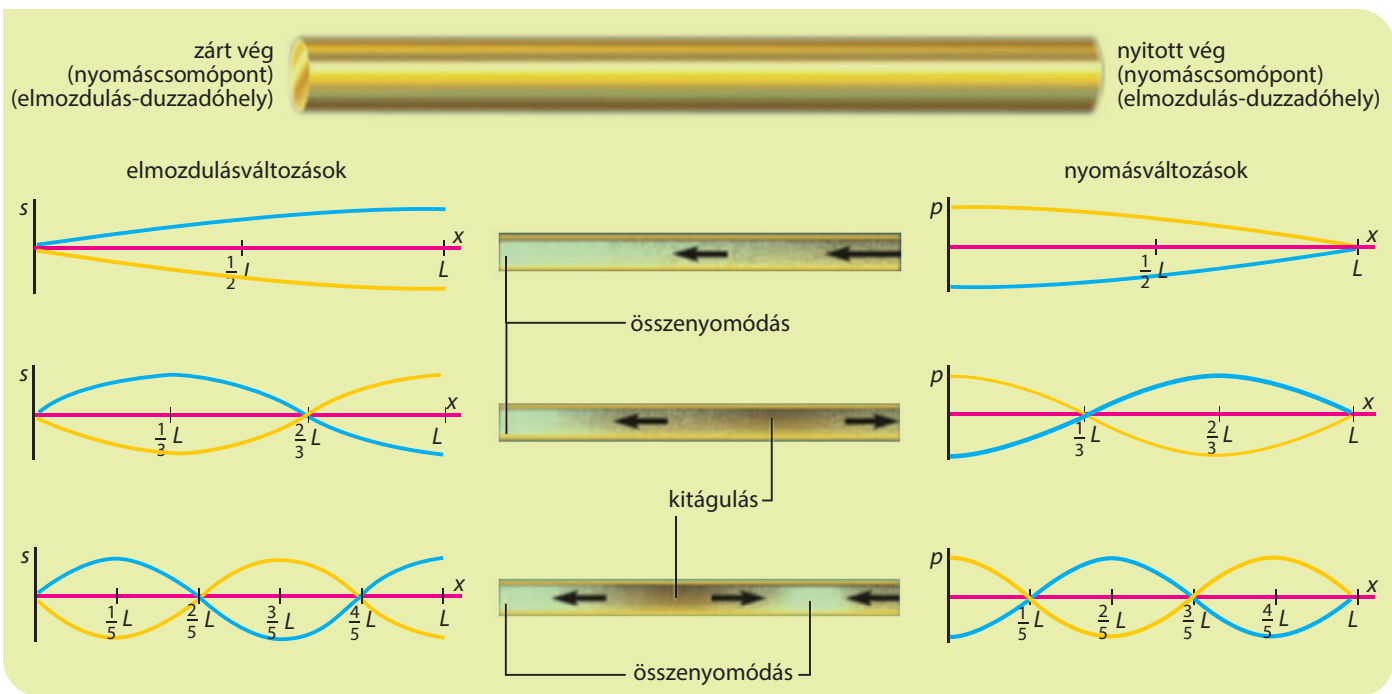
1. Ha **akusztikailag kemény fal** veri vissza a merőlegesen érkező hullámot, akkor a határfelületen a részecskesebesség nulla lesz, a hangnyomás pedig maximumot ér el (például fedett orgonasíp zárt vége).
2. Ha **akusztikailag lágy fal** veri vissza a merőlegesen érkező hullámot, akkor a határfelületen a nyomáskülönbség kiegyenlítődik, nulla lesz, a részecskesebesség viszont maximális (például sípok nyitott vége).
3. A leggyakoribb eset, hogy a hangvisszaverő felület valahol e két véglet között van, **se nem kemény, se nem lágy**. Ebben az esetben a hullám bizonyos mélységben behatol a hangvisszaverő közegbe, és csökkent amplitúdóval verődik vissza.

## Hangszerek

A húros hangszerek hangmagasságát a húrokon kialakuló állóhullámok határozzák meg – ezt a rezgést veszi át, erősíti fel és sugározza ki a hangszer teste. A húr alapfrekvenciája a húr hosszától, hosszegységre eső tömegétől és a húrt feszítő erőtől függ. A rezgéskeltés történhet pengetéssel, a húr megütésével vagy vonóval. Ez utóbbi esetben fontos szerepe van annak, hogy a gyantázott vonó és a húr közötti tapadási és csúszási súrlódási együttható jelentősen eltér egymástól, így a vonó végighúzásakor a megcsúszások és megtapadások sorozata a húrt rezgésbe hozza. A játék közben különböző hangmagasságok megszólaltatásához vagy a húr rezgő hosszát kell változtatni (lefogással), vagy pedig minden hanghoz külön húrra van szükség (mint például a zongorában vagy a hárfán). A húros hangszerek hangolása a húrok feszítőerejének finom változtatásával lehetséges.

A fúvós hangszerek hangmagasságát a légoszlopban kialakuló állóhullámok határozzák meg. A frekvencia a cső hosszától és a hang terjedési sebességétől függ. A rezgéskeltés különböző módokon történhet. Az éksípokban (például a furulyában) az áramló levegő egy éknek ütközik, és az ék két oldalán leváló örvények keltik a rezgést. A nyelvsípok (például a klarinét) működésének alapja az úgynevezett aerodinamikai paradoxon: a hangszerben lévő kis nyelv a gyorsan áramló levegő lecsökkenő nyomása miatt periodikusan elzárja a levegő útját, és ezzel jönnek létre a rezgések. A trombita mindkét típustól különbözik: a zenész a szájával hozza létre a rezgéseket. A különböző magasságú hangok megszólaltatásához a cső hosszát kell változtatni: a csövön lévő lyukak befogásával (például a furulyán), a cső hosszának folytonos változtatásával (a harsonában) vagy különböző hosszúságú csőszakaszok betoldásával (a trombitában). A hangmagasságot befolyásolni lehet a befújás erősségével is: erős befújással megszólaltathatók a felharmonikusok. Az orgonában minden hangmagassághoz (és hangszínhez) külön síp tartozik. A fúvós hangszerek hangolása nehezebb: a hangsebesség tudatos változtatására (mint a húros hangszereknél a húr feszítésével) nincs lehetőség. Ugyanakkor a levegő hőmérsékletének és páratartalmának változásakor megváltozik a hangsebesség – és így a hangszer hangmagassága is.




■ Mindkét végén nyitott, illetve egyik végén zárt, másik végén nyitott sípban kialakuló állóhullám-mintázatok. A középső részben látható fekete nyilak mutatják a levegő részecskéinek pillanatnyi elmozdulását, amelynek a narancssárga görbék felelnek meg. A piros és a világoskék vonalak negyed és fél periódussal későbbi állapotokat jeleznek. Mivel a levegő longitudinális hullám, így a levegő részecskéinek elmozdulása ± *x* irányú, amelyet a grafikonokon az ábrázolás kedvéért *x*-re merőlegesen ábrázoltunk, és *s*-sel jelöltünk. Vegyük észre, hogy ahol nem mozdul meg a levegő, ott változik a nyomás a legnagyobb mértékben, illetve ahol nincs nyomásváltozás, ott a legnagyobb a részecskék elmozdulása!

## NE FELEDD!

**A különböző hangszerek hangját a hangszínük alapján különböztethetjük meg. A hangszín annak a következménye, hogy a különböző hangszerekben eltérő módon jelennek meg a felhangok, melyek az alaphang egész számú többszörösei. Bármely periodikus hangot fel lehet bontani Fourier-összetevőire, vagyis az alaphang és a felharmonikusai összegére.**

**Azonos frekvenciájú hullámok interferálhatnak, vagyis találkozásukkor erősítések és gyengítések jöhetnek létre, ha a hullámforrások rezgési üteme egymáshoz képest időben nem változik. A haladó és a visszavert hullámok találkozásakor állóhullámok jöhetnek létre. A legtöbb hangszer működése az állóhullámokon alapszik. Fúvós hangszerek esetén levegőoszlopokban, húros hangszerek esetén rugalmas húrokban alakulnak ki állóhullámok, melyeket általában a hangszerek teste erősít fel.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Miért van olyan sok sípja az orgonának?
2. Hogyan lehet változtatni a harsona hangmagasságát?
3. Keresd fel a következő internetes oldalt: www.phys.unsw.edu.au/music/! Válassz ki egy hangszert, és készíts róla „hangos” prezentációt!
4. Nézd meg a Wikipédián az „Állóhullám” oldalon lévő animációt, és magyarázd meg a látottakat! (http://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%81ll%C3%B3hull%C3%A1m_(hang)

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Ha változik a koncertteremben a levegő hőmérséklete, akkor a fagott jobban elhangolódik, mint a cselló. Miért?
2. A zongorán „némán” lenyomjuk az egyik billentyűt (mondjuk a 440 Hz-es, egyvonalas a hangot). A billentyűt mindvégig lenyomva tartjuk, miközben rövid időre megütjük az egy oktávval mélyebb hangot (esetünkben a 220 Hz-es, úgynevezett kis a billentyűt). Ennek hatására megszólal a némán lenyomva tartott magas hang is. Miért?
3. Nézz utána, mikor alakul ki a lebegés jelensége! Miért jelentkezik gyakran a lebegés jelensége két fuvola egymáshoz hangolása közben?
4. Nézz utána az interneten, hogyan szemlélteti látványosan a csőben kialakuló állóhullámokat a Rubens-cső!

Koncertterem

# 25. | Miért nem tudjuk megfogni a fényt?

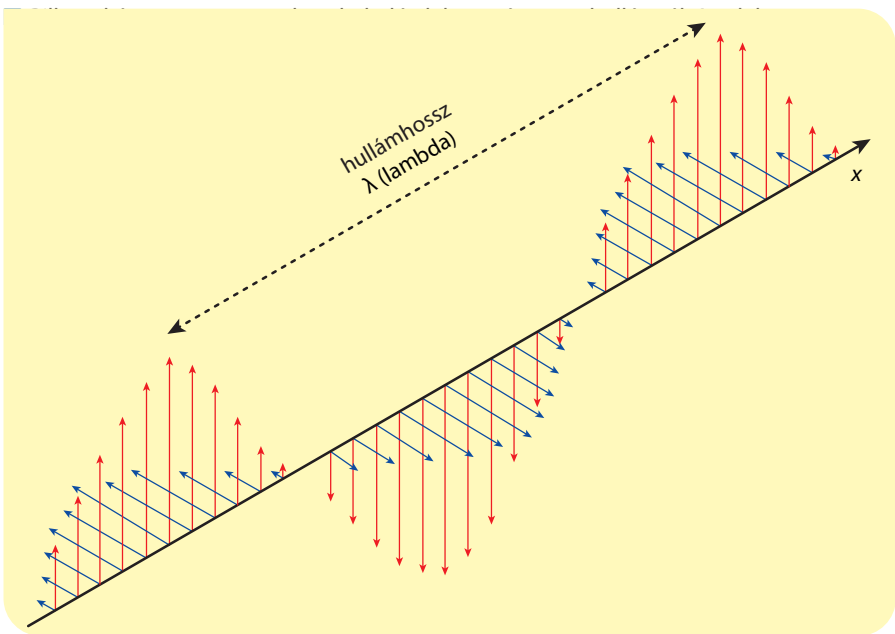
*„A legnagyobb rejtély a fény, mert a fényt nem tudom átvilágítani. A sötétség egy nagyon egyszerű dolog, meg kell találnom a technikát, a lámpát, amivel bevilágítom, így le van leplezve, mint ahogy egy rejtvény meg van fejtve. Itt kezdődik valahol a csoda, a napfényben."*

*(Mészöly Miklós)*

## Az elektromágneses hullám

A tárgyakat csak akkor látjuk, ha róluk fény jut a szemünkbe. A fény az elektromos és a mágneses mező hullámzása, röviden **elektromágneses hullám**. A fényben hullámzó elektromos és mágneses mezőt nem érinthetjük meg úgy, ahogy a körülöttünk lévő tárgyakat. Az **elektromágneses hullámok** ugyanakkor **energiát szállítanak** (érezzük a Nap melegét), és kölcsönhatásba lépnek a különböző anyagokkal. Ezért vagyunk képesek a fény és a hősugárzás érzékelésére.

Az elektromágneses hullámban az elektromos és mágneses tér változik. Ha nyíllal ábrázoljuk az elektromos mező térerősségét, az ábrán látható módon lehet lerajzolni egy egyszerű elektromágneses hullámot.




térerősségvektor (kék nyilak) és a mágnesesindukció-vektor (piros nyilak) merőlegesek egymásra és a hullám terjedésének irányára, nagyságuk periodikusan változik. Más szavakkal megfogalmazva, az elektromágneses hullámban az elektromos és mágneses mező szabályosan ismétlődve erősödik és gyengül.

## Az elektromágneses hullámot jellemző mennyiségek

Az elektromágneses hullámot a **hullámhossza**, **periódusideje** vagy **frekvenciája**, a **terjedési sebessége** és az **erőssége** (intenzitása) jellemzi.

A **hullámhossz** két szomszédos hullámhegy távolsága. Jele: $\lambda$ (lambda).

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Határozzuk meg a bal oldali ábrán látható elektromágneses hullám terjedési sebességét és hullámhosszát!

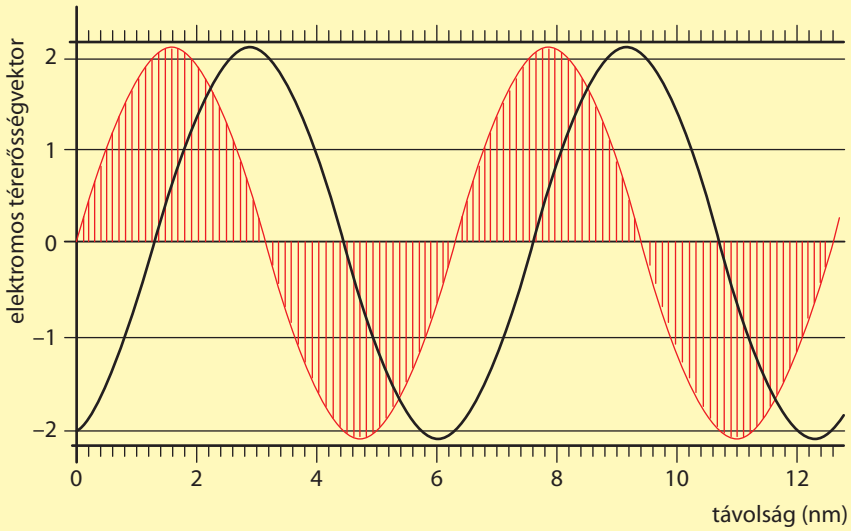
*Megoldás:* Az ábráról leolvasható a hullámhossz. Az első hullámhegy helye 1,6 nm. A leolvasást segíti, hogy a vízszintes tengely beosztása az ábra tetején is megtalálható. A második hullámhegy ugyanebben a hullámban 7,9 nm-nél van. A hullámhossz tehát

7,9 nm – 1,6 nm = 6,3 nm.

A terjedési sebesség is leolvasható az ábráról. Figyeljük balról az első hullámhegyet. A kiindulási helyzete 1,6 nm (az ábrán a satírozott hullámot kell nézni). 4,33 attoszekundummal később ugyanez a hullámhegy kicsit jobbra mozdult (most a másik hullámot kell nézni). A hullámhegy helye 2,9 nm. Az adott idő alatt tehát 2,9 nm – 1,6 nm = 1,3 nm utat tett meg. A sebesség nagyságát az út és a megtételéhez szükséges idő hányadosa adja:

$$c = \frac{1{,}3\ \text{nm}}{4{,}33\ \text{as}} = \frac{1{,}3 \cdot 10^{-9}\ \text{m}}{4{,}33 \cdot 10^{-18}\ \text{s}} =$$

$$= 3 \cdot 10^{8}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$




Jobbra mozgó szinuszos elektromágneses hullám egy korábbi (satírozott szinuszhullám) és egy 4,33 attoszekundummal ($4{,}33 \cdot 10^{-18}$ s = 4,33 as) későbbi (csak vonallal jelölt szinuszhullám) pillanatban (egy nanométer, azaz 1 nm = $10^{-9}$ méter)

A hullám terjedése során a hullámhegyek a terjedés irányába mozdulnak el. Sebességük a **hullám terjedési sebessége**, aminek nagyságát *c*-vel jelöljük.

A hullámhosszt a terjedési sebességgel elosztva megkapjuk, hogy egy teljes hullám mennyi idő alatt halad át a tér egy pontján. Ez az idő a **hullám periódusideje**. A periódusidő jele *T*. Tehát:

$$T\ (\text{periódusidő}) = \frac{\lambda\ (\text{hullámhossz})}{c\ (\text{terjedési sebesség})}.$$

A rezgés szaporaságát a gyakorlatban a periódusidő reciprokával adjuk meg. Ezt a mennyiséget **frekvenciának** nevezzük, jele *f*. Mértékegységének külön neve is van, ez a **hertz (Hz)**. Ha a hullám frekvenciája 50 hertz, akkor 1 s alatt éppen 50 teljes hullám halad át a megfigyelési ponton.

Az elektromágneses hullám frekvenciáját, terjedési körülményeit a hullámot létrehozó fizikai folyamatok határozzák meg. Ha 100 MHz (megahertz) frekvenciájú váltakozó áramot vezetünk egy antennába, akkor az antenna 100 MHz frekvenciájú elektromágneses hullámokat fog a térbe sugározni.

## NE HIBÁZZ!

A hullám terjedési sebességét a hullámhossz és a periódusidő hányadosaként adhatjuk meg: $c = \frac{\lambda}{T}$. A periódusidő reciproka a frekvencia: $f = \frac{1}{T}$. Ennek segítségével az előzőek miatt így fejezhető ki: $c = \lambda f$. Ez tehát azt jelenti, hogy állandó terjedési sebesség esetén a hullámhossz és a frekvencia fordítottan arányosak egymással. A frekvencia mértékegysége a hertz, ami a másodperccel így fejezhető ki: $1\ \text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$. Ha tehát a hullámhosszt méterben megszorozzuk a frekvenciával hertzben, akkor a hullám terjedési sebességét m/s egységben kapjuk meg.

Ezek az összefüggések általánosan igazak, nemcsak elektromágneses hullámokra, hanem mindenféle hullámmozgásra érvényesek.

Az elektromágneses hullámok terjedési sebessége elsősorban attól függ, milyen közegben haladnak. A nagyon ritka levegőben rendkívül gyorsan terjednek. A fény és a többi elektromágneses hullám a légkörben nagyjából 300 000 km-t tesz meg másodpercenként. Tökéletes vákuumban (teljesen légritkított térben) az elektromágneses hullámok frekvenciájuktól, hullámhosszuktól függetlenül ugyanolyan

gyorsan terjednek, ez a sebesség egy kilenc számjegyből álló egész szám: $c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Érdekes és fontos, hogy a fény légüres térben mérhető terjedési sebességénél semmilyen fizikai hatás nem terjedhet gyorsabban. Ennek következményeivel Albert Einstein foglalkozott a huszadik század elején.

Ha valamit fényesebbnek látunk, akkor a tárgyról érkező fényhullámok amplitúdója nagyobb. Ilyenkor azt mondjuk, hogy erősebb fény jut a szemünkbe. A hullámzás erősségét megadó amplitúdónak az elektromos térerősség hullámzás közben felvett legnagyobb értékét nevezzük. A látható fényben, illetve az összes elektromágneses hullámban energia terjed. **A hullámokban terjedő energia az amplitúdó négyzetével arányos.** A másodpercenként felületegységeken áthaladó energiát **intenzitásnak** nevezzük. Az intenzitás azt mondja meg, hogy 1 $\text{m}^2$ felületen (a felületre merőlegesen) hány joule energia halad át 1 s alatt.

## SZÁMOLJUK KI!

*1. feladat:* Hány fényhullám fér el egy 30 cm-es vonalzó éle mentén? A fény frekvenciája legyen $5 \cdot 10^{14}$ Hz.

*Megoldás:* Először határozzuk meg a hullámhosszt. A hullámot jellemző mennyiségek közötti kapcsolatot a lecke szövegében található összefüggés adja meg. Ezt átrendezve kapjuk: $\lambda = c \cdot T$.

A $c$ terjedési sebesség levegőben nagyjából $3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

A periódusidő a frekvencia reciproka: $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}} = 2 \cdot 10^{-15}\ \text{s}$.

Ennek alapján a hullámhossz:

$$\lambda = c \cdot T = \left(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \cdot (2 \cdot 10^{-15}\ \text{s}) = 6 \cdot 10^{-7}\ \text{m} = 600\ \text{nm}.$$

A 30 cm-es távolságon így $\frac{30\ \text{cm}}{600\ \text{nm}} = \frac{0{,}3\ \text{m}}{6 \cdot 10^{-7}\text{m}} = 5 \cdot 10^5 = 500\,000$,

vagyis félmillió fényhullám fér el. Az ilyen frekvenciájú fény narancssárga színű.

*2. feladat:* Hányszor kerülné meg a fény a Földet egy optikai szálban, az Egyenlítő mentén, 1 s alatt? Üvegben a fény terjedési sebessége: $c = 200\,000$ km/s; a Föld egyenlítői sugara: $R = 6378$ km.

*Megoldás:* Az optikai szál hossza megegyezik az Egyenlítő hosszával:

$l = 2\,R\,\pi = 2 \cdot (6378\ \text{km}) \cdot \pi = 40\,074\ \text{km} \approx 40\,000\ \text{km}$.

Az optikai üvegszálban 1 s alatt a fény 200 000 km-t tesz meg, ami (200 000 km) / (40 000 km) = 5-ször nagyobb távolság, mint az Egyenlítő hossza. A fény tehát az üvegszálban ötször kerülné meg a Földet egyetlen másodperc alatt.

## Hallottál róla?

A fény nagyjából 8,5 perc (500 másodperc) alatt jut el a Nap felszínéről a Földre.

A fény sebessége üvegben kb. 200 000 km/s, vízben 225 000 km/s, gyémántban 124 000 km/s.

## NÉZZ UTÁNA!

Kik és hogyan próbálták megmérni a fény sebességét?

Miért volt szükség a fény sebességének méréséhez különlegesen pontos módszerekre?

## NE FELEDD!

**Az elektromágneses hullámban elektromos és mágneses mező hullámzik.**
**Jellemző mennyiségei a hullámhossz, a terjedési sebesség, a frekvencia. Bármely kettő ismeretében a harmadik kiszámítható.**
**A fény frekvenciáját, illetve periódusidejét keletkezésének körülményei, terjedési sebességét pedig az a közeg határozza meg, amelyben terjed. Hullámhossza a terjedési sebesség és a periódusidő szorzata.**
**A fény terjedési sebessége légüres térben nagyjából 300 000 km/s.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Miért nem tudjuk megfogni a fényt?
2. Mi hullámzik az elektromágneses hullámban?
3. Sorold fel az elektromágneses hullámot jellemző fizikai mennyiségeket, és hogy ezek a hullám milyen tulajdonságával kapcsolatosak!
4. Mi határozza meg az elektromágneses hullám frekvenciáját, terjedési sebességét, hullámhosszát?
5. Terjednek-e az elektromágneses hullámok légüres térben? És a hang?
6. Nagyjából hányszor gyorsabb a fény a hangnál?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Rajzolj le egy levegőben terjedő 600 nm hullámhosszú szinuszos fényhullámot egy adott időpillanatban és $10^{-15}$ s-mal később!
2. Az alábbi táblázatban elektromágneses hullámok sebesség-, hullámhossz-, periódusidő- és frekvenciaadatai találhatóak. Másold le a táblázatot, és töltsd ki a hiányzó mezőket!

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| sebesség | 200 000 km/s | 300 000 km/s | | 270 000 km/s | 300 000 km/s | |
| hullámhossz | | 0,1 m | 1 m | | | 300 km |
| periódusidő | | | 8 ns | 200 ns | | |
| frekvencia | 100 MHz | | | | 2,7 GHz | 50 Hz |

3. Valaki úgy akarja kiszámolni, milyen messze csapott le a villám, hogy megméri, a villám megpillantása után mennyi idővel később hallja meg a mennydörgést. Egy ilyen alkalommal 12 s-ot mér. Milyen messze csapott le a villám?
4. Az előző feladatban szereplő mérés elvégzése során a 12 s nem pontos, hanem másodpercre kerekített érték. Milyen határok között változhat a villám távolsága ennek figyelembevételével? Mekkora hibát okoz, ha a fény terjedésének sebességét végtelen nagynak gondoljuk?
5. Egy, a leckében található ábrához hasonló szinuszos elektromágneses hullám sebessége $2{,}7 \cdot 10^8$ m/s, frekvenciája 100 MHz. Milyen távol vannak egymástól a térben azok a pontok, ahol egy adott pillanatban éppen nincs elektromágneses térerősség? Mennyi idő telik el, amíg az elektromágneses tér erőssége ezekben a pontokban a maximális értékre növekszik?

# 26. | Az elektromágneses hullámok

Az elektromágneses hullámok mindenütt jelen vannak a környezetünkben. Ilyen a látható fény, de ezenkívül még nagyon sok más elektromágneses hullám – más néven elektromágneses sugárzás – vesz körül bennünket. Ezeket gyakorlati okokból a levegőben mérhető hullámhosszuk alapján csoportosítjuk.

Az alábbi táblázatban rendszerezve látjuk az elnevezéseket és a hozzájuk tartozó hullámhosszakat:

| Hullámhossz levegőben | Elnevezés | Felhasználás |
|---|---|---|
| méter, kilométer | rádióhullámok | rádióadások továbbítása |
| centiméter | mikrohullámok | mikrohullámú sütő, mobiltelefon |
| tized-ezred milliméter | infravörös hullámok, hősugárzás | melegítés, távirányítók |
| néhány száz nanométer | látható fény, ultraibolya sugárzás | látás, szolárium |
| pikométer | röntgensugarak, gammasugarak | röntgenátvilágítás, anyagvizsgálat |
| pikométernél kisebb | kozmikus sugárzás | nagyenergiájú fizikai kutatások |

(A nanométer $10^{-9}$ m-t, a pikométer $10^{-12}$ m-t jelent.)

*Már több mint 100 éve ismerjük az elektromágneses hullámokat. A XX. század elején felfedezték azt is, hogy elektromágneses hullámokkal jeleket (információt) továbbíthatunk. A szikratávírót mára felváltotta a távközlési műholdak és a mobiltelefonhálózatok bonyolult rendszere. A háztartási eszközeinkben, vagy a „radarkontroll" felirat mögött is az elektromágneses hullámok rejtőznek. Sőt, a klímaváltozásban szerepet játszó üvegházhatás is az elektromágneses hullámok közé tartozó infravörös sugárzás tulajdonságainak következménye.*

**NÉZZ UTÁNA!**

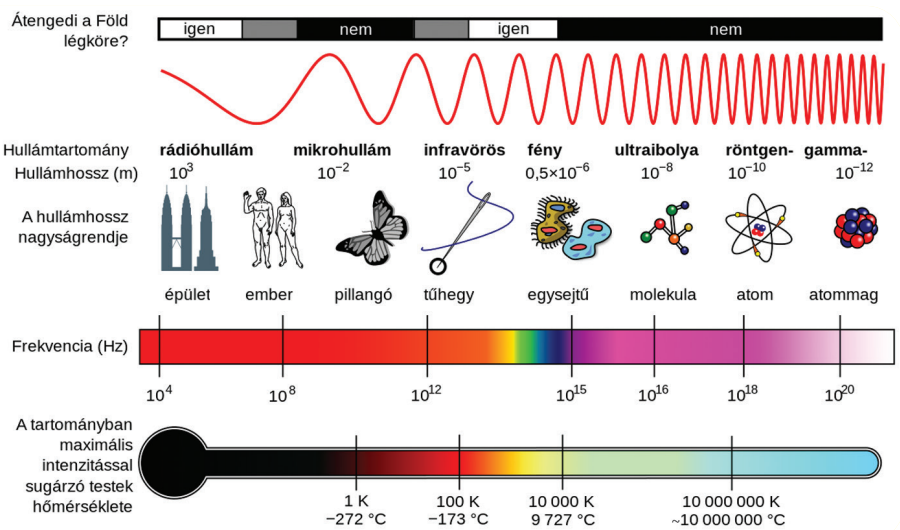
Melyek azok az elektromágneses hullámok, amelyek hamar elnyelődnek a Földet körülvevő vastag levegőrétegben (vagyis a légkörben), és melyek azok, amelyek áthaladnak azon? Az alább látható kép alapján válaszolj! Mit mutat az ábra a mikrohullámokkal és az infravörös hullámokkal kapcsolatban?

Az elektromágneses hullámok egyik fontos tulajdonsága, hogy nagy sebességgel haladnak a térben vagy az elektromos vezetékek, kábelek mentén. Ezért használjuk őket üzenetek, adatok, képek, hangok gyors továbbítására, például a rádió, a televízió és a telefon használata során.

## Az elektromágneses hullámok kölcsönhatása az anyaggal

Ha elektromágneses hullámok új anyaghoz érnek, részben visszaverődnek a felületről, részben behatolnak az új anyagba, ahol általában megváltozott sebességgel és irányban haladnak tovább. Terjedésük során erősségük csökken, energiájuk egy részét átadják a környezetükben lévő atomoknak, molekuláknak.

**Az elektromágneses hullámok és az anyag kölcsönhatása** sok tényezőtől függ. Az egyik legfontosabb ilyen tényező a hullám frekvenciája. Egy másik lényeges tényező az anyag felépítése, elektronszerkezete, mert ez dönti el, hogy adott frekvenciájú sugárzásból adott idő alatt mennyi nyelődik el egy anyagban.

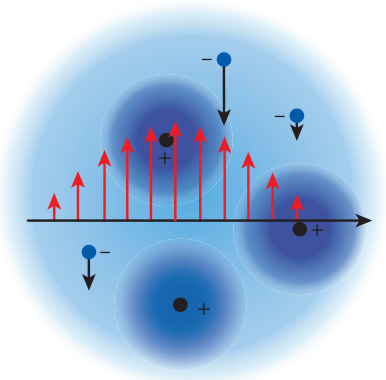



Az elektromágneses hullámok

## Gondold meg!

Az elektromágneses hullám erőt fejt ki az anyag töltött részecskéire. A fény leginkább az atomok közötti kémiai kötést létesítő vegyértékelektronoknak adja át energiáját. Hogyan rajzolnád be a képre az atommagokra ható erőket?

↑ az elektromos mező térerőssége
↓ az elektromos erő vektora



A fény általában visszaverődik a szilárd tárgyak felületéről, de a mikrohullámok segítségével akár a föld alá vagy a falak mögé is benézhetünk. A technikai alkalmazások egyik nagy csoportját a különféle célra kifejlesztett radarok, képalkotó eszközök jelentik.

Hogyan lép kölcsönhatásba az elektromágneses hullám az anyaggal? Az anyag atomokból épül fel. Az atomokban töltött részecskék, pozitív töltésű protonok és negatív töltésű elektronok vannak. **Amikor az elektromágneses hullámok anyagba ütköznek, a bennük változó elektromágneses mező kölcsönhatásba lép az anyagban lévő töltött részecskékkel,** erőt fejt ki azokra, energiát ad át nekik.

### Hőmérsékleti sugárzás

Minden test elektromágneses sugárzást bocsát ki, amelynek jellemző frekvenciája szoros kapcsolatban van a test hőmérsékletével. Ezért **hőmérsékleti sugárzás**nak is nevezik. A melegvérű élőlények hőmérsékleti sugárzása jellemzően infravörös sugárzás.

Az egész világmindenséget egyenletes **elektromágneses háttérsugárzás** tölti ki, amely 2,725 K értékű hőmérsékleti sugárzás. Az ősrobbanáskor igen forró univerzum mostanra ennyire hűlt le tágulása következtében. A világűrből nagy energiájú gamma-sugárzás is érkezik a Földre, ami például atomok, részecskék ütközésekor keletkezik, de érkezik a kozmoszból rádiósugárzás is.

## NE FELEDD!

**A rádióhullámok, az infravörös sugárzás, a mikrohullámok, a röntgensugárzás, az ultraibolya sugarak ugyanolyan elektromágneses hullámok, mint a fény, csak más a frekvenciájuk, és így a hullámhosszuk is. A hullámhosszat a periódusidő (ami a frekvencia reciproka) és a terjedési sebesség szorzata adja meg. A nagyobb frekvenciájú elektromágneses hullámok adott idő alatt általában több energiát adnak át az anyagnak, mint a kisebb frekvenciájúak. Az elektromágneses hullámok az anyag töltött részecskéivel lépnek kölcsönhatásba.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Sorold fel a különböző elektromágneses hullámokat és a levegőben jellemző hullámhosszukat!
2. Mivel lépnek kölcsönhatásba az elektromágneses hullámok, általában mi a különbség ebből a szempontból a nagy- és a kisfrekvenciájú hullámok között?
3. Mondj minél több példát arra, mire használhatóak az elektromágneses hullámok!
4. Hogyan lép kölcsönhatásba az elektromágneses hullám az anyaggal? Mi történhet a kölcsönhatás során az anyaggal és az elektromágneses hullámmal?
5. Hány méter 1 nm és hány méter 1 pm?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi történik egy szabadon álló, nyugvó elektronnal, ha elektromágneses hullám halad rajta át?
2. Van-e olyan élőlény, amelynek nagysága nagyjából megegyezik a fény hullámhosszával? És a röntgensugárzás hullámhosszával? (A hullámhosszak levegőben értendők, a leckében található táblázat alapján válaszolj!)
3. Egy, a Föld légkörében haladó, elektromágneses hullám frekvenciája 900 MHz. Mekkora a hullámhossza? Milyen sugárzásról lehet szó?
4. Igaz-e, hogy minden élőlény sugároz? Igaz ez az állítás bármely testre is?
5. Készíts a leckében található első táblázathoz hasonlót, csak sokkal részletesebbet, az elektromágneses hullámokról!
6. Szerinted megtelhet-e egy szoba elektromágneses hullámokkal? Mire alapozod a véleményedet? Vitasd meg az osztálytársaiddal is!

# 27. | Az elektromágneses hullámok néhány alkalmazása

*A szemünk a látható fény segítségével alkot képet. A többi elektromágneses sugárzást felhasználva a tudósok olyan képalkotó eljárásokat fejlesztettek ki, amelyek révén akár az emberi testbe vagy a zárt bőröndbe is bepillanthatunk.*

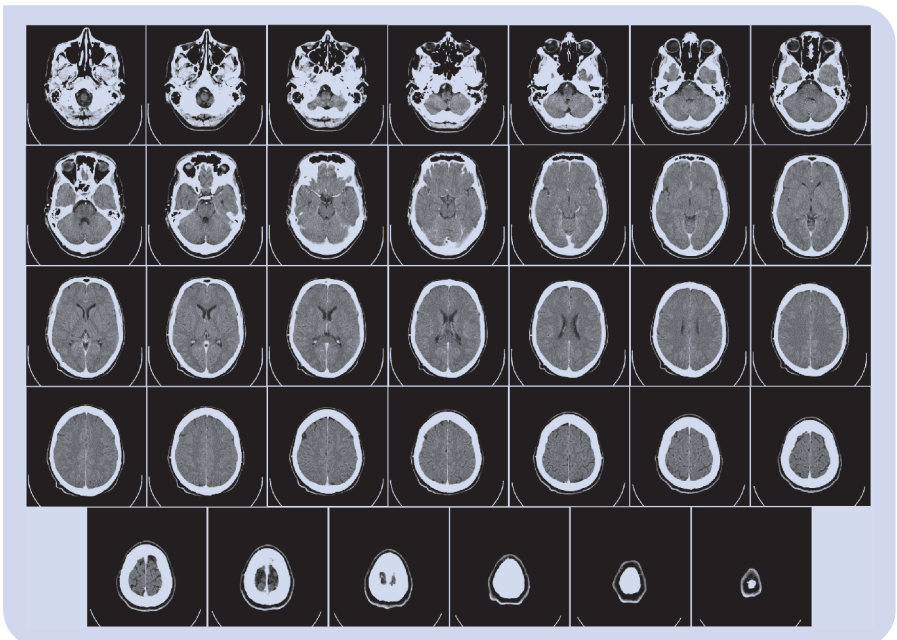
## Röntgenvizsgálat

**A nagy energiájú röntgensugarak különböző mértékben gyengülve, de áthaladnak a test szövetein, elnyelődnek a csontokban és a vastagabb fémlemezekben.** A röntgenfilm megfeketedik ott, ahol sugárzás éri, fehér marad, ahol nem. Ezért jól láthatóak a képen a csontok. Megállapítható a keletkezett sérülés helye, mértéke, észrevehetőek a lágyabb szövetek nagyobb elváltozásai is. Ma már a legtöbb röntgenkészülék nem hagyományos filmen hozza létre a képet, hanem (a digitális kamerákhoz hasonló módon) képernyőn teszi láthatóvá a test belsejében lévő csontokat, szöveteket stb.

A röntgensugárzás frekvenciája és e miatt az energiája is olyan nagy, hogy károsodást okoz a sejtekben, szövetekben. Ezért csak indokolt esetben készíthető röntgenfelvétel.

Mivel a magzat a terhesség első három hónapjában különösen érzékeny a röntgensugárzásra, ezért ilyenkor nem javasolják a vizsgálat elvégzését. Ilyenkor megoldást jelenthet a mechanikai hullámok segítségével végzett ultrahangvizsgálat.

A CT (számítógépes tomográfia) -vizsgálat során több, különböző irányból érkező röntgenimpulzussal tapogatják le a testet. A test egy-egy szeletének képéből állítják össze a nagy felbontású, 3 dimenziós képet. A kapott kép részletesebb és sokkal pontosabb, mint egyetlen felvétel, de jóval nagyobb sugárterhelést jelent a vizsgált személy számára. Az előnyök és kockázatok mérlegelésével kell dönteni a megfelelő vizsgálat elvégzése mellett.
Röntgensugarakat használnak a repülőtéri csomagok átvilágítására is. Az esetleges fegyverek és robbanóanyagok kimutathatók a biztonsági ellenőrzés során.

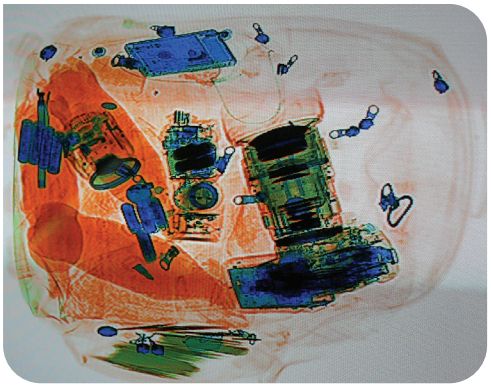


CT-felvétel-sorozat

Mellkast vizsgáló röntgenberendezés és a kép

**NE HIBÁZZ!**

A röntgenfelvételek kiértékelése során az orvos általában összeveti a felvételt egy néhány évvel korábbival. Gyanús jel esetén a vizsgált személyt néhány napon belül visszarendelik, és újabb felvételt készítenek. Ha ezen is látszik az elváltozás, általában jobb képalkotó eljárással is megvizsgálják. A referenciakép fontossága miatt is érdemes bizonyos rendszerességgel megjelenni a szűrővizsgálaton.



Biztonsági ellenőrzés során készített röntgenkép (a színek nem valódiak, hanem számítógéppel készülnek, amit álszínkódolásnak neveznek)

## Gondold meg!

A tüdőröntgen-vizsgálatot végző asszisztens előbb beállítja a vizsgálandó személyt a megfelelő helyzetbe, majd elhagyja a vizsgálóhelyiséget, és csak ezután kapcsolja be a röntgensugárzást. A vizsgáló ajtaja előtt sárga figyelmeztető vonal húzódik, ami azt jelzi, hogy ennél nem mehetnek közelebb a várakozók. Miért van szükség ezekre az óvintézkedésekre?

## Hallottál róla?

Wilhelm Conrad Röntgen fizikus (1845–1923) a katódsugarak vizsgálata közben véletlenül vette észre, hogy a kísérlet során olyan, addig nem ismert sugárzás is keletkezik, ami áthatol az anyagokon, eltérő mértékben nyelődik el, egyenesen halad, mint a fény, és hatására megfeketedik a fényképlemez. Az ismeretlen sugárzást X-sugaraknak nevezte, angolul ma is így hívják a röntgensugárzást (X-ray). Ő készítette az első röntgenfelvételt is a felesége kezéről:

## Hallottál róla?

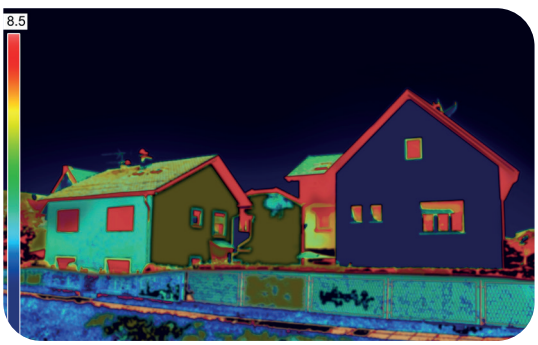
„…Gyermeki fantáziámat különösen a Hold izgatta. Késő estig játszottam az udvaron, és megigézve néztem, miként húz el a Hold a templomtorony mögött…"

Ezek Bay Zoltán szavai, aki gyermekkorában áhítattal tekintett fel égi kísérőnkre. Talán ez a gyermeki kíváncsiság vezetett el odáig, hogy négy évtizeddel később, 1946-ban sikeres lett a radarkísérlete: rádiójelet küldött fel a Holdra, és a visszaverт jelet sikeresen érzékelte.

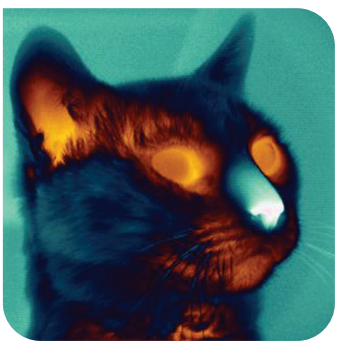
### Infravörös sugárzás

**A 30–40 Celsius-fokos tárgyak, illetve az élőlények hőmérsékleti sugárzása a szabad szemmel nem látható infravörös tartományba esik.**
Az infravörös sugárzás jellemző hullámhossza levegőben néhány mikrométer (1 mikrométer = $10^{-6}$ méter).

**Az infravörös fényre érzékeny kamera a tárgyról érkező infravörös sugárzás segítségével érzékeli a hőmérséklet-különbségeket, és színezéssel teszi azt az emberi szem számára láthatóvá.**




A képet infravörös fényre érzékeny kamerával készítették. Jól látszik, hogy a ház falai hűvösek, az ablakoknál szökik a meleg



A macska melyik része a leghűvösebb, és melyik a legmelegebb?

Infravörös fényre érzékeny kamerával kimutatható, ha egy testrész melegebb a környezeténél. Ez kóros folyamatokra utalhat, ezáltal sok betegség korai stádiumban diagnosztizálható. Infrakamerával működnek az éjjellátó berendezések. Infravörös fényre érzékeny szemével fedezi fel a kígyó sötétben is a melegvérű áldozatát.

Az optikai szálakban látható fény helyett infravörös fényt használnak a jelek továbbítására, mivel kevésbé nyeli el az üveg, mint a látható fényt.

**Infravörös impulzusokkal működnek a különféle távirányítók is.**

### Mikrohullámok – radar

A mikrohullámok hullámhossza rövidebb a rádióhullámokénál, de hosszabb az infravörös hullámokénál, körülbelül a néhány tized centimétertől a néhányszor tíz centiméteres tartományba esik.

Jobban irányíthatóak, mint a rádióhullámok, és áthatolnak a Föld légkörén, ezért használhatóak a műholdas kommunikáció során. Mikrohullámok felhasználásával működnek a mobiltelefonok is.
A mikrohullámok segítségével gyorsan és biztonságosan melegíthetőek fel az ételek. Az erre a célra létrehozott mikrohullámú sütőkben nagyjából 2,5 GHz-es hullámokat használnak, amelyeket elnyelnek a víz, a zsírok és a cukrok. Elnyelés közben molekuláikat megmozgatja a mikrohullám, ezáltal növeli azok rendezetlen mozgásának energiáját, azaz az étel hőmérsékletét. A mikrohullámok nem nyelődnek el az üvegben, műanyagban, kerámiában,

## Hallottál róla?

Alapszabály, hogy semmiféle fémtárgyat (kanál, villa, fémedény, alufólia, fémtartalmú festékkel bevont tányér stb.) nem szabad a mikrohullámú sütőbe helyezni, mert ez a sütő, illetve a fémtárgy károsodását okozhatja. Ugyanakkor ez alól lehetnek speciális kivételek.

A fémfelületekről a mikrohullám visszaverődik, ami megváltoztatja a mikrohullámok útját, így azok visszajuthatnak a magnetronba, ami a magnetron túlmelegedését és végső soron tönkremenetelét okozhatja (a magnetron a mikrohullámú sütő legdrágább alkatrésze).

Mivel a fémek nagy számban tartalmaznak szabad elektronokat, ezeket az elektronokat a mikrohullámok elektromos tere mozgásba hozza, tehát elektromos áram indul meg a fémben. A fémek az elektromos áramtól felmelegszenek, ami olyan mértékű lehet, hogy a fém egyes részei megolvadnak. Ez következik be akkor, ha aranyszegélyű tányért, poharat teszünk a mikróba, ilyenkor az aranydíszítés tönkremegy.

A fémek hegyes végződésein, élein (például villa hegye, alufólia éle) olyan nagy lehet az elektromos térerősség, hogy elektromos szikra keletkezik. Azonban ha a sütő gyártója megengedi fémtárgyak használatát, akkor a sütő kézikönyvében pontosan megadja azok alkalmazásának módját és korlátait (például az alufólia mérete, használata). A sütőbe helyezett fémtárgy (például alufólia, kanál, villa) a tálca forgása során soha ne érjen hozzá a sütő falához (ezt még a bekapcsolás előtt ki lehet próbálni a tálca kézi forgatásával)! Az alufóliát úgy kell elhelyezni, hogy az beburkolja az étel adott részét, így oda a mikrohullámok nem hatolnak be, az ételnek az a része hideg marad!

Egyéni felelősségre ki lehet próbálni, hogy a csészében lévő folyadékba kanalat helyezve az hogyan befolyásolja a folyadék felmelegedését.

## KÍSÉRLETEZZ!

Használd a távirányítót úgy, hogy papírt teszel elé. Áthalad az infravörös jel a papíron? És ha alufóliát teszel elé?

A távirányítók infravörös jele lefényképezhető digitális fényképezőgéppel, mert a fényképezőgép fényérzékelője (CCD) érzékenyebb az infravörös sugárzásra, mint a szem. Próbáld ki!

## MÉRD MEG!

Tölts le az internetről meteorológiai radarral készült képeket! A zivatargócokról, vastag felhőkről visszaverődnek a rádióhullámok. Elemezd a közeledő zivatarzóna helyzetét, mozgását, és készíts időjárás-előrejelzést! Mikor éri el lakóhelyedet a zivatar? Mérd meg egy erős zivatargóc sebességét!

Nézz utána, mikor került forgalomba az első mikrohullámú sütő!

## Gondold meg!

A mikróban melegített étel akkor is nagyon meleg lehet, ha a tányér hűvös! Óvatosan kóstold meg! A lekváros süteménynek langyos lehet a tésztája, miközben igen forró benne a lekvár! Ennek oka, hogy a lekvárban sok a víz, melynek molekuláit a melegítés szempontjából igen hatásosan rázzák meg a mikrohullámok.

Radarral felszerelt hajó antennája és egy radar képernyője

ezért nem melegszik fel a mikrohullámú sütőbe helyezett edény.

Mikrohullámokat használó berendezés a **radar**, amit sokféle célra használnak. A radar a következő angol szavak rövidítése: **ra**(dio) **d**(etecting) **a**(nd) **r**(anging), ami arra utal, hogy rádióhullámokkal különböző tárgyakat lehet észlelni és a távolságukat is meg lehet határozni.

**A radar segítségével minden olyan tárgyat észre lehet venni, amiről az elektromágneses hullámok visszaverődnek.** Ezek lehetnek hajók, repülők, ellenséges harci járművek, tereptárgyak, vagy akár zivatarfelhők. Ennek megfelelően a radart tájékozódásra, navigációra használják a hajózásban, felderítésre a hadászatban, időjárás-előrejelzésre a meteorológiában. A vízi közlekedésben a radar elengedhetetlen, ha rosszak a látási viszonyok, sötét van vagy köd.

A hajózásban használatos navigációt segítő radar működési elve a következő:

Nagyjából egymilliomod másodpercig tartó rövid, 9,5 GHz frekvenciájú, azaz 3,2 cm hullámhosszú impulzust bocsát ki a radar antennája egy meghatározott irányba. A rádióhullámok nagy része szétszóródik, egy kis hányada azonban a környezetben lévő tereptárgyakról visszaverődik az antennára, ami vevőként is szolgál. Az impulzus kibocsátásának és visszaérkezésének idejéből, tudva, hogy a hullámok fénysebességgel terjednek, a tereptárgy vagy hajó távolsága kiszámítható. A megfigyelt tárgy irányát az antenna iránya adja meg. Az antennát percenként 20-30-szor körbeforgatva a berendezés képes letapogatni környezetét, és a monitoron kirajzolódik a radar környezetében található tárgyakat ábrázoló radarkép.

A lopakodó bombázó

Az amerikai lopakodó bombázót különleges anyagú borítása és a rádióhullámokat szétszóró sík lapjai szinte tökéletesen elrejtik a hadászati radar szeme elől. Nem ver vissza több rádióhullámot, mint egy csapat galamb.

## AZ INFORMÁCIÓS ÉS KOMMUNIKÁCIÓS TECHNOLÓGIA
*(OLVASMÁNY)*

**Az elektromágneses hullámok segítségével nagy sebességgel és sok információt, képet, hangot, szöveget lehet eljuttatni a címzetthez.** A mai gyerekek szinte az anyanyelvvel együtt tanulják meg használni a rohamléptekkel fejlődő kommunikációs technológia eszközeit, nem is gondolva arra, hogy ezek kifejlesztéséhez mennyi tudományos kutatásra, fizikai és mérnöki tudásra volt szükség.

Az emberiség őskorában az üzeneteket futárok továbbították. A legismertebbé az a futár vált, aki a marathóni győzelem hírét vitte el a görögöknek. Később váltott lovakkal dolgozó futárok, hajók, postagalambok, postakocsik is vitték az üzeneteket. A Római Birodalom jó minőségű útjai néhol máig fennmaradtak.

Ma elektromágneses sugarak szállítják az üzeneteket, amelyek egy pillanat alatt elérhetnek a Földön bárhová. **Az elektromágneses jeleket antennák sugározzák a térbe, műholdak továbbítják a világűrből, vagy fénykábeleken haladnak az óceánok fenekén, kisebb távolságokon pedig a kiépített fémvezetékeket használjuk az információ továbbítására.** A kisebb teljesítményű rádió adó-vevő tornyok sokasága behálózza a Földet, és kapcsolatot tart a sok millió mobiltelefonnal. Egységes kommunikációs rendszerek szövik át a bolygót, az internet már ma több százmillió embert szervez közösségekbe.

A fizikusok feltárták az elektromágneses sugárzások tulajdonságait, a mérnökök megszerkesztették az apró elektronikus alkatrészeket, áramköröket tartalmazó eszközöket.

„Messzi van-e még a messzi?" – kérdezte egykor Mátyás király az idős földművelőtől. Mit válaszolnánk ma? (Mátyás király a szeme éleslátásáról kérdezte az öreget.)

**Jelenlegi kommunikációs technikánk is lassúnak bizonyulhat a Naprendszer, a világegyetem méreteihez képest.** A Szaturnusz felé tartó űrszondával egy üzenetváltás hónapokig tart. Az általunk elindított egyik első űrszonda már elhagyta a Naprendszerünket és a távoli űrben jár. Audiovizuális lemezen rajzokat, képeket, hangot, zenét visz magával, az emberiségről adva hírt. Itt a Földön hatalmas rádióantennák kutatják a világűrből érkező jeleket, keresve a Földön kívüli értelem jeleit. Az elektromágneses hullámok ebben az esetben lassúnak bizonyulhatnak. A közelebbi csillagokról is 10-20 év alatt ér ide az üzenet, a fény sebességével haladva. A legközelebbi csillag (valójában hármas csillag), az alfa Centauri 4,36 fényévre van a Földtől.

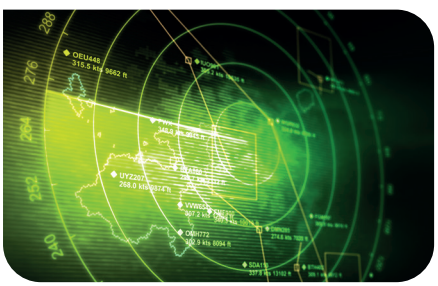
**Az információ továbbításában és a számítástechnikában bekövetkezett fejlődés átalakította a fizika tudományát is.** Korunk fizikusai sok elemből álló rendszereket modelleznek szupergyors számítógépeken. A sok-sok alkotóelem sokféle kapcsolatban van egymással. Ilyen rendszer az idegsejtek hálózata, ilyen rendszer maga a Föld. Az időjárás alakulása a napjaink egyik legjobban kutatott kérdése. Sok elemből és azok kapcsolataiból álló rendszer a technikai civilizáció által létrehozott információs hálózat vagy az internet.

Az emberiség történelmére visszatekintve azt látjuk, hogy a változások üteme egyre gyorsabb, nem lineáris, hanem **exponenciális** ütemet követ. Ez azt jelenti, hogy a gépek kapacitása, az emberiség tudása egy bizonyos

Globális kommunikáció

Bionikus kézfej

Bionikus fül



Radar kivetítőjének képe

Rádiótávcsövek

idő alatt nem ugyanannyival, hanem ugyanannyiszorosára növekszik. Az olvasás nagyjából 500 év alatt terjedt el a Földön, az okostelefonok 10 év alatt eljutottak a világ minden pontjára. Ma egyetlen telefon többet tud, mint a legnagyobb számítógépek 1970-ben, és a változás üteme tovább gyorsul.

Néhány éven belül elkezdődik a sofőr nélküli, robotpilóta vezette autók elterjedése, a prototípusok már most működnek. A **mobiltelefonok** egyetlen kézmozdulatunkra összekapcsolnak bennünket az internettel, aminek segítségével számítógépes adatbázisokkal tarthatunk kapcsolatot, vagy gyorsan válthatunk videoüzeneteket. Ezzel megkezdődött az ember és a gép összeolvadása, amely tovább folytatódik. Az orvoslásban általánossá válik a **bionikus szervek** előállítása: az egyik legelterjedtebb megoldás a testben elhelyezett szívritmus-szabályozó készülék, a pacemaker. Kísérleti stádiumban ma már gondolatokkal vezérelhető művégtagokat is használnak az elveszett testrészek pótlására. A szakmák egy része meg fog szűnni a közeljövőben, mert a munkát robotok fogják elvégezni. A **nanotechnológia** alkalmazása révén a betegségek diagnosztizálása és gyógyítása rohamléptekkel fejlődik. Az emberi élet várható hossza tovább növekszik. Bizonyos, hogy az információs és kommunikációs technológiák rohamos fejlődése és elterjedése alapvetően megváltoztatja az életünket, szokásainkat, gondolkodásunkat. Kár volna azonban azt gondolni, hogy a technika fejlődése megold majd minden problémát. Már csak azért sem, mert a Föld lakóinak egy jelentős – szegényebb – része nem jut majd hozzá az eszközökhöz, lehetőségekhez.

## SZÁMOLJUK KI!

Mennyi az időkülönbség a radar jelének indulása és visszaérkezése között, ha a megfigyelt tárgy 22,5 km-re van?

Az időkülönbség várhatóan nagyon kicsi lesz. A mikrohullámok sebessége $3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, 22,5 km = 22 500 m, amit a jel kétszer tesz meg, oda és visszafelé haladva. A jel által megtett út tehát: 45 000 m. Az időkülönbség az út és a sebesség nagyságának hányadosa:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{4{,}5 \cdot 10^4 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{4{,}5}{3} \cdot \frac{10^4}{10^8} \cdot \frac{\text{m}}{\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1{,}5 \cdot 10^{-4} \text{ s},$$ azaz 150 mikroszekundum.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hogyan mutatja meg a röntgenfelvétel, hogy eltört-e a csont?
2. Mire használják a röntgenfelvételt a repülőtéren?
3. Miben hasonló és miben más a CT-vizsgálat, mint a röntgenfelvétel elkészítése?
4. Nézz utána, hogy kézipoggyászban milyen tárgyakat vihetnek a repülőgép fedélzetére az utasok!
5. Rendezd a hullámhosszaik szerint csökkenő sorrendbe az alábbi elektromágneses hullámokat: röntgensugárzás, mikrohullámú sugárzás, infravörös sugárzás, látható fény!
6. Ismertesd, mire használják az infravörös hullámokat!
7. Hogyan alkot látható képet az éjjellátó készülék?
8. Számold ki a 2,5 GHz-es, levegőben haladó mikrohullámok hullámhosszát!
9. Honnan „tudja” a mikrohullámú sütő, hogy a teát kell felmelegítenie, és nem a poharat?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi a röntgensugarak jellemző frekvenciája és hullámhossza?
2. Nézz utána, mi történik a vizsgálandó személlyel egy CT-vizsgálat során!
3. A magzat vizsgálatára ultrahangot használnak. Miért nem röntgenképet készítenek?
4. Nézz utána, hogyan keletkezik a röntgensugárzás!
5. Hányszor nagyobb a röntgensugárzás frekvenciája, mint a fényé, és hányszor nagyobb, mint az ultrahangoké?
6. Miért forog a radar antennája?
7. Ugyanúgy érzékel-e a radar, ahogyan a szem?
8. Három repülőgép tart egy radarállomás felé. Hogyan repüljenek, hogy minél kevésbé verjék vissza a radar által kibocsátott elektromágneses hullámokat?
9. Legalább milyen messze van a radartól az a tárgy, amiről a visszavert jel a kibocsátás után több mint 0,004 másodperc elteltével érkezik vissza?
10. Egy hajó észak felé halad 50 km/h sebességgel, miközben a tetején levő radar antennája percenként 30-at fordul. Észak felől zivatar közeledik, a felhők 3 km magasan vannak, és 100 km/h sebességgel haladnak dél felé. Mennyit közeledik a hajóhoz a kezdetben 5 km messze lévő felhő két egymást követő radarkép elkészülése alatt?

## Hallottál róla?

A második világháborúban az angoloknak utánpótlást szállító amerikai hajókat megsemmisítették a német tengeralattjárók. Az angoloknak azonban sikerült kifejleszteniük egy nagy teljesítményű mikrohullámú adóvevőt, amelyet repülőkre és hajókra telepített radarokban használtak fel a német tengeralattjárók felderítésére. Azért kellett nagy teljesítményű mikrohullámú adót használniuk, mert a rádióhullámok könnyen elnyelődnek a vízben. Ezért a víz alatti tájékozódáshoz általában nem radart, hanem szonárt használnak, ami nem elektromágneses hullámokat bocsát ki, hanem a vízben jól terjedő hanghullámokat. Sonar: so(und) na(vigation) r(anging).

## NE FELEDD!

**A röntgensugarak segítségével bepillanthatunk a test belsejébe, lezárt csomagokba, mivel áthatol a lágyabb anyagokon, szöveteken, de éles árnyékot ad, ha csontba, fémbe ütközik. A röntgensugárzás energiája olyan nagy, hogy károsodást okoz a sejtekben, szövetekben. Ezért csak indokolt esetben használják.**

**Az élőlények hőmérsékleti sugárzása a szabad szemmel nem látható infravörös tartományban a legerősebb.**

**A rádióhullámokkal működő radar segítségével minden olyan tárgyat észre lehet venni, amiről a rádióhullámok visszaverődnek. A radar azt az időt méri, ami alatt az általa kibocsátott jel a megfigyelt tárgyról való visszaverődés után visszaérkezik.**

# 28. | Milyen televíziót vásároljak?

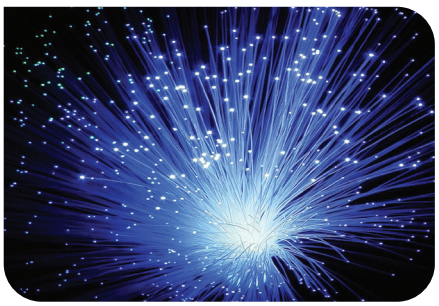
*2009-ben a fizikai Nobel-díjat Charles K. Kao (Hongkongi Egyetem), illetve Willard S. Boyle és George E. Smith (mindketten Bell Laboratóriumok, USA) kapták. A díjat a fénykábelen történő kommunikáció alapjainak kidolgozásáért, illetve a képalkotásban új távlatokat nyitó CCD-érzékelő fejlesztéséért ítélték oda. Ezzel utólag ismerték el a két területen korábban végzett fizikai alapkutatások fontosságát.*

A pécsi tv-torony

**A televízió műsorát a kamera a digitális fényképezőgéphez hasonlóan veszi fel és alakítja elektromos jelekké. A műsort egyszerre sok millió ember számára közvetítik élőben vagy felvételről.**

## A képek továbbítása

A **hagyományos televíziózás** során a műsort nagy teljesítményű és nagy méretű antennák sugározzák. Ezeket az adótornyokat gyakran magaslatra helyezik. A fogyasztók a házuk tetejére szerelt antennával vagy szobaantennával veszik az adást, és a jeleket a vevőkészülék alakítja újra képpé és hanggá.



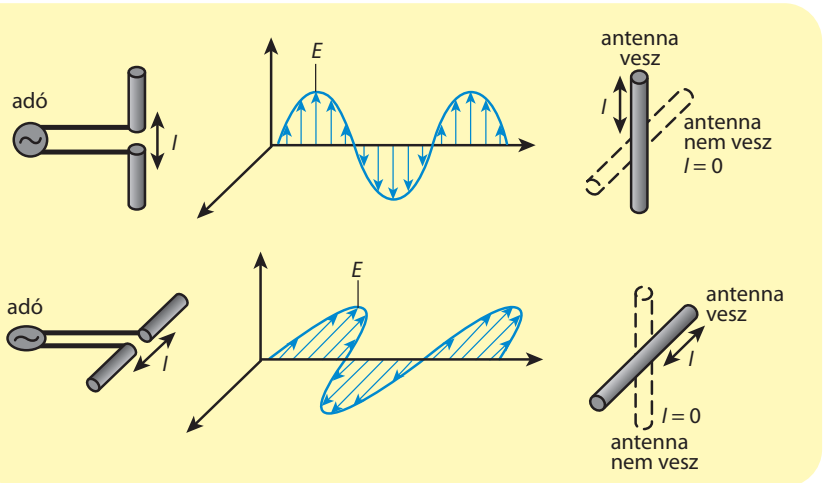
Üvegszálak

## Hallottál róla?

**Antennák**

**Az antennák a bennük folyó áramot elektromágneses hullámmá alakítják, és a térbe sugározzák.**
A legegyszerűbb antenna a dipólantenna. A dipólantennára kapcsolt váltakozó feszültség hatására az antenna karjaiban váltakozó áram jön létre, a karokban található szabad elektronok rezgőmozgást végeznek. **A rezgő töltések változó mágneses teret keltenek maguk körül, a változó mágneses tér változó elektromos teret, az ismét mágneses teret,** és így tovább.

Az egymást keltő, változó elektromos és mágneses terek elszakadnak az antennától, és **elektromágneses hullám**ként szabadon terjednek a térben. A vevőantennához érve a változó elektromos tér hatására rezgésbe jönnek az antenna elektronjai, váltakozó áram alakul ki.



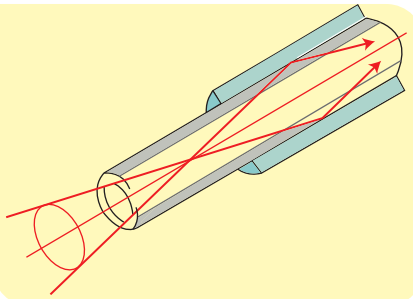

Elektromágneses sugárzás keltése és vétele dipólantennával

A **kábeltelevíziók** jelét optikai kábeleken (fénykábelek) vezetik az utcák alatt, majd a elektromos jellé alakítva a lakásban árnyékolt, koaxiális kábelen vezetik a készülék antennabemenetére.

A fénykábelek segítségével a fényjelek tetszőleges irányba terelhetőek, mert a kábel üvegmagjába jutó fény sokszori **teljes visszaverődéssel** követi a kábel útját, nem lép ki belőle. Amikor a fény olyan anyagba lép, ahol a sebessége megnő, az eredeti haladási irányát megváltoztatva a két anyag találkozásának felülete felé eltérülő irányban halad tovább. Ennek a jelenségnek az a következménye, hogy a felületre elegendően laposan érkező fény be sem lép az új anyagba. Ez a jelenség a teljes visszaverődés. Ilyen kábelek segítségével működik a testünkbe juttatható kamera, az **endoszkóp** is. Az endoszkóp segít az orvosi diagnosztikában és a műtétek során is. Az optikai kábelek fényjeleinek segítségével nagyobb frekvenciájú jeleket lehet továbbítani, mint elektromos kábeleken keresztül.

A koaxiális kábel. A középső rézszálon fut az esetenként több mint száz tv-csatorna jele. Ezt műanyag szigetelés és földelt árnyékolás (fémfólia és háló) veszi körül. Az árnyékolás miatt a kábelben való továbbítás során a jelekre rakódó zaj csökken

A **műholdas televíziózás** során mikrohullámú vivőjelekkel a világűrbe sugározzák az adást. A Föld körül keringő kommunikációs műholdak veszik a jeleket, és – helyzetük miatt – képesek azt a bolygó távoli pontjaira visszasugározni.



A fénykábel üvegszálakból áll, melyekben a fény a teljes visszaverődés elve alapján halad

**NÉZZ UTÁNA!**

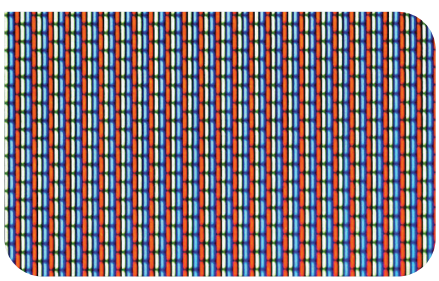
Nézz utána az optikai kábelekkel kapcsolatos néhány érdekességnek:

1. *Mi a kapcsolat az optikai kábel és a 2009-es fizikai Nobel-díj között?*
2. *Milyen mértékben hálózzák be az optikai kábelek a Földet?*

## A képek megjelenítése

A korszerű tv-rendszerek digitális jeleket használnak. Bár sokféle technikai megoldás létezik, a vevőkészülékek a képeket lényegében azonos elv alapján jelenítik meg.

A képernyő sorokba és oszlopokba rendezett elemekből, úgynevezett **pixelekből** áll. A pixelek világosak vagy sötétek is lehetnek, a megfelelő helyen levő sötét és világos pixelek – elegendően messziről nézve – kirajzolják a képet. A színes képernyők esetében minden pixel három, általában piros, zöld és kék alpixelből áll. Ezek segítségével jelenítik meg a színeket, mivel a piros, zöld, kék alapszínekből minden szín kikeverhető. Amikor fehér színt látunk, akkor mindhárom alpixel világos.



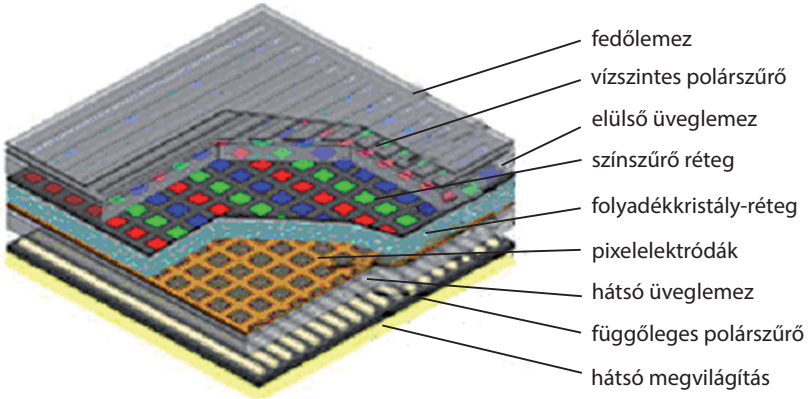
Pixelek közelről

A kép minőségét a pixelek száma határozza meg. A régi katódsugárcsöves képernyők 704 oszlopban oszloponként 480 pixelből álltak. Ez összesen 704-szer 480 pixel, azaz 337 920 darab, ami $0{,}33 \cdot 10^6$, azaz 0,33 megapixel. Az emberi szem retinájában 130 millió fényérzékeny idegvégződés van, azaz a szem 130 megapixeles.

Egy digitális nagy felbontású tv (HD tv, full HD) képe 1920-szor 1080 pixelt tartalmaz, tehát nagyjából 2 megapixeles. A HD-ready készülék felbontása ennél valamivel rosszabb, de sokkal jobb, mint 0,33 megapixel. Bár a Tv csatornák jelenleg inkább „csak” HD-ben nézhetőek, a boltokban mára elterjed-

**Gondold meg!**

Hiába nagy felbontású a készüléked, ha maga a műsor rosszabb minőségű. Az általad látott kép minőségének romlását okozza az is, ha túl messziről nézed a képernyőt. Ekkor a HD-adás finom részletei a szemed számára összemosódnak. Valójában gondos mérlegelést kíván, hogy egy adott méretű szobában milyen méretű és felbontású televíziót érdemes használni.



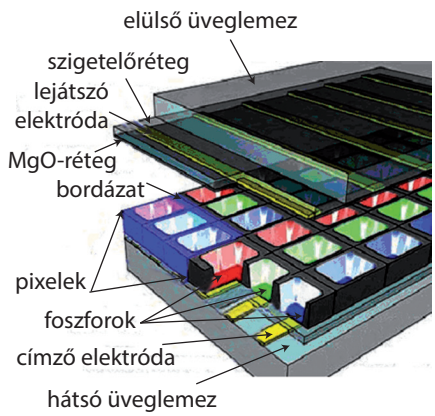

LCD-képernyő felépítése

tek az ennél is nagyobb felbontású és ennek megfelelően különösen nagy méretű TV-k, amelyeket a 4K, UHD (Ultra High Definition), illetve 8K elnevezéssel jelölnek. Az ilyen készüléket közelről is jó nézni, mivel a nagy felbontás miatt kis távolságból sem látszanak a képet felépítő pixelek. A látvány annyira hasonlít a szem által látott képhez, hogy az agyban a valóság érzetét kelti.

A lapos tv-k több módon is működhetnek. Az **LCD tv** pixeljei folyadékkristályt tartalmaznak. A folyadékkristály olyan anyag, amelynek optikai tulajdonságai megváltoznak a rá kapcsolt feszültség hatására. Az LCD-kijelzők pixeljeit egyenként kapcsolja ki és be a képernyőhöz tartozó elektronikus áramkör az antennából érkező digitális jelnek megfelelően. A pixelek általában nem világítanak, az átlátszóságuk változik ki- és bekapcsoláskor.
A **LED tv** esetében a pixelek háttérvilágítását energiatakarékos LED-ek, fényemittáló diódák biztosítják.

A **plazma-tv** hasonlóan működik, de pixeljei kis méretű energiatakarékos lámpák. Bennük plazmaállapotú gáz van, amely a rákapcsolt feszültség hatására világít. A megfelelő színt a lámpákat bevonó foszforeszkáló anyag segítségével alakítják ki. Ezek az anyagok elnyelik a plazma által kibocsátott ultraibolya fényt, és az abból nyert energia révén látható fényt bocsátanak ki. Az LCD tv keveset fogyaszt, de inkább félárnyékban nézhető, kevésbé fényerős a képe, és oldalról nem látszik jól. A pixelek kapcsolási ideje hosszabb, ezért a gyors mozgások elmosódhatnak a képernyőn.

A plazma-tv többet fogyaszt, világosban is fényerős képet ad, és oldalról is jobban látható. Csoportos, nappali tévézéshez, nagyobb képernyőméretben előnyös. A pixelek kapcsolási ideje rövidebb, de a képen tartósan megjelenő világos feliratok kiégethetik a pixeleket.



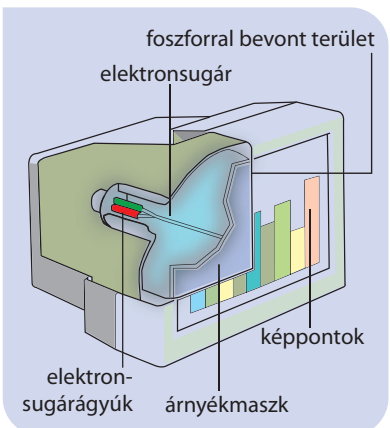

A plazmaképernyő felépítése

A valódi LED tv-kben a pixelek fényemittáló diódák. Az úgynevezett organikus LED-ekből készült képernyők 0,2–0,3 mm vastagok, 200-szor gyorsabban kapcsolnak, és kevesebbet fogyasztanak, mint az LCD-képernyők.

Az érintőképernyők kifejlesztésével lehetővé vált, hogy a felhasználó a képernyő megérintésével kommunikáljon, irányítsa az eszközt (például a mobiltelefont, tabletet).

## Hogyan volt régen?

A **katódsugárcsöves tv-k** esetében az antennából érkező elektromos jelekkel a katódsugárcsővel előállított elektronsugarat vezérelték. A képernyőt foszforeszkáló anyaggal vonták be, ami világított, ha eltalálta az elektronsugár. Az egymás után gyorsan megvilágított pontok rajzolták ki a képet, ahhoz hasonlóan, mint amikor parázsló ággal rajzolunk sötétben a levegőbe. A színes tv esetében mindhárom alapszínt külön elektronsugárral jelenítették meg. A katódsugárcső miatt a régi készülékek terjedelmesek és nehezek voltak.

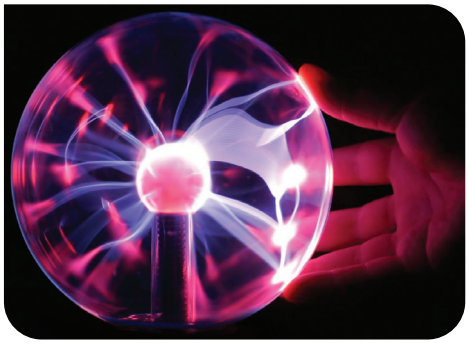



Katódsugárcsöves monitor

## Hallottál róla?

A plazma kialakulásához olyan anyagot kell létrehozni, amelyben nagyon sok töltött részecske – ionizált atom, elektron – mozog egymás közelében, bár a plazma összességében lehet elektromosan semleges is. A nagy töltéssűrűség miatt – és mert a plazmát alkotó töltött részecskék nincsenek egymáshoz kötve – a plazma részecskéi se nem gázként, se nem szilárd vagy folyékony anyagként viselkednek, hanem ezektől eltérő, bonyolult módon. Emiatt a kollektív viselkedés miatt nevezik a plazmát a negyedik halmazállapotnak.

Általánosságban azt a megállapítást tehetjük, hogy sokféle plazma létezik, van folyadék- és van gázállapotú, van hideg és van igen magas hőmérsékletű is. A közös bennük az, hogy nem szilárd halmazállapotúak, ezért könnyen mozognak, és bennük elektromosan töltött részecskék vannak, melyek mozgását erősen befolyásolja a jelen lévő elektromos és mágneses mező is.



A plazmanyalábok követik a kéz mozgását a plazmagömbben, nézd meg a YouTube-on!

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Sorold fel, milyen módon szokták a televízió műsorát továbbítani!
2. Hogyan jeleníti meg a színes képet a televíziókészülék?
3. Milyen fizikai jelenségeket használnak a különböző elven működő tv-képernyők?
4. Hogyan épül fel a koaxiális kábel?
5. Mire használhatóak a fénykábelek?
6. Melyik, fénnyel kapcsolatos, korábban tanult ismeretből következik, hogy megfelelő körülmények között létrejöhet a teljes visszaverődés?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Lehet-e két különböző alakú képernyő ugyanannyi megapixeles? Ha igen, hogyan?
2. Milyen tv-t vásárolnál a saját kis méretű szobádban való tévézéshez, és milyet az iskolai büfé előterébe?
3. Hány megapixeles az UHD felbontású televízió, ha képernyője 3840 oszlopban oszloponként 2160 pixelből áll?
4. Megtartva a jelenleg elterjedt 16 : 9-es képarányt, hány oszlopból és sorból álljon a képernyő, hogy nagyjából ugyanannyi megapixeles legyen, mint az emberi szem?
5. Nézz utána, hogyan működik az érintőképernyő! A működés lényegét fogalmazd meg néhány mondatban!
6. Miért védi meg a koaxiális kábel középső szálában haladó jeleket a földelt fémháló a zajtól?
7. Azt a feladatot kapod, hogy hozz létre teljes visszaverődést. Milyen eszközöket vásárolsz, mit teszel velük, milyen megfigyelés birtokában állíthatod, hogy a teljes visszaverődés létrejött?

## NE FELEDD!

**A televízió műsorát a kamera veszi fel és alakítja elektromos jelekké. A műsort egyszerre sok millió ember számára közvetítik élőben vagy felvételről. A tv-készülék képernyője sorokba és oszlopokba rendezett elemekből, úgynevezett pixelekből áll. A pixelek világosak vagy sötétek is lehetnek, a megfelelő helyen levő sötét és világos pixelek – elegendően messziről nézve – kirajzolják a képet. A régebben használatos katódsugárcsöves tévéket egyre inkább kiszorították a plazmatévék és az LCD képernyős televíziók. A változás folyamatos, az okostévék egyben számítógépek is, a mai számítógépek pedig alkalmasak tévézésre is.**

# 29. | Mobilmánia

*„Asztalnál ülnek, beszélgetnek, mindegyik mással, mobilon."*

*(Nagy Bandó András)*

Mobilevolúció 1992-től 2014-ig

## A mobiltelefon működése

A mobil kommunikációs eszközök előnye, hogy bárhová magunkkal vihetőek. Egy ilyen eszköz ma már zsebben hordozható számítógép, aminek csak az egyik alkalmazása, hogy telefonálni is lehet vele. Az okostelefonokon a számítógépekhez hasonlóan operációs rendszer fut, a telefonra kisalkalmazások tölthetőek le. Az eszköz általában állandó vezeték nélküli kapcsolatban van az internettel. A kisalkalmazások egy része az internet szervereiről letöltött adatok segítségével tájékoztatja a felhasználót például az időjárásról vagy a közlekedési helyzetről.

A mobiltelefonok első generációját (1G) az 1980-as évek első felében hozták létre. Az 1980-as évek végéig még olyan nagy méretűek voltak, hogy nem lehetett őket zsebben hordozni, hanem inkább csak gépkocsikba építették be a készülékeket. 1991-ben jelentek meg a második generációs (2G) készülékek, és tíz év múlva, 2001-ben kezdték el gyártani a harmadik generációsakat (3G). Kezdetben inkább csak nagyon gazdag vagy nagyon elfoglalt emberek használták, de a gyorsan egyre kisebbé, olcsóbbá és népszerűbbé vált mobiltelefonok ma már széles körben elterjedtek.

A mobiltelefon valójában kis teljesítményű rádió adó-vevő, a rádió és a telefon előnyeit először egyesítő rádiótelefon továbbfejlesztett változata. A mobiltelefon az előbb elektromos jelekké alakított, majd digitalizált információt mikrohullámok segítségével továbbítja a 800–2000 Mhz-es tartományban. Két elektromos eszköz (például két mobiltelefon) közötti adatcseréhez a tényleges fizikai összeköttetés létrehozásán túl meg kell szervezni az adatok küldésének és fogadásának módját. A mobilok által Európában először használt kommunikációs szabvány a GSM volt, amelyet gyorsan követtek a 3G és 4G szabványok. Az egymást követő rendszerek bevezetése révén gyorsan növekszik a kommunikáció sebessége, azaz a sávszélesség. A 4G szabvány már HD minőségű videók továbbítására is alkalmas, és lehetővé teszi egyszerre több felhasználó összekapcsolódását konferenciabeszélgetések során.

Az 5G technológia logója.

A legújabb, 5G technológiát 2019-ben kezdték bevezetni. Ennek alkalmazása révén tovább növekszik az adatátvitel sebessége és lehetővé válik az egyre jobban elterjedő okos eszközök, később a robotok távolról, az interneten keresztül történő elérése és irányítása.

A mobiltelefonok elterjedéséhez két fontos problémát kellett megoldaniuk a tervezőknek. Az egyik annak biztosítása, hogy a rendszert nagyon sok fel-

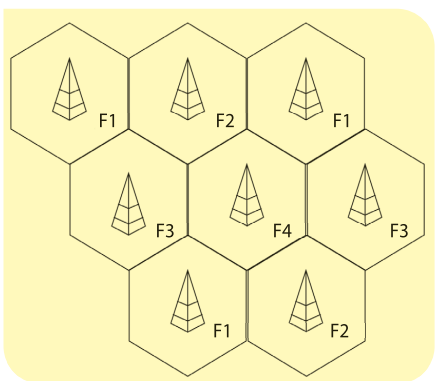
használó használhassa anélkül, hogy egymás üzeneteit megzavarnák. Ez a probléma általános a kommunikációs technológiában. A különböző rádióadók más és más frekvenciájú vivőhullámokat használnak, hasonlóan a tv-csatornákhoz. A másik probléma az volt, hogy a hordozható telefon kevés energiát használjon fel a kapcsolatteremtéshez és kommunikációhoz!

## OLVASMÁNY

Több módja is van annak, hogyan lehet egyszerre több partnerrel is beszélni ugyanazon a kommunikációs csatornán. Az egyik megoldás az **időosztásos technika**. Ennek alkalmazása során a különböző partnereknek szánt üzeneteket egymás után küldik el, ahhoz hasonlóan, amikor a felhasználó egyszerre több partnerrel folytat beszélgetést, vagy a sakknagymester szimultán több játékossal játszik, miközben egyik táblától lép a másikig. Ennek a módszernek fontos eleme a gyorsaság. Ha az üzenetek elég gyorsan indulnak egymás után, a partnerek észre sem veszik, hogy többen vannak.

A mobil kommunikációs technológia lelke a sok **bázisállomás**. A bázisállomás folytat párbeszédet a SIM-kártyával azonosított, éppen az állomás körzetében levő területen, úgynevezett **cellában** tartózkodó telefonokkal. Minél közelebb van a telefon a bázisállomáshoz, annál kisebb teljesítmény (néhány watt) szükséges a telefonálás során. A bázisállomások egymással és a felhasználók adataival a központi helyzetben levő csomópontok (telefonközpontok és felügyelőállomások) segítségével tartják a kapcsolatot. A csomópont keresi meg az üzenet címzettjét, illetve a megfelelő bázisállomást. A bázisállomások folyamatosan tartják a kapcsolatot a telefonokkal, és ha a telefon az egyik cellából a másikba mozog, az egyik bázisállomás átadja a másiknak. Távolabbi cellákban a telefonálás során két telefon akár ugyanazt a frekvenciát is használhatja, zavaró áthallás nélkül.

Egy bázisállomás teteje




Egy bázisállomás-hálózat lehetséges felépítése

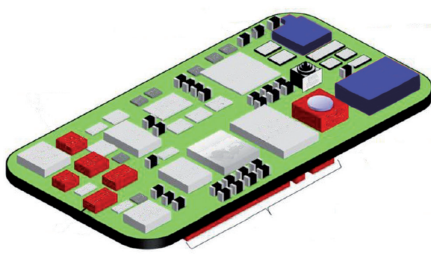
### Érzékelők a mobiltelefonokban, tabletekben

A mobilok fejlődésének egyik fontos iránya, hogy egyre több szenzorral szerelik fel az eszközöket. A **gyorsulásmérő szenzor** szinte minden mobilban, tabletben ott van, mivel ennek segítségével állapítja meg a telefon, hogy vízszintesen vagy függőlegesen áll-e. Ez a képernyőn megjelenő kép automatikus elforgatásához szükséges, ami általában ki- és bekapcsolható funkció.

## NÉZZ UTÁNA!

Jelenleg is élénk vita folyik arról, hogy a mobiltelefonok használata ártalmas-e. Sok tudományosan is megalapozott vélemény szerint a mobiltelefon rendszeres használata mérhető módon növeli az agydaganatok kialakulásának kockázatát. Mások vitatják ezeket az eredményeket. A gondot a telefon működése során küldött és fogadott mikrohullámok jelentik, amelyek energiájának egy része elnyelődik az agyban, és károsíthatja annak sejtjeit, esetleg genetikai állományát. A fülhallgató használatával a telefon távolabb kerül az agytól. A zsebben vagy biciklitáskában levő telefon viszont a medence szerveit károsíthatja. Nézz utána az interneten vagy könyvtárban hasonló tartalmú cikkeknek, és készíts egy táblázatot a mobilhasználat egészségkárosító hatásával kapcsolatos véleményekről!

Izomgörcsök oldására többek között mikrohullámú orvosi kezeléseket is alkalmaznak már hosszú évtizedek óta. Ezzel az eljárással óvatosan felmelegítik a test belsejében az izomkötegeket. Mindez azt mutatja, hogy nagy valószínűséggel az emberi testbe hatoló mikrohullámok a melegítés kivételével semmilyen más hatással nincsenek a szervezetre. Nézz utána, hogy milyen esetekben alkalmaznak orvosi terápiás célokra mikrohullámokat, és ezeknek a kezeléseknek mik a hatásai!



Szenzorok egy mobiltelefonban – a pirossal jelölt részek mind szenzorok: mikrofon, kamerák, fényérzékelő, gyorsulásmérő, nyomásmérő stb.

**KÍSÉRLETEZZ!**

Keress egy olyan alkalmazást, ami grafikusan megjeleníti a gyorsulásmérő szenzor által mért gyorsulásokat! A szenzor 3 különböző irányban mér. Ha a telefont az ágyad közel vízszintes matracára teszed, az egyik szenzor a telefon gyorsulásvektorának az ágy síkjára merőleges koordinátáját fogja mutatni. Ha a telefon mellett megütöd a matracot, a képernyőn láthatod, hogyan csillapodik annak rezgése.

**NE FELEDD!**

**A mobiltelefon működésének lényege, hogy a felhasználók nem egy nagy területet kiszolgáló központi antennával tartják a kapcsolatot, hanem a kisebb területért felelős közeli bázisállomással. Ez teszi lehetővé, hogy kis teljesítménnyel lehessen beszélni, és egyszerre többen is használhassák ugyanazt a frekvenciát áthallás nélkül.**

A **fényérzékelő szenzor** segítségével a készülék érzékeli a rá eső megvilágítás erősségét. Sötétben visszaveszi a fényerőt, világosban felerősíti a képernyő fényét. A **jelenlét-érzékelő szenzor** segítségével a telefon érzékeli, hogy közel tartod-e a füledhez, vagy pedig távol, és ennek megfelelően szabályozza a hangerőt, kapcsolja be a háttérvilágítást. Egyes telefonokban a **kamerák** segítségével a telefon képes nyomon követni a szem mozgását, és automatikusan görgetni az éppen olvasott szöveget. Megfelelő alkalmazás segítségével fény derülhet arra, hogy a telefonban milyen szenzorok vannak. A program által jelzettek egy része valódi szenzor, apró érzékelőt tartalmazó programozható áramkör, másik része azonban csak virtuális szenzor, azaz a telefonon futó program. Ingyenesen elérhető több olyan alkalmazás, ami grafikusan kijelzi vagy állományba menti a kiválasztott szenzor által mért adatokat. Ezeknek az alkalmazásoknak (például iránytű, vízmérték, földrengésjelző, fémdetektor) segítségével a mobiltelefonok és tabletek segítségével akár fizikai kísérletek is végezhetők.

## Vezeték nélküli kapcsolat

Az eddig felsorolt (GSM, 2G, 3G, 4G) mellett további szabványok is léteznek, melyek a mobileszközök kommunikációját szabályozzák. Ilyen a Bluetooth is, ami nagyjából 2400 MHz frekvenciájú rádióhullámokat használ, 0,003 watt teljesítménye miatt a hatótávolsága maximum 10 m. Bluetoothszal több eszköz, mobiltelefon kapcsolódhat össze, és gyors adatátvitelt tesz lehetővé (2,1Mbit/s).

Az egyik legelterjedtebb vezeték nélküli kommunikációs szabvány az internetezés során használt **wifi**. Nagyjából 4 GHz-es vivőhullámokat használ, 30 Mbit/s sebességgel küldhetők rajta keresztül az adatok, beltéren 50 m, szabadban akár 5000 m távolságra.

Az információs és kommunikációs technológia gyorsan fejlődik. A kommunikáció sebessége, hatótávolsága az újabb szabványok alapján működő eszközök elterjedésével egyre csak növekszik.

**DIGITÁLIS HANG** *(olvasmány)*

Beszéd vagy zene felvételekor a mikrofon a hanghullámból elektromos jelet készít. Az analóg jelet az **A/D konverter** (analóg-digitális átalakító) alakítja át digitális jellé. Az eljárás két szakaszból áll. Először a **mintavételezés** történik. Ekkor a konverter bizonyos idő-közönként az analóg jel pillanatnyi értékét (számot) rögzíti, vagyis egy számsorozatot készít. A mintavételezés sűrűsége a hang terjedelmétől függ. A beszédhang frekvenciájának maximuma 4 kHz körüli érték, így például a telefonok, kaputelefonok esetében a mintavé teli sebesség 8 kHz, ami azt jelenti, hogy másodpercenként 8000-szer vesz mintát a jel aktuális értékéből. Zene esetében a hang maximális frekvenciája elérheti a 20 kHz-et, ezért általában 44,1 kHz a mintavételi sebesség. Az eljárás második szakaszában a konverter a számsorozatot bináris kódok sorozatává alakítja át, ezt **kvantálás**nak nevezik. A kvantálás során általában 16 bites bináris kódot használnak (16 db 0 vagy 1 sorozata). 16 bites kódot $2^{16} = 65\,536$-féle módon lehet felírni. A legkisebb a 16 db 0-ból álló, a legnagyobb a 16 db 1-ből álló kód. A mintavételezéskor alkalmazott mérési tartományt az előbb felírt 65 536 egységre (kvantumra) osztják, így derül ki, hogy a mért adathoz melyik

16 bites kód tar tozik. Ezzel elkészült a kódolás. Az előbbiekből kitűnik, hogy a digitális hang minőségét a mintavételi sebesség, valamint a bináris kód bitszámának növelésével lehet javítani.

## HANGRÖGZÍTÉS *(olvasmány)*

A digitális hangot digitális módon rögzítik. Az első, kereskedelmi forgalomban kapható digitális adathordozó a CD volt, tárolókapacitása 700 MB. Nagyobb mennyiségű és jobb minőségű hanganyag rögzítésére DVD-t használnak, melynek tárolókapacitása eléri a 4,7 GB értéket. A tárolókapacitás meghatározza a rögzíteni kívánt hanganyag időtartamát is. A hatékonyabb rögzítés céljából fejlesztették ki az **MP3** tömörítési technológiát. Egy hanganyag nem egyformán informatív, vannak benne monotonabb és dinamikusabb részek. A tömörítés során a zene dinamikáját figyelve változtathatjuk a mintavételi sebesség és a bitszám értékét is, monotonabb részeknél kisebbet, dinamikusabbnál nagyobbat választva. Ezáltal a hangfelvétel minőségében nem zavaró mértékű romlás keletkezik, ugyanakkor jelentősen (50-60%) csökken a tárolandó bitek száma. (A tömörítés kérdése minden más adathalmaz esetén felmerül, nem csak a hangnál.)

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Ismertesd a GSM-rendszer működésének lényegét!
2. Magyarázd meg a kommunikációs szabvány elnevezést! Miért kommunikációs, és mit jelent a szabvány kifejezés?
3. Milyen fontos adatokkal jellemezhető egy kommunikációs szabvány?
4. Ismertesd a Bluetoothra jellemző adatokat!
5. Milyen szenzorok vannak egy okostelefonban vagy tabletben?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

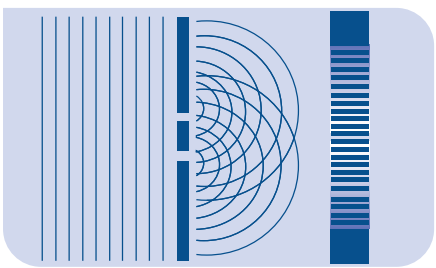
1. Becsüld meg, mennyi idő alatt lehet wifit használva elküldeni egy 100 Mbyte-os képet!
2. A mobilhasználók gyakran tapasztalják, hogy kirándulás közben hamarabb lemerül a telefon, mintha a város közepén használnák. Mi lehet ennek az oka?
3. Végezz egyszerű kísérletet egy okostelefonon vagy tableten futó iránytű-alkalmazással: mutasd ki a hűtőmágnest körülvevő mágneses mezőt!
4. Nézz utána, milyen fizikai jelenség segítségével méri a gyorsulást a gyorsulásmérő szenzor!
5. Egy lift mennyezetéről lelógó, 5 $\frac{\text{N}}{\text{cm}}$ rugóállandójú rugón 30 dkg tömegű test függ. Mennyire nyúlik meg a rugó? És ha a lift 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ nagyságú gyorsulással felfelé indul?
6. Próbáld megmérni a mobiltelefonod segítségével, hogy milyen gyorsulással indul el egy lift! Előtte nézd meg, mit mutat a telefon, amikor a lift még áll!

# 30. | A lézer és a holográfia

*A holografikus technológiát az 1960-as évektől kezdődően alkalmazzák térbeli képek létrehozására. A Microsoft cég most a számítógépes adattárolók új generációjának létrehozására szeretné felhasználni. (újsághír, 2020)*

**KÍSÉRLETEZZ!**

A boltokban vagy interneten lehet olyan erős lézermutatókat vásárolni, melyek szemsérülést okozhatnak, ezért óvatosan kísérletezzünk ezekkel. A lézermutató fényét megfelelően sűrű szövésű szövetdarabon átvezetve különös mintázat vetíthető a falra. Ez interferenciajelenség.



Interferencia létrehozása két rés segítségével

**KÍSÉRLETEZZ!**

Figyeld meg, milyen interferenciamintázatot alakít ki az egyetlen résen vagy kettős résen áthaladó fény! A kísérletet bonyolult eszközök nélkül is elvégezheted számítógépen futtatott szimuláció segítségével. Például „Phet szimulációk" és „wave interference" kulcsszavakra keresve találhatsz ilyen szimulációkat az interneten. Vizsgáld meg, hogyan függ az interferencia-kép a rés(ek) méretétől!

**KÍSÉRLETEZZ!**

Csendes tó felszínén két, egymástól néhány méterre lévő labdával hullámokat hozunk létre olyan módon, hogy a labdákat pontosan ugyanolyan periódusidővel, lényegében egyszerre mozgatjuk. A tó felszínén az alábbi hullámkép alakul ki:

Hogyan hívják ezt a jelenséget? Mivel magyarázod a sötétebb, nyugodt sávok, illetve az erősen hullámzó tartományok kialakulását? Próbáld megismételni a kísérletet!

## Interferencia lézerfénnyel

A fehér fényt két, elegendően kisméretű, egymáshoz megfelelően közel kialakított résen átvezetve a rések mögött elhelyezkedő ernyőn sötét és világos tartományok váltakozását figyelhetjük meg. A látvány valójában interferencia-kép. Az ugyanabba a fényhullámba helyezett két rés két együtt rezgő fényforrásként viselkedik, a belőlük kiinduló fényhullámok találkozása az ernyő egyes részein tartósan erős hullámzást – világos foltot, más részein tartósan gyenge hullámzást – sötét foltot hoz létre.

A fehér fény segítségével viszonylag körülményes interferencia képet létrehozni, erre sokkal alkalmasabb a lézer. A lézerfény monokromatikus, azaz csak egy jól meghatározott frekvenciájú fényt tartalmaz, így az interferencia révén nem alakulnak ki színes foltok. Másrészt, a lézerek a fényforrás kialakítása miatt csak alig

Interferencia fehér fénnyel és vízhullámokkal, az összehasonlíthatóság miatt a fény segítségével kapott interferenciakép nem méretarányos

széttartó fénysugarat bocsátanak ki, olyat, ami könnyen idéz elő interferenciát. Lézerfényt gázlézerekkel és félvezető anyagokkal, diódákkal is létre lehet hozni.

## Hologramok

Tegyük fel, hogy az *A* pont és a *B* pont pontosan ugyanolyan fényhullámokat bocsát ki. Nemcsak a kibocsátott hullámok frekvenciája, de fázisa is azonos, mintha a hullámokat keltő hullámforrások teljesen szinkronban, együtt rezegnének. Ha a *P* pont egyenlő távol van *A*-tól és *B*-től, a találkozó fényhullámok erősítik egymást, hullámhegy hullámheggyel, hullámvölgy hullámvölggyel találkozik, az eredmény erősebb hullámzás, a *P* pont fényes.

Ha viszont az *A* pont éppen egy fél hullámhossznyival a *B* pont mögött van, az *A*-ból érkező hullámoknak hosszabb utat kell megtenniük a *P* ponthoz. Ekkor hullámhegyek és hullámvölgyek találkoznak. Az eredmény gyengébb hullámzás, az is lehet, hogy a hullámhegyek és -völgyek éppen kioltják egymást. Ilyenkor a *P* pont sötét, noha két fényforrás is megvilágítja!

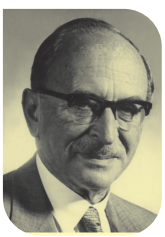
A *P* pont fényereje tehát attól függ, hogyan helyezkedik el a két együtt rezgő forrás a térben. Ez alapján lehet az interferenciára képes lézerfénnyel térbeli fényképeket készíteni.

A hologram készítése során a lézerfényt két nyalábra választják szét. Az egyik nyalábot közvetlenül vetítik rá a fényérzékeny lemezre, a másik nyalábot előbb a tárgyra irányítják, majd onnan vetül rá a fényérzékeny lemezre, ahol a két nyaláb találkozik, és interferencia-mintázatot hoz létre. Ez a mintázat rögzül a lemezen.

A 3 dimenziós kép megjelenítéséhez a filmet csak a közvetlenül érkező nyalábbal kell megvilágítani. Megfelelő irányból nézve a filmen áthaladó fényt, a tárgy térbeli képe jelenik meg.

A háromdimenziós vetített hologramot akár körbe is lehet ülni

### Hallottál róla?



Gábor Dénes (1900–1979)

A holográfiát Gábor Dénes, magyar származású fizikus találta fel 1947-ben. A módszer a lézerek kifejlesztése után terjedt el. A sokoldalú tudós és mérnök 1971-ben ezért a felfedezéséért kapott Nobel-díjat.

### EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Ki alkotta meg a holográfiát?
2. Milyen fényforrást használva, hogyan mutatnál be interferenciát? Mit kell látnod ahhoz, hogy biztos legyél benne, az interferencia valóban létrejött?
3. Milyen fizikai jelenség segítségével rögzítik a hologramok a tárgy térbeli képét?
4. A hologram nem az egyetlen módja a térbeli képek létrehozásának. Nézz utána az interneten, vagy lapozz előre a tankönyvben, milyen más módszerek vannak még?

### ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mit tapasztalnánk, ha a fehér fényt két viszonylag nagy méretű – pl. 2cm széles- résen vezetnénk át?
2. Néz utána milyen interferenciakép alakul ki, ha a lézerfény útjába egy hajszálat helyezünk.
3. Megfelelő tükör segítségével szétválasztunk egy 680 nm hullámhosszú fénysugarat, majd a két nyalábot újra egyesítjük. Az egyesítés előtt az egyik nyaláb azonban 340 nm-rel hosszabb utat tesz meg, mint a másik. Az egyesített nyalábot figyelve mit tapasztalunk? Állandóan sötét foltot látunk, állandóan világos foltot látunk, vagy sötét és világos időben követi egymást?
4. Magyarázd el, hogyan képes a hologram rögzíteni a tárgy térbeli képét!

### NE FELEDD!

**Hullámok találkozásakor – megfelelő körülmények között – interferencia alakulhat ki. Ilyenkor a hullámtérben tartósan erősen hullámzó és tartósan nyugodt tartományok (fény esetén világos és sötét területek) alakulnak ki, annak megfelelően, ahogyan a találkozó hullámok erősítik vagy gyengítik egymást. A lézerfény könnyen hoz létre interferenciát. A hologram az interferencia segítségével rögzíti a tárgy térbeli képét. A holográfia felfedezéséért Gábor Dénes magyar származású fizikus Nobel-díjat kapott.**

## Rövidlátó szemüvegével

*lehet-e napfény segítségével tüzet gyújtani?*

## Hogyan működik

*a VR-szemüveg? A virtuális valóság 3D képet vetít körénk, ami mozdulatainkat követve változik. A térbeli képek érzékelésének alapja az, hogy a bal és a jobb szem a tárgy távolságától függően egymástól kissé eltérő képet lát.*

## Hogyan lát

*a szemünk? A szemünkbe jutó fényt hogyan fogja fel az agyunk?*

# KÉPEK ÉS LÁTÁS

A fák és az ég *világosabbak a képen, mint a tükörképük. Mivel magyarázhatjuk, hogy a tükörkép sötétebb?*

# 31. | Hogyan látunk?

*„Az ófrancia vis nyomán visage, ami a latin visusból ered, ez látást vagy tekintetet jelent, és kétségtelen, hogy a látás képessége is ide van bekötve – magyarul a lélek tükre, ez azonban inkább csak szóvirág. Nem a szem a lélek tükre, hanem a mimézis. Amit néz az emlős, még nem biztos, hogy látja."*

*[Nádas Péter: Az élveboncolás gyönyörei; a vis és a visage szavak arcot jelentenek, a visus latinul látás, a mimézis görög eredetű, utánzást (mimikát) jelent]*

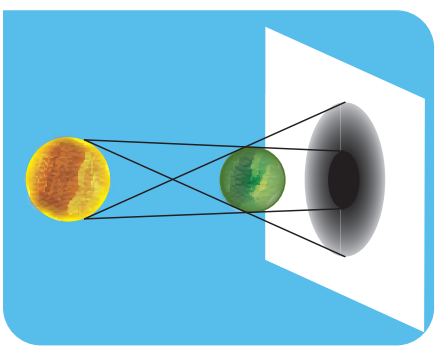
## Az árnyék kialakulása

Hétköznapi tapasztalataink azt mutatják, hogy **a fény homogén közegben egyenes vonalban terjed**. A sarok mögött közeledő autó hangját halljuk valamennyire, de látni sohasem látjuk, csak ha már kibukkant a fal mögül. Az egyenes csövön átnézve látjuk a másik végét, a meghajlított csövön át nem. Legegyszerűbben a fényforrásból induló és a terjedés irányába mutató nyilakkal tudjuk lerajzolni a fénysugarakat. A fénysugarak segítségével sok fényjelenség megmagyarázható.

**FIGYELD MEG!**

Magyarázd meg fénysugarak segítségével, miért látszik a havon a macska éles árnyéka!

A lenti képen a Nap által megvilágított felhőket látod. Miért látszanak a fénykévék?

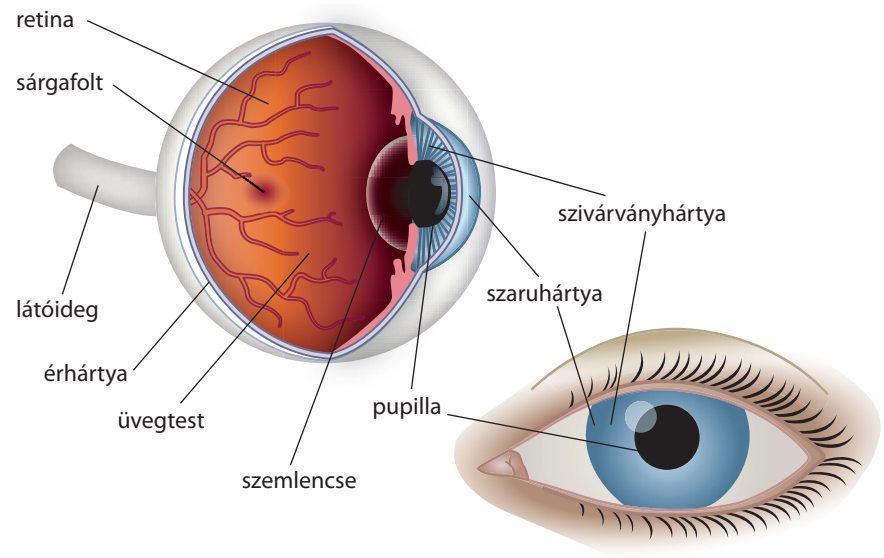


■ A félárnyék kialakulása

**A pontszerű fényforrás árnyéka éles.** A kiterjedt fényforrások, mint amilyenek például a fénycsövek, általában nem hoznak létre éles árnyékot. A teljesen megvilágított és teljesen árnyékos terület között elhelyezkedő, úgynevezett **félárnyék**ban lévő pontokat a fényforrásnak csak egy része világítja meg.

## A látás

A látás során a megfigyelt tárgyról érkező fénysugarak a szemen haladnak keresztül. **A szem** képes arra, hogy **a tárgy egy pontjából kiinduló fénysugarakat újra egy pontba gyűjtse össze**. Ebben a szemlencse játssza a főszerepet, aminek domború görbületét szemizmainkkal változtatjuk, amikor



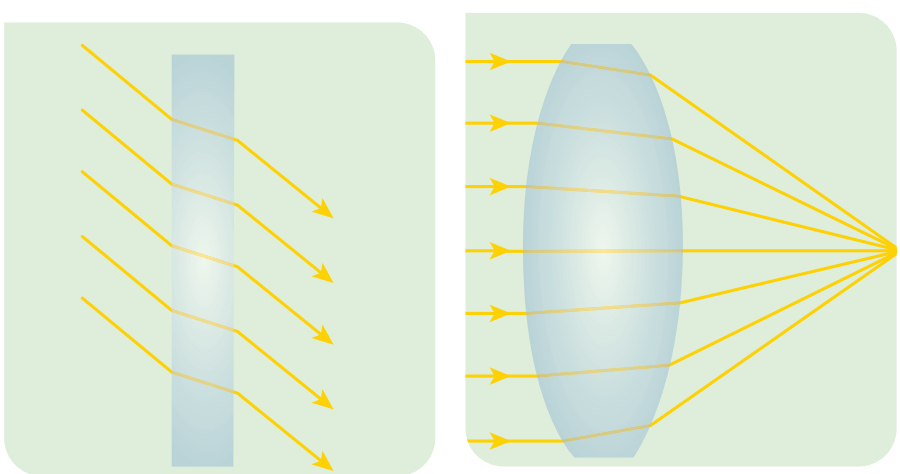

A szem felépítése

távolra, illetve közelre nézünk. A fénysugaraknak a retinán (magyarul ideghártyán) kell találkozniuk. Itt vannak azok a különleges sejtek, amelyek a fény energiája révén elektromos feszültséget állítanak elő. Az idegek az agyba vezetik az elektromos jelet. Az agy idegsejtjei révén a tudatunkkal értelmezzük és ismerjük fel a képet, szükség esetén el is raktározzuk memóriánkban. A látásról, az emberi szem működéséről biológiaórán is tanulunk.

## Hogyan gyűjti össze a szemlencse a fényt?

A levegőben a fény sebessége $3 \cdot 10^8$ m/s. A szemlencse anyagában a fény lelassul. Ha a fény olyan közegbe lép, ahol a sebessége más, mint az eredetiben, haladási iránya általában megváltozik, **a fény megtörik**. Ha a sebesség lecsökken, az új közegben a fény kissé jobban elhajlik a határfelülettől. Ha felgyorsul, akkor éppen ellenkezőleg, eredeti irányától a határfelület felé térül el kissé. Ha az új közegbe annak felületére merőlegesen lép be, változatlan irányban halad tovább. A szemlencsén való áthaladás során a fény kétszer is megtörik, és mindkétszer arra térül el eredeti irányától, amerre a lencse vastagszik.

**A szemlencse** közepe vastagabb, mint a széle, ezért a lencse összegyűjti, **fókuszálja a rá eső fényt**.



A fény áthaladása üveglemezen és domború felületekkel határolt üveglencsén

### Hogyan volt régen?

Az ókorban és a középkorban úgy gondolták, hogy a szemből indulnak ki fénysugarak, miközben nézünk valamit. Úgy érveltek, hogy azért nem látunk csukott szemmel, mert ilyenkor nem indulnak ki sugarak a szemünkből. Talán e téves elképzelés miatt hitték el, hogy lehetséges a „szemmel verés".
Régen babonás csodálattal figyelték az emberek a nap- és holdfogyatkozást, ami szintén árnyékjelenség. Napfogyatkozáskor a Föld kerül a Hold árnyékába, holdfogyatkozáskor a Hold a Földébe.

### FIGYELD MEG!

Amikor egy víz alatt lévő tárgyat nézel, lehet ez az akvárium alján egy kő, egy hal, vagy a pohár vízben hagyott teáskanál, a tárgyról érkező fény kezdetben vízben, utána levegőben halad, és a két közeg határán átlépve megtörik. Ezért nem ott látjuk a víz alatti tárgyakat, ahol azok valójában vannak, hanem a szemünkbe érkező megtört fény irányából. Oldalról nézve a vizet sekélyebbnek, a halat közelebbinek látjuk. A teáskanál pedig megtörni látszik.

A víz alól a szemünkbe érkező fénysugarak a fénytörés miatt máshol mutatják az ecset nyelét, mint ahol valójában van

## KÍSÉRLETEZZ!

A mobiltelefonok zseblámpa üzemmódját használva könnyű éles árnyékképet vetíteni a falra, mivel az alkalmazott LED általában jó közelítéssel pontszerű fényforrás. Próbáld ki! Kezed segítségével mozgó árnyfigurákat is megalkothatsz, ahhoz hasonlóan, ahogyan azt az árnyjátékokban is teszik.

## Gondold meg!

A következő gondolatkísérlet segít megjegyezni a fény viselkedését a közeghatáron. Képzelj el egy szánkót, ami a csúszós hóról, ahol a talpak jobban siklanak, szennyezett hóra vagy hómentes betoncsíkra érkezik. Ha a szánkó a határvonalat merőlegesen lépi át, nincs irányváltozás. Ha azonban ferdén csúszik át a határon, akkor az egyik talpa részben már a betoncsíkon van, amikor a másik még teljes egészében a havon. A beton megfogja a talpat, ami miatt a szánkó a felületen való átcsúszás során kissé megváltoztatja haladási irányát.

## NE FELEDD!

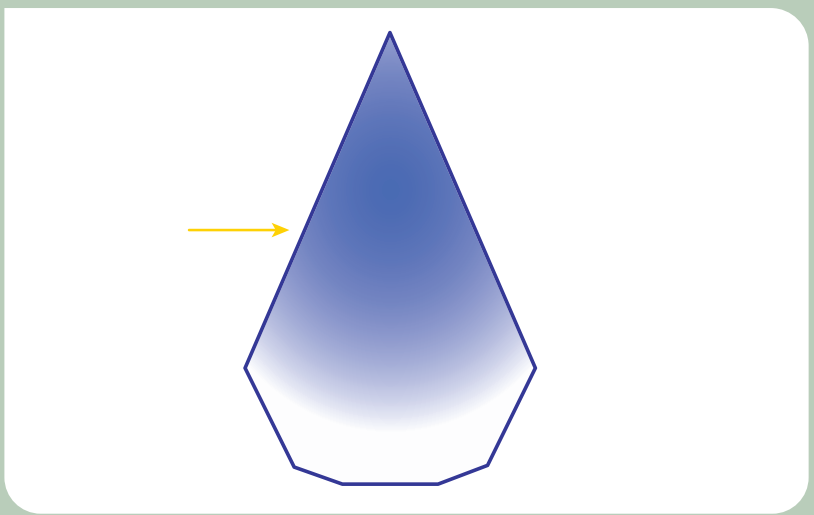
**A fény egyenes vonalban terjed.**
**A szemünk összegyűjti a tárgy egy pontjából érkező fénysugarakat, amiből a retina sejtjei elektromos jelet állítanak elő. A képet valójában az agyunk segítségével ismerjük fel.**
**Ha a fény olyan közegbe lép, amiben más a terjedési sebessége, a haladási iránya általában megváltozik, megtörik.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hogyan terjed a fény?
2. Magyarázd el, hogyan látunk! Miért szükséges a látáshoz fény, szem, idegsejtek, agy?
3. Magyarázd meg, hogyan keletkezik az árnyék és a félárnyék!
4. Mi történik a fénnyel, ha új közegbe lép?
5. Miért látszik megtörtnek a pohár vízben levő kiskanál?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Bizonyítsd be megfigyelésekkel vagy kísérlettel, hogy a fény egyenes vonalban terjed! Tervezd meg a kísérletet vagy megfigyelést, rögzítsd a tapasztalataidat és az azon alapuló érvelésedet!
2. A Nap óriási világító test, az árnyékok mégis élesek a Földön. Mit tapasztalnánk a Nap közelében elhaladó űrhajón?
3. Rajzold le a füzetedbe az alábbi briliánson (csiszolt gyémánton) áthaladó fény útját!



4. A 179. oldali alsó ábra megmutatja, hogyan halad át a fény üveglemezen és domború lencsén. Hányszor lép új közegbe a fény az áthaladás közben? Milyen szabályt követ az új közegbe való belépéskor?
5. Hogyan haladna át a fény egy homorú felületekkel határolt lencsén?
6. Van-e a gyertya lángjának árnyéka?
7. Látható-e a lézersugár? Végezzetek az osztályban megfigyeléseket!
8. Egy kisfiú azt gondolta, hogy akkor fogja jól látni a Hold krátereit, ha a teliholdat nézi meg távcsövével. A teliholdon azonban valójában nehezebben látott krátereket, mint a félholdon. Vajon mi szükséges ahhoz, hogy jól láthatóak legyenek a Hold kráterei?

# 32. | Szemünk világa

## Látáshibák

A **rövidlátó emberek** az újságot el tudják olvasni, **a közeli dolgokat jól látják**, de a távolabbi tárgyakat nem látják élesen, mivel szemlencséjük a retina előtt hozza létre azok képét. **A távollátók távolabbra jól látnak**, de az olvasáshoz szemüvegre van szükségük, mivel a közeli tárgyak képét szemük a retina mögött hozza létre. A távollátás gyakran időskorban alakul ki.

A **szemlencsénk** domború lencse, aminek **alakját a szemizmok segítségével lehet változtatni**. Az éleslátáshoz arra van szükség, hogy a szemlencse éppen a retinán gyűjtse össze a fényt. A szemlencse domborúbb, ha közelre nézünk, és laposabb, ha távolra. A távolról érkező, szinte párhuzamos fénysugarakat a laposabb szemlencse is képes összegyűjteni a retinán.

**A szemüveg segítségével javítható a látáshibák egy része**, mivel a szemüveg jól megválasztott lencséje támogatja a szemlencse működését.

## Szemüvegek

A szemüveg erősségét a dioptriája adja meg. Minél „nagyobb dioptriás" a szemüveg, annál erősebb.

**A negatív dioptria szórólencsét jelent.** A szórólencse a szélénél vastagabb, a közepénél vékonyabb, ilyen lencsékkel lehet javítani a rövidlátást. **A pozitív dioptria gyűjtőlencsét jelent**, ezekkel javítható a távollátás.

A szemüvegek lencséjét hagyományosan üvegből vagy műanyagból készítik. Ezek egyrészt átlátszó anyagok, másrészt lelassul bennük a fény, ezért megváltoztatják annak irányát, megtörik a fényt. Az üveg levegőre vonatkozó törésmutatója (az üveg anyagi minőségétől függően) 1,5 körüli érték, ami azt jelenti, hogy a fény sebessége üvegben a levegőben való sebességének (1,5 =) 3/2 része, azaz 2/3-a. A nagyobb törésmutatójú anyagok jobban megtörik a fényt.

Egy +8 dioptriás lencse nagyon erősen megtöri a fénysugarakat. Ehhez erősen domború és vastag lencsére van szükség, ha a lencse hagyományos üvegből készül. A korszerű, műanyag lencsék anyagának törésmutatója nagyobb, mint a hagyományos üvegé. Ezért, az ilyen anyagokból vékonyabb és könnyebb, akár +8 dioptriás lencsék is készíthetők.

## Különleges szemüvegek

A **bifokális lencsék** egy szóró- és egy gyűjtőlencséből (vagy két különböző dioptriájú szóró-, illetve gyűjtőlencséből) tevődnek össze. Olvasáskor is hasz-

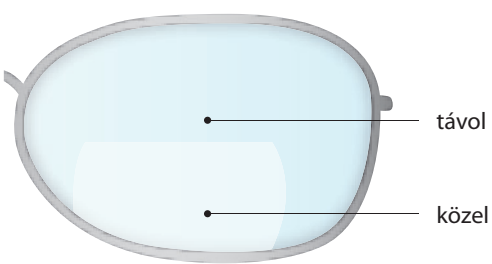
*Kevés találmány jelent annyi áldást az emberiségnek, mint a szemüveg. Ha megfigyeljük embertársainkat, minden második–harmadik ember szemüveget hord. Csak képzeljük el, hogy mennyi veszteség érné az emberi tudást és haladást a rosszul látó emberek értékes munkájának kiesése miatt! És mennyi bosszúságtól, csalódástól, keserűségtől szabadítja meg a szemüveg és a kontaktlencse azokat, akik nélküle nem látnának élesen.*

**Tőled függ!**

Ha sokáig nézel közelre, mondjuk, tanulás közben, elfáradnak a szemlencse alakját változtató izmaid. Ha messzire nézel, vagy behunyt szemmel nézel egy elképzelt messzi tárgyat, akkor pihentetni tudod a szemizmaidat.

**NE HIBÁZZ!**

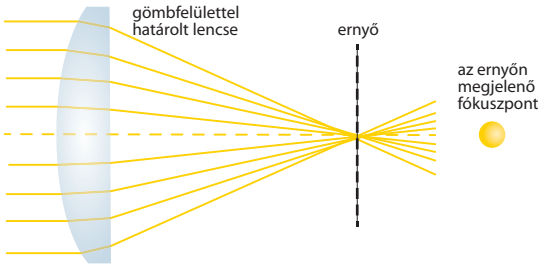
Amikor az elektromágneses hullám új közegbe ér, megváltozik a sebessége, a hullámhossza, ha nem merőlegesen érkezik, akkor a haladási iránya is, de nem változik meg a frekvenciája!

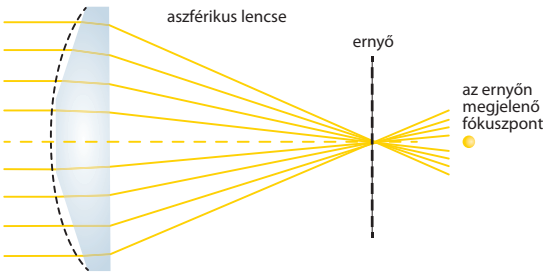



Bifokális lencse

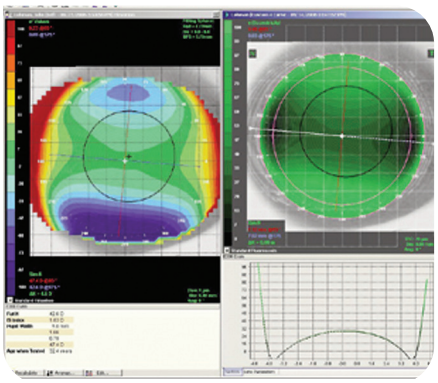
## Hallottál róla?

A hagyományos lencsék felületéről a rájuk eső fény 8%-a verődik vissza, ez a vékony lencsék esetén akár 16% is lehet. Ezért ezeket visszaverődés-gátló bevonattal készítik. Az ilyen lencsék a rájuk eső fény fél százalékát verik csak vissza, ezért tudnak jó látást biztosítani, miközben maguk szinte láthatatlanok. Kezdetben gömb és sík felületekkel határolt domború vagy homorú lencséket használtak. Később elterjedtek a pontosabb megmunkálást igénylő és a gömbfelülettől eltérő alakú (aszferikus) lencsék.

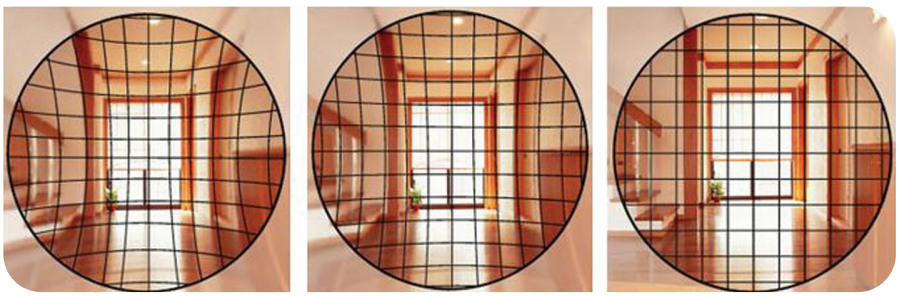



A kissé szabálytalan alakú lencse pontosabban gyűjti össze a fényt, mint a szabályos gömbfelülettel határolt



Számítógéppel vezérelt mérőrendszer



gömbfelületű lencse | aszferikus lencse | egyénre szabott lencse

A kép azt mutatja, hogy a gömbfelületekkel határolt szemüveg hogyan torzítja a képet, különösen a látótér szélén. A jól megválasztott készen kapható lencse ezen sokat javít, de az egyedileg megmunkált felületű, személyre szabott lencse képe a legjobb

## Hallottál róla?

A kontaktlencsék viselése irritálhatja a szemet. Csak a legújabb hibrid kontaktlencsék alkalmasak éjszakai viselésre, de a szemorvosok általában ezt sem javasolják.

A kontaktlencse felhelyezése

nálhatóak, és a távollátást is javítják, ha a megfelelő tartományon át nézünk. A **progresszív** (multifokális vagy varilux) lencsék esetében a rövid- és a távollátó tartomány közötti átmenet folyamatos, nem látszik zavaró törés a két lencserész között.

A **személyre szabott szemüveglencse** olyan, mint a szabó által méretre készített öltöny. A lencse alakjának kialakításakor figyelembe veszik a használt keretet és a megrendelő arcformáját.

Ennek készítése során egy számítógéppel vezérelt mérőrendszer a szembe vetített és a retináról visszaverődött vizsgáló fénysugarak elemezésével tárja fel a szem legapróbb hibáit, és a szintén számítógéppel vezérelt gép ennek megfelelően alakítja ki az egyedi formájú szemüveglencsét.

A különféle lencsékre a fizika és az anyagtudományok legújabb felfedezéseit felhasználó, fényvisszaverődést gátló, karcolódást gátló, továbbá erős fényre elsötétülő bevonatokat ajánlanak a gyártók.

### Kontaktlencsék

A kontaktlencsék láthatatlanul segítenek a szemlencsének az éles kép létrehozásában. A kemény kontaktlencsék átmérője kisebb, ezek a szaruhártyát borító könnyfilmen úsznak. A lágy kontaktlencsék rugalmasan tapadnak a szaruhártyára, és kicsivel nagyobb az átmérőjük. 2005 óta gyártják a két típus előnyeit ötvöző hibrid kontaktlencséket. Ezek közepe kemény, széle lágy műanyagból készül.

## NE FELEDD!

**A látáshibákat szemüveggel vagy kontaktlencsével lehet javítani, melyek a rajtuk áthaladó fény irányának megváltoztatásával javítják a szem működését. A szemüvegek készítése során csak kezdetben használtak gömbfelülettel határolt lencséket, később ezeket felváltották a finomabban megmunkált aszferikus, bifokális és progresszív (multifokális) lencsék. A pozitív dioptriás (pluszos) szemüveglencse gyűjti, a negatív dioptriás (mínuszos) szórja a fényt, minél nagyobb a dioptria, annál jobban.**

## SZÁMOLJUK KI!

A napsugár eléri a tó felszínét. A levegőben $C_{\text{levegő}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ nagyságú sebességgel halad, a tó vízének a levegőre vonatkozó törésmutatója $n = 1{,}3$. Milyen sebességgel halad a fény a tó vízében?

*Megoldás:*
A két közegbeli fénysebesség hányadosát nevezzük törésmutatónak. E miatt:

$n = \frac{c_{\text{levegő}}}{c_{\text{víz}}}$,

Ebből: $c_{\text{víz}} = \frac{c_{\text{levegő}}}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1{,}3} = 2{,}3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

A törésmutató ebben az esetben 1-nél nagyobb, a fény sebessége az új közegben lecsökken, az új közegbe való belépés során a fény eredeti irányától az új közeg felé térül el.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hogyan lehet javítani a látáshibákat?
2. Milyen lencséket használnak a szemüvegkészítés során?
3. Hogyan készül a személyre szabott szemüveglencse?
4. Sorold fel a kontaktlencsék típusait és jellemzőiket!
5. Milyen különleges megoldásokat alkalmaznak a korszerű szemüvegek elkészítése során?
6. Az interneten található adatok alapján döntsd el, hogy az üvegnek a vízre vonatkozó törésmutatója egynél kisebb, vagy egynél nagyobb szám-e?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hogyan változik a szemlencse alakja, ha egy mellettünk elhaladó motorost követünk tekintetünkkel?
2. Milyen dioptriás szemüvegre lehet szüksége egy erősen távollátó embernek?
3. Milyen látáshibája lehet annak az embernek, akinek –2 dioptriájú a szemüveglencséje?
4. Egy trópusi építkezésen dolgozó ács erősen távollátó, és szeme könnyezik a napfényben. Milyen szemüveglencsét javasolsz neki? Miért? Hordjon-e kontaktlencsét?
5. Egy különleges üveg levegőre vonatkozó törésmutatója 1,7. Mekkora ebben az üvegben a fény terjedési sebessége?
6. Szerinted lehet-e a törésmutató egynél kisebb szám? Indokold meg a véleményedet!
7. Miért fájdulhat meg a fejünk attól, ha nem látunk jól?

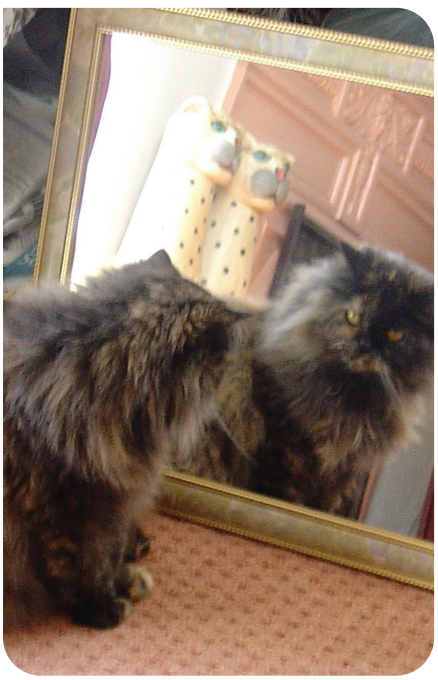
## Hallottál róla?

A szem képalkotásában nemcsak a szemlencse vesz részt, hanem a szaruhártya, a csarnokvíz és az üvegtest is, mert ezeknek mind különböző a törésmutatója. A leképezésben a legerősebb szerepet a szaruhártya játssza, mert ennek a legnagyobb a törésmutatója. Lézeres szemműtétek esetén a szaruhártya vastagságát helyileg kismértékben megváltoztatják, így a szaruhártya felülete olyan alakú lesz, ami megjavítja a látásélességet. A módszerrel nagyjából ±5 dioptriás korrekció érhető el.

A módszer előnye, hogy akár 125%-os látásélesség is elérhető, ami jobb, mint a normál, átlagos éleslátás. Hátránya, hogy a kezelés kezdetén a szaruhártyát védő hámréteget vagy ledörzsölik, vagy szintén lézeres módon bemetszést hajtanak végre, lebenyt képeznek, amit felhajtanak, hogy alatta elvégezhető legyen a szaruhártya nem regenerálódó rétegének alakkorrekciója. A ledörzsölt hámréteg néhány nap alatt nő vissza, miközben a páciens fájdalmat érez, és fertőzésveszélynek van kitéve. A felhajtott lebeny visszahajtva soha nem nő vissza, hanem csak rátapad a szaruhártyára, és a lebeny elmozdulásának veszélye a páciens élete végéig fennáll. Ez az eljárás viszont fájdalommentes.

# 33. | Ablaküvegek és tükrök

*Az utazókiállítások és vidámparkok gyakori attrakciója a tükörszoba. Ha belenézünk a különböző tükrökbe, hol kövérnek, hol sovány nak látjuk magunkat. Néha pedig szinte megzavarodunk a sok élethű tükörképtől, és nehezen találjuk meg a szobából kivezető utat.*



A tükör mögött a tükör előtt álló dolog látszólagos képe tűnik fel

## Gondold meg!

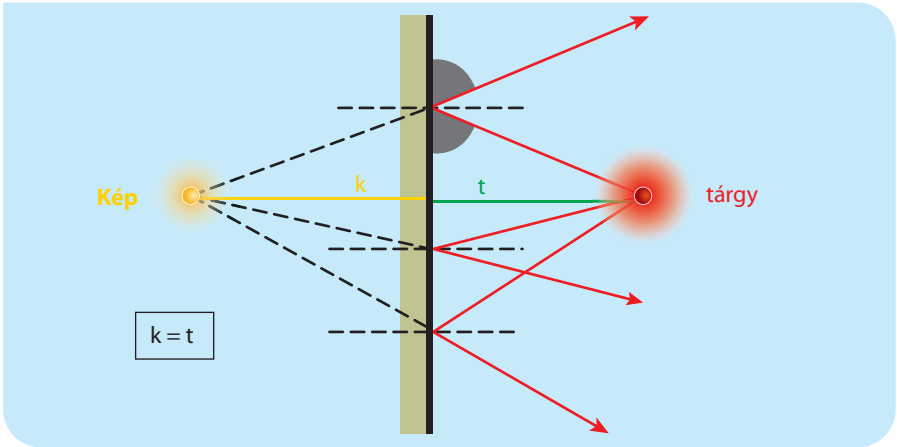
A látszólagos képet szemünkkel közvetlenül látjuk, a valódi képet sok esetben csak akkor, ha a fénysugarak találkozási helyére vásznat vagy valamilyen sima felületű papírt, az optikai kísérletekben gyakran ernyőnek nevezett eszközt teszünk.

### Hogyan alkot képet a tükör?

Ha a tükör felülete sík, akkor saját magunk élethű képét látjuk benne, egy apró különbséggel. Tükörképünk velünk szembe néz, de a jobb és a bal kezünk helyzete nem cserélődik fel benne úgy, mintha valóban megfordulnánk.

A tükörkép kialakulásának két feltétele van. Az első, hogy a tükör felületének legyen jó a fényvisszaverő képessége. A jó fényvisszaverő anyagok általában a fémek. Ennek oka a fémek belső felépítése. A fémekben a szabályos kristályrácsba rendeződött atommagok és szorosan hozzájuk kapcsolódó elektronjaik mellett úgynevezett szabad vagy delokalizált elektronok is vannak, amelyek az atommagot elhagyva könnyen elmozdulhatnak az egész kristályon belül. Ezek hamar mozgásba jönnek a beérkező fény hatására, és visszasugározzák a fényhullámokat.

A másik feltétel, hogy a felület legyen nagyon sima. A göröngyös felületről a fény szabálytalanul verődik vissza, az ilyen felületű falat vagy papírt megvilágítva azon csak világos és sötét foltok látszanak. A **sima felületről a fény szabályosan verődik vissza**. Ekkor jelenik meg a tükör mögött a tükör előtt álló ember vagy bármilyen tárgy képe. A kép látszólagos, a tükör mögött valójában semmi nincs, de a szabályos visszaverődés miatt úgy látszik, mintha a fénysugarak a tükörképből jönnének.




A szabályos visszaverődés során a szürkével satírozott szögek egyenlők

A szabályos visszaverődés azt jelenti, hogy a fény ugyanolyan szögben hagyja el a felületet, ahogyan elérte. Így pattan a rugalmas labda is az ütőről vagy a falról tovább.

A képen látható, hogy a tárgy egy adott pontjából induló fénysugarak a szabályos visszaverődés után úgy haladnak tovább, mintha egy, a tükör mögötti pontból indultak volna ki, ami ugyanolyan távolságra van a tükör mögött, mint amilyen távol a tárgy a tükör előtt van. Azt mondjuk, hogy **a kép látszólagos**, mert a széttartó sugarak olyanok, mintha a képpontból indulnának.

A mozivásznon megjelenő képet nem tükör, hanem átlátszó lencse segítségével hozzák létre úgy, hogy a tárgy egy pontjából kiinduló fénysugarak valóban találkoznak a vásznon. Ilyenkor mondjuk azt, hogy **a kép valódi**.

## Tükörképek a környezetünkben

A természetben a nyugodt vízfelszín szolgál tükörként, megfelelő megvilágításban és jól megválasztott irányból nézve csodálatos tükörképek jönnek létre. Érdemes megfigyelni, hogy a vízben látszó tükörkép sötétebb, mint a valódi tárgy (a hegyek, a fák, az ég). Ennek oka, hogy **a visszaverődés során a felületre eső fény egy része megtörik, és a vízbe belépve elnyelődik**.

Tükörkép a tavon

## Hallottál róla?

A szirénázó autók elejére gyakran a rendőrség vagy tűzoltóság felirat tükörképe van felfestve, ami közvetlenül nehezen olvasható. A visszapillantó tükörben azonban a gépjárművezető jól látja.

A domború tükörben a környezet nagyobb része látszik, mint a síktükörben. Ezért használunk domború visszapillantó tükröket is. A nehezen belátható kereszteződésben elhelyezett segédtükör szintén domború.

Nehezen belátható útkereszteződésben elhelyezett domború tükör

### A homorú tükör

A homorú tükör felnagyítja a hozzá elegendően közel lévő tárgyakat. Amikor borotválkozó tükörként vagy kozmetikai tükörként használják akkor a cél az arc felnagyítása, a fogorvos pedig a beteg fogai látja vele jobban.

A fürdőszobában használt homorú tükör

## FIGYELD MEG!

Kanál domború és homorú oldala által létrehozott képek

A szépen megtisztított evőkanál domború és homorú tükörként is működik. A háztartásban főleg a rozsdamentes acélból készült eszközökben figyelhetsz meg általában torz tükörképeket.

## NE FELEDD!

**A fémek a rájuk eső fény nagy részét visszaverik. Sima felületekről a fény szabályosan verődik vissza, ez történik a tükrök esetében, amelyek lelke az általában üveg vagy műanyag hordozóra felvitt vékony, nagyon sima fémréteg. Az átlátszó anyagok, mint például az üveg vagy a tiszta víz, a rájuk eső fény egy részét visszaverik, a többit átengedik (miközben valamennyit el is nyelnek belőle).**

Az első tükröket úgy készítették, hogy egy fémlemez vagy egy megfelelő kődarab felületét egészen simára csiszolták, polírozták. A mai tükrök sorozatgyártásakor egy jól megmunkálható szilárd alapra – ez általában üveg – vékony fémréteget visznek fel. Régen higanyt használtak, ma inkább alumíniumot, ezüstöt. Ha a fémréteg a homlokfelületen van (például az autók reflektorában), akkor a tükröző fémréteget átlátszó, karcolásálló rétegekkel vonják be. Közönséges tükrök esetén a tükröző réteg az üveglap hátoldalára kerül, amit hátulról védőfestékkel vonnak be.

### Átlátszó anyagok

A fény jelentős része általában visszaverődik a szilárd anyagokról, illetve hamar elnyelődik bennük. Különlegességnek számítanak az **átlátszó anyagok**, ezekben haladva **a fény erőssége alig csökken**.

Az átlátszóság oka az anyag felépítésében, szerkezetében rejlik.

Az üveg és egyes műanyagok mellett átlátszó a tiszta víz is. Ha homokszemek lebegnek benne, vagy szennyezett, akkor ezekről a fény visszaverődik, illetve a szennyeződéseken elnyelődik. Ezért látható a meder a kavicsos folyóparton, míg a homokos parton nem.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hogyan viselkedik a rá eső fénnyel szemben az üveg és a fémből készült tárgy?
2. Hogyan készülnek a tükrök?
3. Mire használják a domború tükröket?
4. Milyen felületről verődik vissza szabályosan a fény?
5. Hasonlítsd össze a fény szabályos és szabálytalan visszaverődését!
6. Magyarázd meg, mi az oka annak, hogy este a megvilágított szobából nem látunk ki az ablaküvegen, azonban kívülről jól belátunk a szobába!

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Rajzolj egy ábrát, ami a fénysugarak szabályos visszaverődését mutatja be! Jelöld az egyenlő szögeket!
2. Az üveg nemcsak átlátszóság szempontjából, hanem az atomok elrendeződését megvizsgálva is jobban hasonlít a vízre, mint a fémekre. Miért?
3. Mikor jön létre valódi kép, és hogyan tehető láthatóvá?
4. Mikor jön létre látszólagos kép, és látható-e?
5. Hogyan alakul ki kép a tárgy pontjaiból induló fény törése, illetve visszaverődése során?
6. Nézz utána, hogyan készül a golyóálló üveg! Mitől különleges?
7. Hány fénysugár indul ki a megvilágított tárgy egy pontjából?
8. Nézd meg alaposan a jobb oldali képet! Hol látsz benne olyan fényjelenséget, amit ebben a leckében tanultál?

# 34. | Hogyan működik? A nagyítótól a távcsőig

Környezetünkben számos optikai eszközt használunk. Ezek működése a fény visszaverődésének és törésének a fizikai kutatások során megismert törvényszerűségein alapszik. Egy optikai eszköz akkor alkot képet, ha a tárgy egy pontjából kiinduló fénysugarakat újra egy pontban egyesíti, vagy úgy téríti el, mintha azok egy pontból indultak volna ki. Egyszerűbb esetekben az úgynevezett nevezetes sugármenetek segítségével szerkesztéssel is megállapítható, hogy milyen képet alkot egy gömbfelületekkel határolt lencse, vagy tükör.

*„A holland Jansen éppen 1600-ban állította elő az első messzelátót. A messzelátó és testvére, a mikroszkóp egyszerre nyitották meg az ember előtt a kicsinyt és a nagyot. Az esőcseppben élőlények ezrei nyüzsögtek – s a látható csillagokon túl milliói új csillagoknak."*

*(Németh László: Négy Könyv)*

## A nagyító

A nagyítólencse segítségével a kisebb tárgyakat nagyobb méretben és részletgazdagabban láthatjuk, mint szabad szemmel. A nagyítólencse a szemlencséhez hasonló domború lencse.

**KÍSÉRLETEZZ!**

Tegyél szert valahonnan egy domború lencsére vagy domború üvegdarabra. Próbáld vele egy pontba gyűjteni a Nap fényét. Vigyázz, mert ha sikerül, akkor a fókuszpontban vagy gyújtópontban olyan meleg lehet, hogy az oda helyezett száraz papír, szalma füstölhet, vagy akár fel is lángolhat! A napsugarak összegyűjtése megfelelően irányított tükrökkel is lehetséges.

A napfény fókuszálása nagyítólencsével

## Gondold meg!

A tóparton megfelelően elhelyezkedve a közvetlen rád eső napfényt és a tó felszíne által visszavert napfényt is élvezheted, különösen az északi parton. Ha van betonjárda, annak a közelében még melegebb van, a beton jó hatásfokkal alakítja a napfényt hősugárzássá.

## Hallottál róla?

A hegyekben a havon sílelve is le lehet barnulni, mert a vékonyabb légréteg miatt erősebb az ultraibolya (UV) sugárzás, valamint a hó is visszaveri a fényt. Ezért kell a sízőknek UV-szemüveget viselniük, egyébként „hóvakságot" kaphatnak.

A naphőerőművekben a tükrökkel fókuszált napfény segítségével nyert hőt alakítják elektromos energiává. A nagy területen elhelyezett tükrök kis területre gyűjtik össze, vagyis fókuszálják a fényt. A fókuszpontban elhelyezett tartályban gőzt fejlesztenek, amivel gőzturbinát hajtanak meg. Ez működteti az áramfejlesztő generátort a többi gőzturbinával működő elektromos erőműhöz hasonlóan.

Naperőmű Franciaországban

**FIGYELD MEG!**

Érdemes nagyítóval megnézned az élelmiszerek változatos felszínét, a só, vagy cukorkristályokat, a szövetdarabokat, a növények levelét.

Eső után a leveleken ülő vízcseppek is működhetnek nagyítóként.

A fókusztávolság adja meg, hogy milyen messze van a gyújtópont a lencsétől. **Ha domború lencsén át nézed a kis méretű tárgyat, ami közelebb van a lencséhez, mint a fókuszpont, akkor a lencse mögött látod annak nagyított képét.** A kép annál jobb, minél finomabban munkálták meg a lencsét. A tárgy fókuszhoz való közelítésével növelhető a nagyítás, egyszersmind a nagyított kép egyre kisebb részletét tudod megfigyelni, azonban egyre torzítottabban.

## Hallottál róla?

A gyógyszertárakban árulnak egy egyszerű eszközt, ami a nyálban található kristályok alakjának megfigyelése révén a fogamzóképesség vizsgálatára alkalmas. Az egyik műanyag lapon elhelyezett átlátszó lemezre szorított mintát a nagyon erősen domború, apró lencsén keresztül kell nézni, ami a másik műanyag lapon található.

A minta és a lencse megfelelő – a lencse fókusztávolságánál kicsit kisebb – távolságát a két műanyag lap enyhe ütköztetése (a beépített távtartók segítségével) biztosítja.

## A mikroszkóp

A mikroszkópok általában két egyszerű vagy összetett lencsét tartalmaznak. A tárgylencse vagy más néven objektív a vizsgált és megfelelő fénnyel átvilágított vékony metszet (vagy felülről megvilágított felület) közelében van. A tárgylencse által létrehozott valódi képet nagyítja fel a szemlencse vagy idegen szóval okulár. A boltban vásárolható olcsóbb mikroszkópok nagyítása, azaz a kép és a tárgy méretének a hányadosa 100–1200-szoros. Nagyobb nagyítás esetén a kép egyre fényszegényebb, gyakran már nem jelennek meg új részletek a kisebb nagyításokhoz képest. Felerősödik viszont minden mozgás, például az asztal remegése.

## Távcsövek

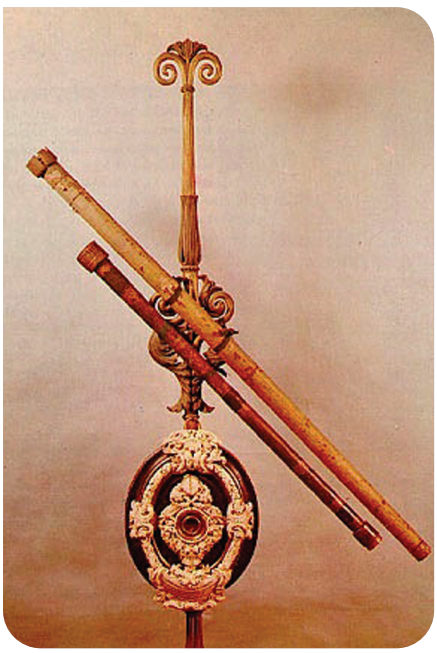
**A mikroszkópok a közeli, a távcsövek a nagyon távoli tárgyak nagyítására valók.**

Galilei távcsövében a fényt egy nagyobb átmérőjű és nagyobb fókusztávolságú lencse, az objektív gyűjtötte össze. Minél nagyobb az objektív átmérője, annál több fényt tud összegyűjteni, annál halványabb csillagokat lehet észrevenni, és annál részletgazdagabb képet alkot a távcső. Az objektív által begyűjtött sugarakat megfelelő, kis fókusztávolságú szórólencsével, az okulárral nézve a nagyon messzi tárgyak nagyított képe jelenik meg a távcsőben.

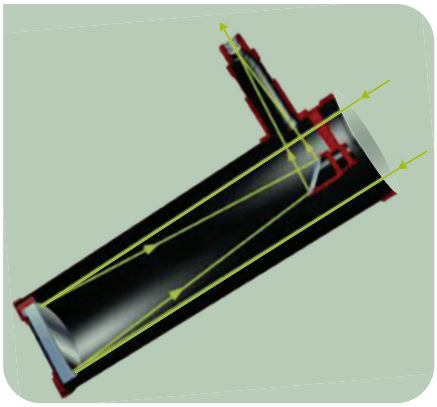
A szórólencsének nincs gyújtópontja, mivel a rajta áthaladó párhuzamos fénynyalábot nem összegyűjti, mint a domború lencse, hanem széttartóvá teszi. A széttartó nyaláb azonban olyan, mintha egy pontból indult volna ki. Ezt a pontot nevezik a szórólencse látszólagos fókuszpontjának. Távolsága a lencsétől a fókusztávolság, amit az optikai számításokban negatív előjellel kell figyelembe venni.

Galilei távcsöve földi megfigyelésekre is alkalmas, mivel valódi helyzetükben mutatja a tárgyakat.

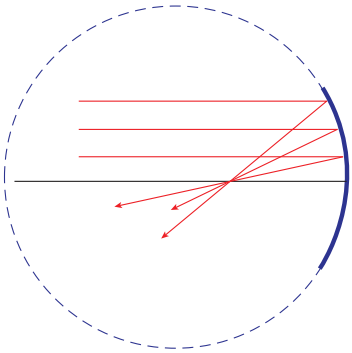
Az úgynevezett Newton-rendszerű távcsövekben homorú tükörrel gyűjtik össze a távoli tárgyról csaknem párhuzamosan érkező fénysugarakat,



Galilei távcsöve, az úgynevezett hollandi távcső. 1609-ben Galileo Galilei ezzel a távcsővel fedezte fel a Hold krátereit, a Jupiter holdjait és a Vénusz fázisait



Newton-rendszerű távcső, a Newton-reflektor

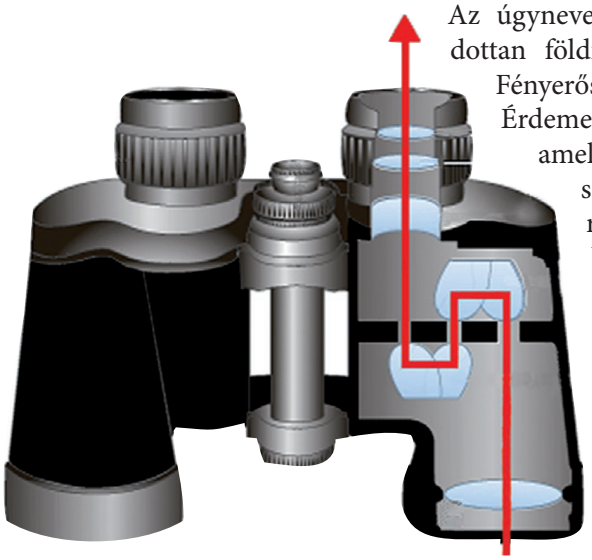


Az objektív helyett alkalmazott parabola alakú vagy homorú gömbtükör egy pontba gyűjti a fénysugarakat.

a fénykúpot sík segédtükörrel vetítik oldalra, és domború okulárlencsével nézik a képet.

Az ilyen távcsőbe oldalról kell belenézni, és a földi tárgyak fejjel lefelé látszanak benne! A csillagászati megfigyeléseket ez kevésbé befolyásolja, de a földi tárgyak megfigyelésekor zavaró.

A homorú tükröt az egy pontból kiinduló fénysugarak párhuzamosítására is lehet használni, kihasználva azt, hogy a fénysugarak útja megfordítható. Sok fényforrást terveznek ennek alapján (autóreflektor, spotlámpa).



Binokulár

Az úgynevezett binokulárokat kimondottan földi megfigyelésekre tervezik. Fényerősek, térbeli képet adnak. Érdemes jobb minőségűt vásárolni, amelyen az objektív nagyobb a szemnél, ekkor fényerős és részletgazdag lesz a távcsőben a kép.

A jó minőségű optikai eszközök általában összetett lencséket tartalmaznak. Az eszköz akkor működik jól, ha a lencsék és tükrök pontosan a helyükön vannak, és a hőtágulás során sem keletkeznek káros feszültségek és elmozdulások. Az egyszerű lencsék nem adnak elegendően éles képet, másrészt gyakran színes árnyékképek is megjelennek az eredeti kép körül.

## A fényképezés alapelve

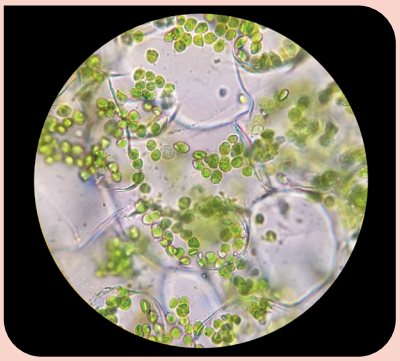
A fényképezőgép legfontosabb eleme az optika. Ez – a legegyszerűbb esetben egyetlen domború lencse – vetíti a fénylő tárgy fordított állású kicsinyített képét a lencsétől nagyjából fókusztávolságra elhelyezett fényérzékeny bevonatú filmre.

### Gondold meg!

Szabad szemmel is veszélyes, de távcsővel azonnali súlyos szemkárosodást okoz a Nap megfigyelése. Az okulár megfelelő elmozdításával a Nap képe fehér lapra kivetíthető, az azon megjelenő képet oldalról biztonságosan lehet szemlélni.

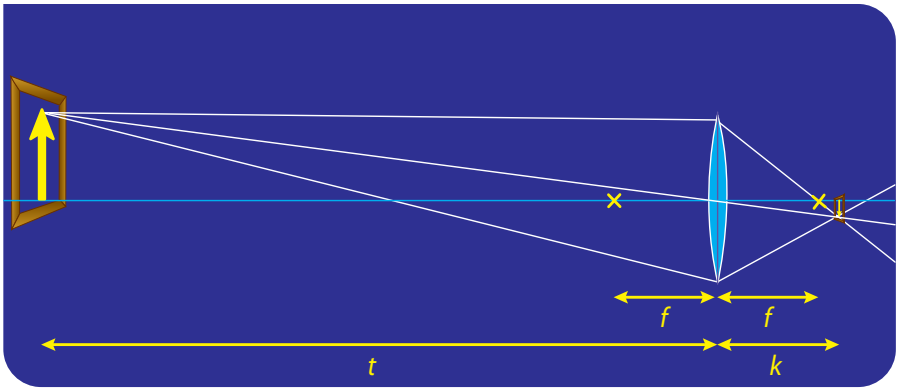
### KÍSÉRLETEZZ!

Digitális fényképezőgéppel egyszerűen befotózhatsz a szemlencsébe, és megörökítheted a mikroszkóp által alkotott képet.



Halogén izzóval és LED-ekkel működő akkumulátoros kézi reflektor. Jól látszik a fénynyalábot előállító tükör

Nagyító




A fényképezőgép működési elve

Ha ki akarod számolni, hogy hol keletkezik a lencse által alkotott kép, használhatod az alábbi (a valóságot jól megközelítő) összefüggést:

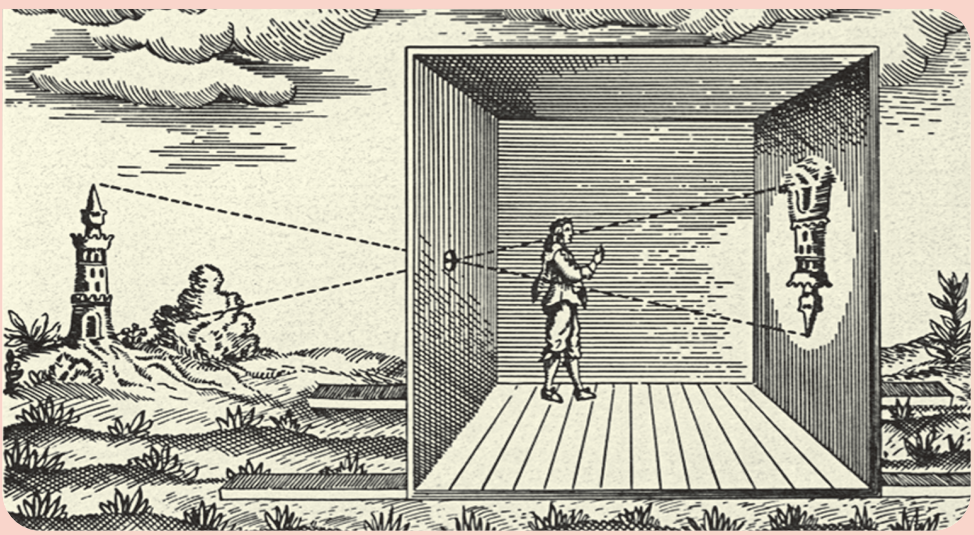
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{k} + \frac{1}{t},$$

ahol *f* a lencse fókusztávolsága, *k* a kép, *t* pedig a tárgy lencsétől mért távolsága. A képletet nézve láthatod, hogy ha a tárgy nagyon messze van a lencsétől, azaz *t* nagy, akkor $\frac{1}{t}$ kicsi, tehát $\frac{1}{f}$ nagyjából egyenlő lesz $\frac{1}{k}$-val, azaz a képtávolság nagyjából egyenlő lesz a fókusztávolsággal.

## NÉZZ UTÁNA!

Lehet lencse nélküli „fényképezőgépet" is készíteni. A lencse egy apró lyukkal helyettesíthető. Az eszköz neve camera obscura, magyarul lyukkamera (vagy szó szerint: sötétkamra). A kép egy ilyen korai eszközt ábrázol.

Kartondoboz és pausz- vagy sütőpapír segítségével készítsd el az eszköz kézi változatát! Kísérletezd ki, hogy mekkora lyuk ad jó képet!



Szobányi méretű lyukkamera egy régi metszeten

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hogyan kell használni a nagyítólencsét?
2. Hogyan működik a mikroszkóp?
3. Hogyan épül fel a csillagászati távcső?
4. Válaszd ki, hogy a leckében tanultak közül melyik távcsővel érdemes a természetben megfigyelni az állatokat!
5. Hogyan lehet lencsevégre kapni a szabad szemmel láthatatlan sejteket?
6. Miben hasonlít és miben különbözik a szem és a fényképezőgép működése?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Azt tanácsolják neked, hogy ha távcsövet vagy nagyítót használsz, a lehető legnagyobb nagyítás helyett érdemes azt a beállítást használni, ami éppen megmutatja a képen látható, az eszköz által felnagyított részleteket. Megfogadod a tanácsot? Gyűjts érveket ellene, mellette, és beszéljétek meg az órán!
2. Az optikai eszközök működését sok számítógépes szimuláció segítségével tanulmányozhatod. Válassz egy megfelelő szimulációt, és vizsgáld meg, milyen képet alkot az egyszerű lencse vagy tükör, ha a tárgy egyre közelebb kerül hozzá! Figyeld meg a kép nagyságát, állását és azt, hogy valódi vagy látszólagos a kép! Tapasztalataidat rögzítsd egy átlátható táblázatban!
3. Egy nagyítóban 1,5 cm-esnek látszik a valójában 2 mm-es hangyatojás. Mekkora a nagyítás?
4. Egy 5 dioptriás szemüveglencsével szeretnél minél nagyobb képet alkotni egy fűszálról. A fűszáltól nagyjából milyen távolságra kell elhelyezni a lencsét? Nézz utána, mit jelent a dioptria!
5. Egy optikai eszköz tárgylencséje a távoli tárgyat egytizedére kicsinyítve képezi le a fókuszsíkba. Ezt a képet nagyítja 84-szeresére a szemlencse. Mekkora az eszköz nagyítása? Az ilyen esetekben úgynevezett szögnagyításról beszélünk. Nézz utána, hogy mit jelent a szögnagyítás!
6. Előfordulhat-e, hogy a domború üveglencse nem összegyűjti a rajta áthaladó, kezdetben párhuzamos fénynyalábot, hanem szétszórja?
7. Egy 5 cm fókusztávolságú gyűjtőlencsétől 20 cm-re helyezkedik el a tárgy. Hova kell elhelyezni az ernyőt, ha látni szeretnénk a lencse által alkotott képet?

## NE FELEDD!

**A nagyítólencse használatakor a megfigyelt tárgyat a fókuszpont közelében kell elhelyezni.**

**A mikroszkópokban a tárgylencse által alkotott képet a szemlencsén keresztül lehet megfigyelni.**

**A távcsövekben a nagy fókusztávolságú objektív gyűjti össze a fénysugarakat, a képet a szemlencsével mint nagyítóval nézzük.**

**A fényképezőgépekben általában a szemhez hasonlóan gyűjtőlencse vetíti a távoli tárgy valódi, kicsinyített képét a fényérzékeny filmre illetve fényérzékelő szenzorra.**

# 35. | A színek

*„És akarok még sok másszínű tintát,*
*bronzot, ezüstöt, zöldet, aranyat,*
*és kellene még sok száz és ezer,*
*és kellene még aztán millió:*
*tréfás-lila, bor-színű, néma-szürke,*
*szemérmetes, szerelmes, rikító,*
*és kellene szomorú-viola*
*és téglabarna és kék is, de halvány,*
*akár a színes kapuablak árnya*
*augusztusi délkor a kapualján."*

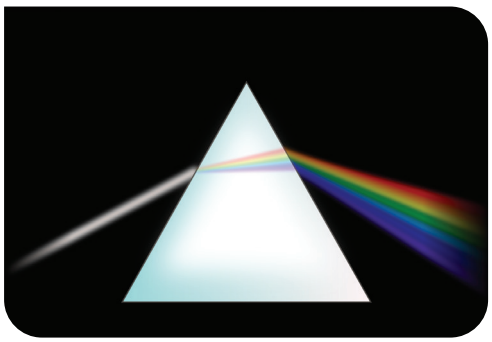
*(Kosztolányi Dezső:*
*Mostan színes tintákról álmodom,*
*részlet)*

A fehér fényt prizmán átvezetve hasonló színes csíkokat lehet létrehozni, mint CD-lemez segítségével. **A fehér fény színekre bomlik, akárcsak a szivárvány kialakulása során. Sorrendben vörös, narancs, sárga, zöld, kék, ibolyaszínű csíkok követik egymást.** A csíkok nem különülnek el élesen, folytonos átmenetben követik egymást. Érdekességként jegyezzük meg, hogy magyarul az előbb említett hat színt szoktuk megkülönböztetni, de például angolul a szivárvány hét színből áll (red-orange-yellow-green-blue-indigo-violet). Az egyes színek fénye tovább már nem bontható, úgynevezett homogén fény. A prizmával felbontott, különböző színű fénysugarak újbóli egyesítése révén ismét fehér fényt kapunk.

A jelenség magyarázata: A fehér fény összetett fény, sok különböző frekvenciájú fényhullám halad benne, melyeket más és más színűnek látunk. Például, a levegőben 550 nm hullámhosszú fény frekvenciája nagyjából $5{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz és ez a zöld szín tartományába esik, a 670 nm hullámhosszú fény frekvenciája $4{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz, ami a vörös szín tartományába esik. A prizmán való áthaladásuk után kicsit más irányba haladnak tovább. Mivel a vörös fény valamivel gyorsabban halad a prizma üvegében, kevésbé térül el eredeti irányától, mint a zöld vagy a kék.

A szemünkben a szemlencse által összegyűjtött fény a retinára vetül. Itt különleges sejtek, receptorok helyezkednek el, amelyek a fényt elektromos jelekké alakítják.

Kicsit egyszerűsítve az ember által látott szín attól függ, hogy a retinára vetülő fény mekkora feszültséget hoz létre a vörös, kék, zöld színekre érzékeny receptorokban.

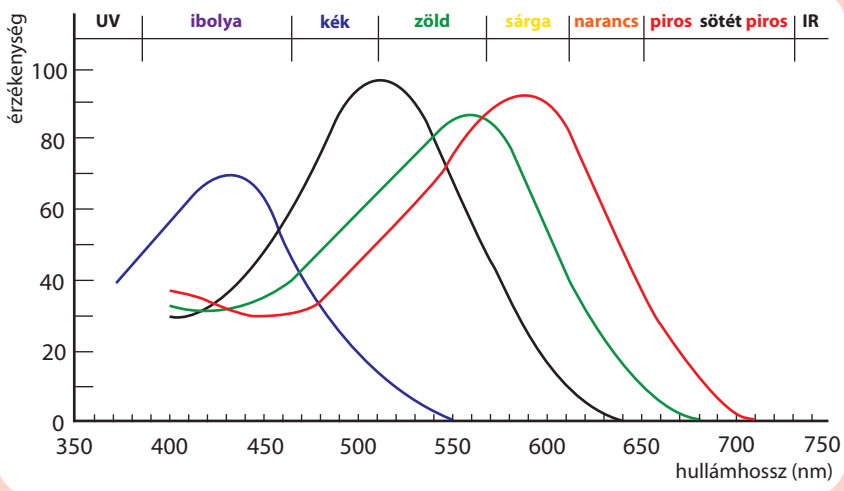


Az üvegprizmán áthaladó fehér fény színekre bomlik

## FIGYELD MEG!

Elemezd a grafikont, és válaszolj a kérdésekre!

1. Mi a különbség a kék, a zöld és a vörös receptorok érzékenysége között?
2. Mi indokolja a receptorok elnevezését?
3. Hogyan magyarázható az ábra felirata alapján, hogy sötétedéskor nem látunk színeket?




A fényérzékelő sejtek (csapok és pálcikák) relatív érzékenysége a hullámhossz függvényében. A színek érzékelésében háromféle csap vesz részt, a pálcikák nem alkalmasak színérzékelésre. A színek érzékeléséhez legalább ezer fotonnak (fényrészecskének) kell egy-egy csapba becsapódni, míg a pálcikák már néhány fotont is érzékelnek

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Milyen hullámhosszúságú a kék fény üvegben?
A kék fény frekvenciáját keresd meg az interneten, az üveg levegőre vonatkozó törésmutatója kék fény esetén legyen 1,55!

*Megoldás*: Az egyik internetes lexikonban az alábbi táblázatot láthatod:

| A fényspektrum színei | | | |
|---|---|---|---|
| Szín | Hullámhossz | Frekvencia | Energia fotononként |
| Ibolya | 380–420 nm | 789–714 THz | 3,26–2,95 eV |
| Kék | 420–490 nm | 714–612 THz | 2,95–2,53 eV |
| Zöld | 490–575 nm | 612–522 THz | 2,53–2,16 eV |
| Sárga | 575–585 nm | 522–513 THz | 2,16–2,12 eV |
| Narancs | 585–650 nm | 513–462 THz | 2,12–1,91 eV |
| Vörös | 650–750 nm | 462–400 THz | 1,91–1,65 eV |

A kék tartomány határán a fény frekvenciája éppen 714 THz, azaz 714 terahertz, azaz $714 \cdot 10^{12}$ Hz. Számolhatsz ezzel a frekvenciával.

A végeredményhez eljuthatsz lépésenként. A táblázat a kék fény levegőben mérhető hullámhosszát és frekvenciáját is megadja. A kék fény sebessége levegőben a hullámhossz és a frekvencia szorzata:

$$c_{\text{kék, levegő}} = \lambda \cdot f = 420 \cdot 10^{-9}\ \text{m} \cdot 714 \cdot 10^{12}\ \text{Hz} = 299\,880 \cdot 10^{3}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 3 \cdot 10^{8}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Üvegben ennél kisebb, itt a törésmutatóval kell osztani a levegőben érvényes sebességet:

$$c_{\text{kék, üveg}} = \frac{c_{\text{kék, levegő}}}{1{,}55} \approx 1{,}94 \cdot 10^{8}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

A kék fény hullámhosszát az üvegben megkapod, ha a sebességet elosztod a frekvenciával. A fény frekvenciája nem változik, ugyanannyi üvegben és levegőben is!

$$\lambda_{\text{kék, üveg}} = \frac{c_{\text{kék, üveg}}}{f_{\text{kék}}} = \frac{1{,}94 \cdot 10^{8}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{714 \cdot 10^{12}\ \frac{1}{\text{s}}} = 2{,}71 \cdot 10^{-7}\ \text{m} = 271\ \text{nm}.$$

Egy másik, szintén jó gondolatmenet:

A táblázat megadja a levegőben mérhető hullámhosszt. Az üvegben és a levegőben is ugyanannyi a frekvencia, ami a terjedési sebesség és a hullámhossz hányadosa, tehát ha a sebesség 1,55-öd részére csökken, akkor a hullámhossz is.

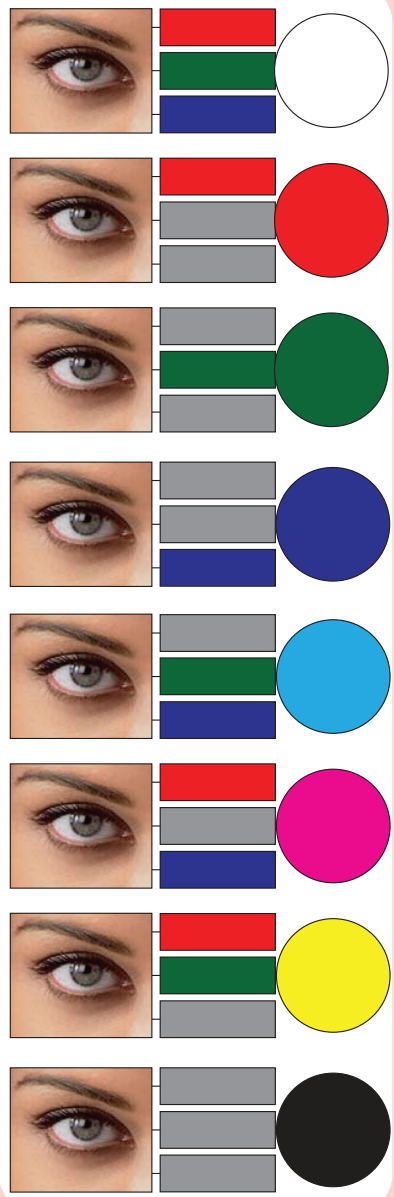
Ezek szerint:

$$\lambda_{\text{kék, üveg}} = \frac{\lambda_{\text{kék, levegő}}}{1{,}55} = \frac{420\ \text{nm}}{1{,}55} = 271\ \text{nm}.$$

## FIGYELD MEG!

*Válaszolj a kérdésekre a kép alapján:*

1. *Milyen színt látunk, amikor a vörös, kék és zöld fényre érzékeny receptorok egyaránt erősen működnek?*
2. *Milyen színt látunk, amikor a vörös és a zöld receptorok erősen működnek, de a kék receptor nem?*
3. *Milyen frekvenciájú elektromágneses hullámokat látunk feketének?*



A színérzékelő receptorok aktivitásától függ, hogy milyen színt látunk

## NE FELEDD!

**A prizmán áthaladó fehér fény színes csíkokat hoz létre a felfogó ernyőn, falon. A különböző frekvenciájú fényeket különböző színűnek látjuk. Szemünkben vörös, zöld és kék fényre érzékeny receptorok vannak. Az, hogy milyen színt látunk, ezek működésétől függ.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hogyan lehet a fehér fény segítségével színes csíkokat létrehozni?
2. Miért vetít színes foltot a falra a prizmán áthaladó fény?
3. Sorold fel a szivárvány színeit! Melyik színű fény halad üvegben a leggyorsabban, és melyik a leglassabban?
4. Milyen színű fény törik meg a legjobban és melyik legkevésbé a prizmán való áthaladás után?
5. Milyen receptorok találhatóak a retinán, és hogyan működnek?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Ugyanolyan színűnek látjuk-e az eget a víz alól nézve, mint a partról?
2. Egészítsd ki fizikai ismereteid alapján a hiányos szöveget!

**HOGYAN LÁTJUK A SZÍNEKET?**

A szín …… eszköze a szem és az agy. A szem miniatűr, nagy felbontású …… hasonlóan működik, amelyhez az adatok értelmezésére és tárolására hatalmas kapacitású számítógép: az …… csatlakozik. A szemünkbe bejutó fényt a szem „objektívje", a ……. a szem hátsó felszínét borító ideghártyára (retinára) …… A retinán a digitális kamerák képfelvevő felületéhez hasonlóan …… elemek milliói helyezkednek el. A látás érzékelőelemei, az esti fényben működő mintegy százharmincmillió pálcika és a nappali fényben működő mintegy hétmillió csap száma összemérhető a jó felbontású digitális kamerákéval. Az érzékelőelemekhez …… kapcsolódnak, amelyek az ingereket a szemidegen keresztül az agy felé továbbítják. Az esti látás elemei, a pálcikák, nem látnak ……, viszont rendkívül érzékenyek. A nappali látás elemei, a csapok, kevésbé érzékenyek, ezzel szemben …… látnak. Ezt az teszi lehetővé, hogy a csapokban ….. különböző pigment található. Ezek közül egyik a vörös, a másik a ……, a harmadik pedig a …… fényre érzékeny. Ezek a pigmentek nyelik el a fény ……, zöld, illetve …… részét, és attól függően, hogy melyikből mennyit tudtak elnyelni, kialakulnak a …….

3. Az interneten megtalálható számítógépes szimuláció (Pl.: Phet-szimulációk: http://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision_en.html vagy http://phet.colorado.edu/hu/simulation/color-vision) segítségével elvégzett kísérlet alapján állapítsd meg, milyen arányban tartalmazza a narancssárga és a bíbor szín a piros, zöld és kék összetevőket!
4. Milyen színűnek látjuk azt a fehér fénnyel megvilágított felületet, ami a rá eső fényből elnyeli a kéket?
5. Válaszolj az alábbi cikkel kapcsolatos kérdésekre!

**EGY MAGYAR TALÁLMÁNY**

Tizenöt évvel ezelőtt a Budapesti Műszaki Egyetemen kezdtünk el foglalkozni a látás, a színlátás és a színtévesztés elméleti és gyakorlati kérdéseivel. Kutatásaink során mérésekkel igazoltuk egy új feltételezés helyességét: a színtévesztést nem az érzékelőpigmentek gyenge működése, esetleg hiánya okozza, amint azt korábban feltételezték, hanem az, hogy egyes pigmentek a színkép más hullámhosszaira érzékenyek, mint a jó színlátók esetében. Kidolgoztuk a színlátás és a színtévesztés matematikai modelljét, és annak alapján olyan színszűrős szemüvegeket terveztünk, amelyekkel sikeresen tudjuk korrigálni a színlátási hibákat. Ezeket már több mint ezer színtévesztő személyen kipróbáltuk. A színlátást javító színes rétegek tetszés szerint felvihetők dioptriás szemüvegre és napszemüvegre egyaránt. Később alkalmazhatók lesznek kontaktlencsén és beültethető szemlencsén is. Elkezdődött a szemüvegek gyártása, és – a világon első ízben – Magyarországon már hozzájuthatnak a betegek a korrekciós szemüvegekhez.

*Dr. Wenzel Klára egyetemi magántanár,*
*Coloryte Rt.,*
*MAGYAR GRAFIKA, 2004/5*

a) A kutatók megállapítása szerint mi a színtévesztés valódi oka?

b) Milyen terméket fejlesztettek ki a tudományos felismerés nyomán?

c) Nem minden színtévesztőn segít az ilyen szemüveg. Vajon mi az oka ennek?

6. Miért érdemes a közlekedési jelzőlámpáknál tiltó színként és a megállás jelzésére a piros színt használni?

# 36. | A természet színei

**A természetben látható színeket általában több fizikai jelenség együttes hatása alakítja ki.** Az, hogy valamit milyen színűnek látunk, attól függ, hogy milyen frekvenciájú fénysugarak jutnak a felületéről visszaverődve, vagy onnan kiindulva, esetleg rajta áthaladva a szemünkbe.

*„Ez a szín áll a legközelebb a fényhez. A fény legenyhébb mérséklésével keletkezik, akár homályos közegek, akár fehér felületekről való gyönge visszaverődés révén. A prizmakísérletek alkalmával viszont szétterjed a világos térben, és legszebb tisztaságában ott látható, ahol a két pólus még elválik egymástól, mielőtt a kékkel zöldé vegyülne össze."*

*(Goethe: SZÍNTAN*
*A „sárga" színről, részlet)*

## Fényelnyelés, fényszórás

A fekete tárgyak minden fényt elnyelnek. A fehér tárgyak minden fényt visszavernek. A fehér tárgyat tehát olyan színűnek látjuk, amilyen színnel megvilágítjuk. A zöld levelek a rájuk eső napfényből leginkább a vörös és részben a kék színűt nyelik el. A róluk visszaverődött fényből a vörös teljesen és a kék szín egy része hiányzik, így alakulnak ki a különböző zöld árnyalatok.

A víz oldalról nézve tükröző felületként viselkedik. Még hullámzó vízben is megjelennek az ég színei: a kék, naplementekor a rózsaszín és a vörös. A medencékben azért is látjuk kéknek a vizet, mert a fény a medence alján elhelyezett gyakran kék csempékről verődik vissza. De a tenger vize önmagában is kékes színű, ha legalább néhány méter mély réteget nézünk merőlegesen, például egy üvegedényben. A víz ugyanis elnyeli a vörös és a sárga sugarakat, amelyek nem hatolnak nagyjából 20 méternél mélyebbre. A kék és az ibolyaszínű sugarak akár 1500 méter mélyre is lejutnak. Ezért a mélyebb vízréteget kékesnek látjuk, hiszen a mélyebb rétegekből szemünkbe jutó fényből már hiányzik a sárga és a vörös.

A víz színét befolyásolják még a benne lebegő kisebb szemcsék, szervetlen anyagok, planktonok. Ezek főleg a sárga színű fényt szórják a szemünkbe, ami a kékkel együtt zöldes árnyalatot ad.

A derült eget nézve a levegő színszóró hatása miatt látjuk a Nap fényét. A szemünkbe jutó fény kék, mert a levegő molekulái erősebben szórják oldalra a kéket, mint a többi színt.

**FIGYELD MEG!**

Állj háttal a Napnak, és kérj meg valakit, hogy szórjon eléd különböző távolságra és magasságra kerti locsolóból vízpermetet. Figyeld meg az így kialakult szivárványt! Ha tudod, fényképezd le a legszebbeket. Keress az interneten szivárványról készült fényképeket!

Ezek alapján válaszolj a következő kérdésekre:

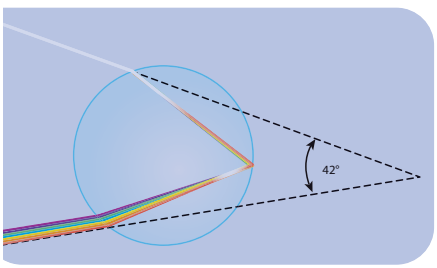
1. Milyen alakú a szivárvány?
2. Mi a színek sorrendje?
3. Megfigyeltél még valami érdekeset?

Magyarázd meg a képen megjelenő színek kialakulását!

**FIGYELD MEG!**

Csíkok a CD-n

Tarts egy CD-, DVD- vagy Blueray-lemezt a fény felé! A lemez felületén színes csíkokat láthatsz. Ha napfénnyel világítod meg, a szivárványra emlékeztető csíkok a falon is megjelennek. Ha lefényképezed, fényképfeldolgozó programmal felerősítheted a színhatásokat, élesítheted a képet. Az alábbi színképet te is létrehozhatod, ha a Nap fényét CD-lemezzel fehér papírra tükrözöd.




A szivárvány létrejöttét fénytöréssel magyarázhatjuk (az ábra a jobb érthetőség kedvéért torzít)

Naplementekor viszont a vastag légkörön áthatoló napfény közvetlenül jut a szemünkbe. Azért vörös, mert hiányzik belőle a levegő molekulái által részben elnyelt és nagyrészt oldalra szórt kék.

## Színszórás

Szivárvány akkor tűnik fel az égen, amikor a Nap a hátunk mögül süt az előttünk a levegőben lebegő apró vízcseppekre, esőcseppekre. Ilyen helyzetet finom vízpermetet spriccelő öntözővel mesterségesen is elő lehet idézni.
Amikor szivárványt látunk, a szemünkbe jutó fény a vízcseppeken áthaladva és azok belsejéből visszaverődve jut a szemünkbe. **A vízcseppen való áthaladás után kicsit más szögben haladnak tovább a különböző színű fénysugarak**, ugyanazért, amiért a prizma üvegén való áthaladás után is. A szivárvány létrejöttének magyarázata meglehetősen bonyolult, először René Descartesnak (ejtsd: dékárt) sikerült, aki elméletét az 1637-ben megjelent híres művében (Discours de la méthode – Értekezés a módszerről) ismertette.

Szivárvány

## Interferencia – színek

A buborék az interferencia miatt színes, akárcsak a benzinfolt

A fény esetében is megfigyelhető az interferencia. A tér azon pontjaiban, ahol a találkozó elektromágneses hullámok tartósan erősítik egymást, ott erősebb fényt látunk, ahol hullámhegy hullámvölggyel találkozik, ott gyengébb, halványabb a fényfolt. Ez a jelenség természetes fény esetén például akkor fordul elő, ha a fény átlátszó anyag vékony rétegén halad keresztül, vagy verődik vissza a felületéről. Ilyen a szappanos vízből álló buborék vagy az úton az olajfolt. Mivel a hullámhegyek és -völgyek távolsága a hullámhossztól függ, a különböző hullámhosszú, azaz különböző színű fények nem ugyanazokban a pontokban erősítik egymást. **Ezért az interferencia azt eredményezi, hogy az összetett fehér fény színekre bomlik.** A CD-, DVD-lemezen megjelenő színek is az interferencia miatt alakulnak ki.

## Komplementer vagy kiegészítő színek

A színek keverésének egyik módja, ha különböző színű fények egyszerre jutnak a szemünkbe, például különböző színű lámpák alkalmazásával. Ha egy adott színű fényt ilyen módon keverjük össze a komplementerével, akkor fehéret kapunk. Az ilyen színek tehát fehérre egészítik ki egymást. Egymás mellett élénk, de mégis harmonikus hatást keltenek:

kék-narancs

sárga-lila

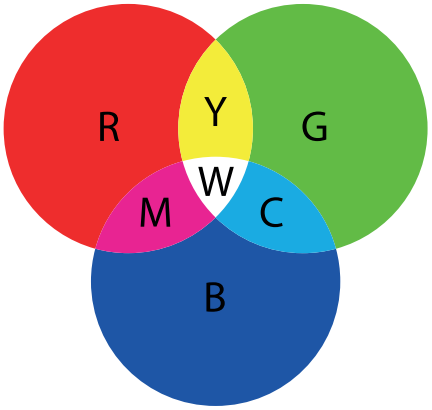
zöld-bíbor

### EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi hozza létre a természetben található színeket?
2. Miért zöldek a falevelek?
3. Miért kék az ég, és miért vörös a lemenő nap fénye?
4. Sorold fel a szivárvány kialakulásának feltételeit!
5. Mi befolyásolja a tengervíz színét?

### NE FELEDD!

**A természetben látható színeket általában több fizikai jelenség együttes hatása alakítja ki. Az, hogy valamit milyen színűnek látunk, elsősorban attól függ, hogy milyen frekvenciájú fénysugarak jutnak a felületéről visszaverődve vagy rajta áthaladva a szemünkbe.**




RGB alapszínek: piros, zöld és kék

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

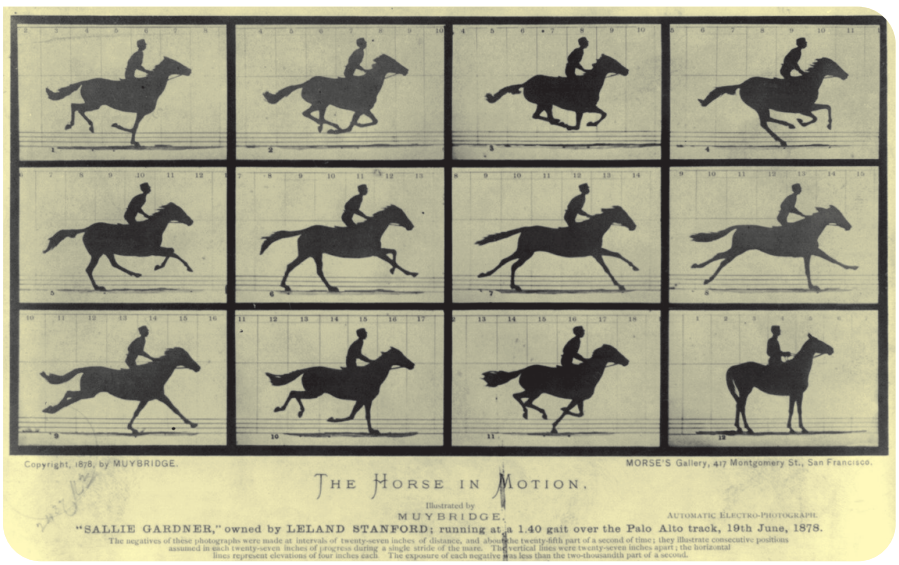
1. Nézz utána, mi a színkerék és hogyan használható harmonikus vagy élénkítő hatású színösszeállítások létrehozására!
2. Egy különleges anyag elnyeli a rá eső zöld fény 30%-át. Milyen színű a napfény az ebből az anyagból készült üveg mögött? (Használj a válasz megadásához számítógépes szimulációt vagy RGB színmodellt használó rajzolóprogramot!)
3. Hogyan vezet színek megjelenéséhez az interferencia jelensége?
4. Milyen színezékeket használnak az ételek piros színének kialakításához?
5. Magyarázd meg, miért változik a tárgyak színe, ha más színű fénnyel világítjuk meg azokat! Figyeld meg, hogy változik a dolgok színe, ahogy este besötétedik! Melyik szín tűnik el leghamarabb?
6. A fényképezés során esetleg beállíthatod, hogy a gép csak bizonyos színeket lásson. Ha van ilyen fényképezőgéped, készíts néhány ilyen felvételt, és magyarázd meg a látottakat! Ha ismersz olyan számítógépes programot, amellyel tetszőlegesen befolyásolhatod a színeket, akkor próbáld megtenni, hogy valódi színeket tartalmazó képből csak bizonyos színeket hagysz meg!

Melegebb és hűvösebb színek a színképben

# 37. | Filmek a moziban és otthon

## A mozgás illúziója

**A mozgókép valójában gyors egymásutánban vetített állóképek sorozata.** Az agy néhány tizedmásodpercig megőrzi a szem által látott képet, akkor is, ha az már eltűnt. A gyorsan vetített állóképeket ezért látjuk összemosódva folyamatos mozgásként. **Ehhez megfelelően felvett, a mozgás egymás utáni pillanatait ábrázoló képeket kell vetíteni.**




A pillanatfelvételeket a galoppozó lóról Eadweard Muybridge (1830–1904) készítette még az 1800-as évek végén, sorban elhelyezett kamerákkal. A felvételeket gyorsan egymás után vetítve mozogni látjuk a lovat

Ezért látjuk a papagájt a megpörgetett érme hátoldalán levő kalitkában ülni. Az érme egyik oldalán egy kalitka van, a másikon egy papagáj. A megpörgetett érmét oldalról nézve gyorsan váltakozva kerül a látható oldalra a kalitka és a papagáj.

## A térlátás

Egy nagyon távoli tárgyról lényegében párhuzamos fénysugarak jutnak a szemünkbe. A jobb és a bal szemünkkel ugyanazt látjuk.

**Minél közelebb van a tárgy, annál jobban különbözik a jobb és a bal szem által látott kép. A különbség mértéke alapján képes az agy megbecsülni a tárgy távolságát és látni a térbeli képét.**

A 3D-s tv-műsort olyan kamerával rögzítik, aminek két objektívje van. Minden képkockát két változatban, kicsit eltérő szögből vesznek fel. Ezután már csak arra kell figyelni, hogy

*„Ha engem kérdeztek, szerintem azért nézünk filmeket, mert meséket akarunk nézni… Az alvó királynő felébredt igaz szerelmének csókjától. De az élet nem egy mese. És a boldog befejezések sem gyakoriak benne. Az életben a fiatal királynő zsarnokká válik és csatába állítja alattvalóit. Nos hát, ezért kellenek nekünk filmek. Hogy emlékeztessenek minket arra, hogy mindennek ellenére a szerelem elő tud bukkanni még a legvalószínűtlenebb helyeken is. És néha még a mesék is valóra válhatnak."*

*(Idézet „A pletykafészek" című filmből)*

Hogyan kerül a kalitkába a papagáj?

**KÍSÉRLETEZZ!**

Húzd le a filctolladról a kupakot, és próbáld egyik szemedet becsukva visszatenni. Sokkal nehezebben sikerül, mert a kupak és a toll helyzetének megállapításához fontos lenne a másik szem által mutatott kép is. Kis gyakorlással mégis sikerül, mert a kezünk helyzete, valamint a toll és a kupak látszólagos nagysága révén is megbecsülhető a sikerhez szükséges távolság.

## Gondold meg!

Ha két szemünk távolabb lenne, sokkal élesebb lenne a térlátásunk. A binokulárok gyakran megnövelik ezt a távolságot, így nemcsak sokkal közelebbről mutatják a tárgyat, de javítják a térlátást is. Sokkal erősebben elkülönülnek a látott képen a közeli és távoli tárgyak, mint szabad szemmel.

a vetítés során a néző jobb szeme csak a kamera jobb objektívje által felvett, a bal szeme pedig csak a bal objektív által felvett képet lássa. Ha a két szem kissé eltérő képet lát, az agy előállítja a térbeli képet, akárcsak a természetes látás során.

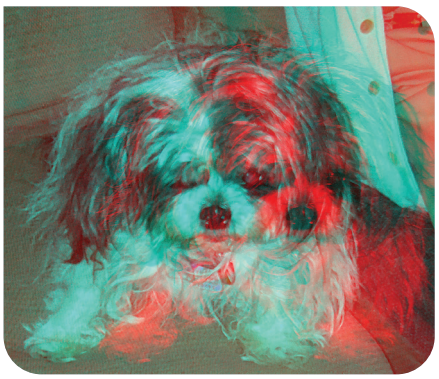
Erre többféle megoldás kínálkozik. Ezek az aktív szemüveget, a színszűrős szemüveget, a polarizációs szemüveget használó és a szemüveg nélküli technológiák.

### Aktív szemüveg

A folyadékkristályos szemüveg a tv-ből érkező rádió- vagy infravörös jel hatására gyorsan elsötétül, majd kivilágosodik. Amikor a tv a bal szemnek szánt képkockát vetíti, akkor a jobb szem előtti lencse sötétedik el, amikor a jobb szemnek szánt képet vetíti, akkor pedig a bal szem előtti. Ezért nevezik az ilyen szemüveget aktív szemüvegnek.

Szemüveg nélkül nézve a 3D-s tv képét homályosnak látjuk.

A folyadékkristályos vagy aktív szemüveg



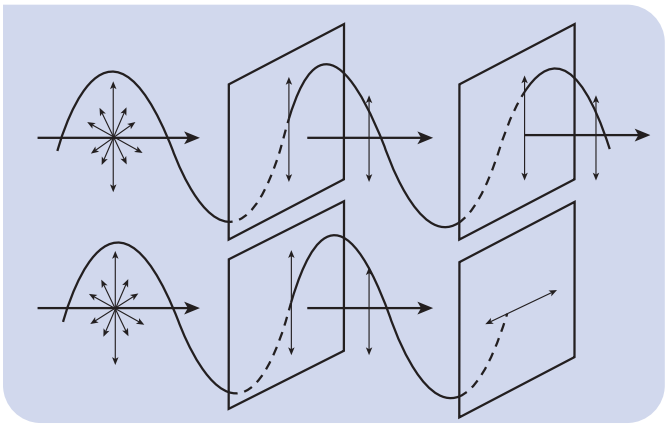
Cián-vörös színszűrőkkel ellátott szemüveg és a hozzá tartozó 3D-s felvétel

### Színszűrős szemüveg

A színszűrők csak egy bizonyos színű fényt engednek át. Színszűrők segítségével is megoldható, hogy a két szem külön-külön csak a neki szánt képet lássa. A vörös színszűrő csak a vörös színű fényt engedi át, a cián (zöldeskék) pedig az összes többi színt.

### Polarizációs szemüveg

A fény transzverzális elektromágneses hullám, ami azt jelenti, hogy a hullám terjedési irányára merőleges a hullámzó elektromos mező térerősségvektora. A természetes fénnyel megvilágított pontban a terjedési irányra merőleges síkban minden irányban van rezgés. Az ilyen fény nem polarizált. **A polarizált fényben csak egy kiválasztott irányban, a polarizáció irányában rezeg az elektromos mező.**



A fény polarizációja

A képen felül a polarizált, alul a normál visszapillantó tükör látható

A polarizálatlan fény leggyakrabban visszaverődés során polarizálódik. A visszavert fény részben polarizált, polarizációs iránya a visszaverő felület síkjával párhuzamos. A polárszűrős napszemüveg kiszűri a vízszintes irányban polarizált fényt, azaz csökkenti a vízszintes útfelület vagy vízfelület által okozott tükröződést.

A 3D-s vetítés során a jobb szemnek szánt képet mondjuk 45°-os szögben jobbra felfelé polarizált, a bal szemnek szánt képet 45°-os szögben balra felfelé polarizált fénnyel vetítik. A néző szemüvege polárszűrős. A jobb szem előtti csak a 45°-os szögben jobbra felfelé polarizált fényt engedi át, a bal szem előtti pedig a 45°-os szögben balra felfelé polarizáltat.

A mostani 3D-s mozikban jobbra és balra cirkulárisan polarizált fénnyel oldják meg a 3D-s hatást. Ilyenkor a polarizációs irány folyamatosan forog, jobbcsavart vagy balcsavart képezve. A térhatású kép egyébként ugyanúgy jön létre, mint a lineárisan polarizált képek esetében.

### Szemüveg nélkül

Mindenki ismeri a képváltós matricákat, ábrákat. Az ilyen képeken több ábrát is láthatunk, ha kicsit más szögből nézzük azokat. Felületük kissé érdes, ami a különlegesen kiképzett műanyag recék miatt van. Ezeken át látjuk az egyik irányból az egyik, a másik irányból a másik képet. A hasonló elven működő 3D-s képernyőkhöz nincs szükség szemüvegre. A 3D-s kép azonban csak a tér egy szűk tartományából látható, ezért leginkább egy felhasználó tudja nézni.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi a mozgókép?
2. Ismersz-e szemüveg nélkül is nézhető 3D-s képet?
3. Ismertesd, mi a térlátás alapja, milyen fizikai jelenségeket és hogyan használnak fel a 3D-s filmélmény létrehozásához!
4. A jobb minőségű binokulárok két objektívje távolabb van egymástól, mint a két szemünk. Szerinted jobban látunk térben egy ilyen binokulárral?
5. Fogalmazd meg, milyen tulajdonságú a polarizált fény!

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Jelenleg az IMAX technológia biztosítja a legélethűbb moziélményt. Nézz utána, milyen technikai megoldásokkal hozzák létre egy IMAX moziban az élethű képet és hangot!
2. Készíts saját rajzfilmet! Nézz utána, milyen gyorsan kell állóképeket vetíteni! Döntsd el, milyen egyszerű jelenet legyen a filmen (labda pattogása, egy ember feláll, leül). Döntsd el, milyen technológiával fogsz dolgozni. Használhatsz akár számítógépes animációt készítő programot is. Tervezd meg a képkockákat! Nézz utána hiányzó ismereteidnek, és készítsd is el a rajzfilmet! Egy rajzfilmet készíthettek egyszerre többen is, ha ügyesen elosztjátok a feladatokat.
3. A jelenlegi 3D-s tv-k használói arról panaszkodnak, hogy csak egy filmet tudnak megnézni 3 dimenzióban, utána fáradtnak érzik magukat. Mi lehet ennek az oka?
4. Nézz utána milyen, a leckében nem említett eszközök alkalmasak még 3D-s kép előállítására!
5. Jobb vagy rosszabb lenne az ember térlátása, ha a szemei közötti vízszintes távolság nagyobb volna? Miért?
6. Nézz utána, milyen élőlények használják ki a poláros fényt!

## KÍSÉRLETEZZ!

Hogyan tudod eldönteni, hogy lineárisan vagy cirkulárisan polarizált szemüveggel rendelkezel? Állj a szemüvegben egy tükör elé. Csukd be az egyik szemedet. Ha azt a szemedet látod, amelyiket becsuktad, akkor cirkulárisan, ha azt, amelyik nyitva van, akkor lineárisan poláros a szemüvegünk! Mi lehet a jelenség magyarázata?

## Mi az oka annak,

*hogy a LED-es fényforrás hatásfoka lényegesen jobb mint a wolfram izzóé?*

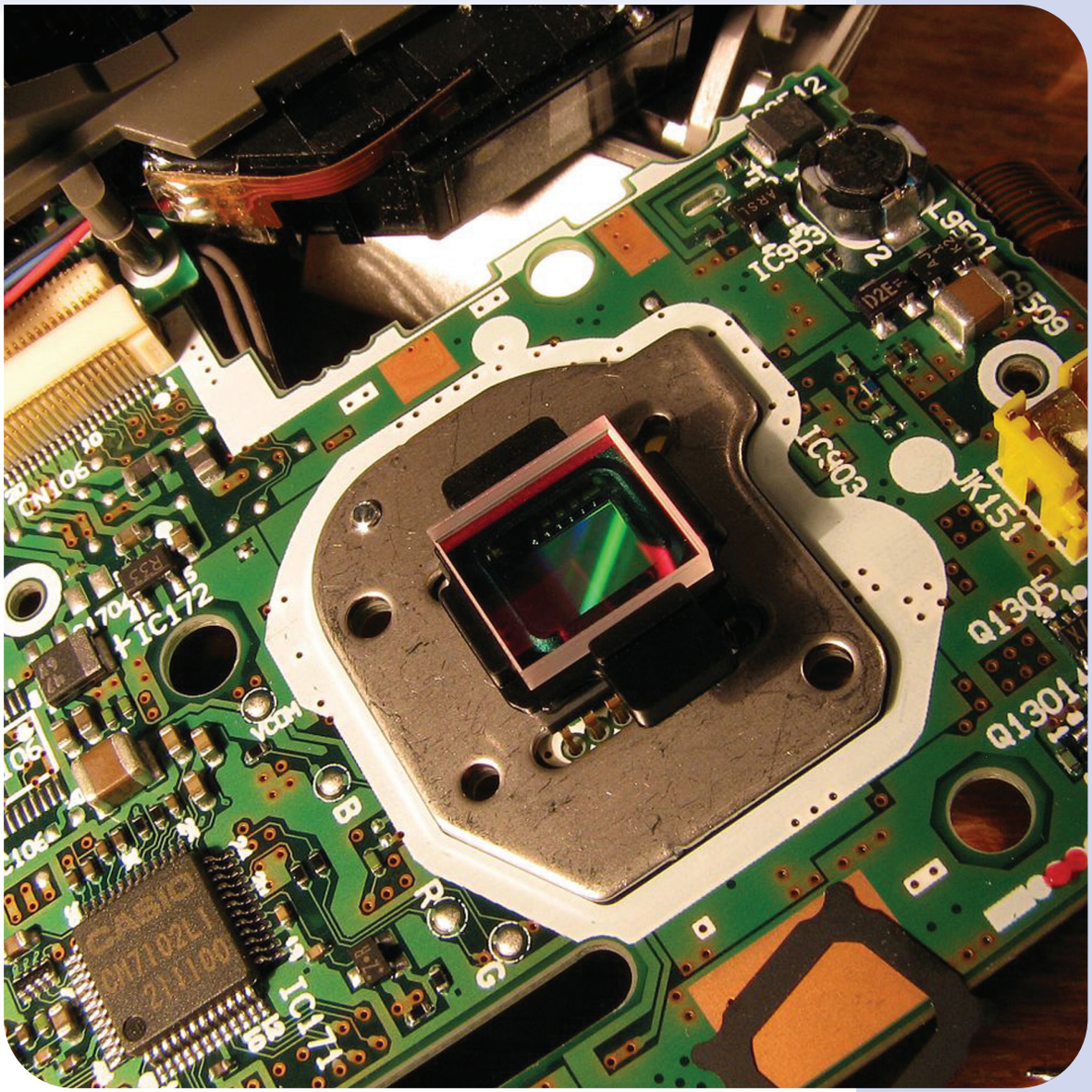
## Tudunk-e

*jobb minőségű fényképet készíteni a digitális zoom (ejtsd zum) használatával?*

## Hogyan alakul át

*a napelemben a napfény elektromos energiává?*

# AZ ATOMOK ÉS A FÉNY




Egy digitális fényképezőgép *fényérzékeny lapja, a CCD látható a kép közepén. Az elnevezés az angol charge-coupled device kifejezés kezdőbetűiből származik. Mit jelent ez a szó magyarul, és miért éppen ez az eszköz neve? (A képen látható kamera nagyjából tíz éve készült, és akkor még a 6 megapixeles felbontása jónak volt mondható.)*

# 38. | Az atomok ujjlenyomata

*„Démokritosz […] nézete szerint a szubsztanciák oly kicsinyek, hogy kibújnak az észlelésünk alól, mindenféle formáik és mindenféle alakjaik és nagyság szerinti eltéréseik vannak. Ezekből immár mint elemekből származtatja és állítja össze a szemmel látható, illetve az érzékelhető tömegeket."*

*(Arisztotelész Démokritosz atomelméletéről)*

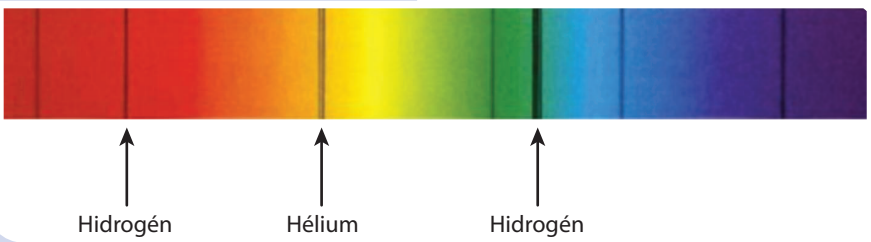
## Színképek

A 6. fejezetben láttuk, hogy a prizma felbontja színekre az összetett fényt. Ebben a színképben minden frekvenciának egy-egy keskeny tartomány felel meg.

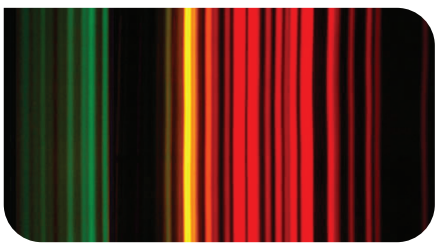
**Ahol sötét a kép, oda nem érkezik fénysugár, olyan frekvenciájú összetevője nincs a vizsgált fénynek.**

A Nap fényében első látásra minden frekvencia megtalálható. A színkép nagyjából folytonos a vöröstől az ibolyáig.

A színképet jobban megvizsgálva, abban fekete vonalak látszanak. Az ilyen frekvenciájú fény hiányzik a spektrumból, mert valami elnyelte azt.




A Nap fényének folytonos színképe



A neon vonalas színképe

A neoncső, az energiatakarékos lámpa színképe nem folytonos, abban jól elkülönülő vonalakat látunk. Ezt **vonalas színkép**nek nevezzük.

A felső színkép létrehozása során a **fehér fény**t – olyat, amiben minden frekvencia, azaz szín megtalálható volt – előbb hidrogéngázon vezették keresztül, majd prizmával felbontották. A hidrogéngáz molekulái a fény egy részét elnyelték. Az elnyelt fény frekvenciájának megfelelő helyen sötét vonal látszik az **elnyelési színkép**ben.

A hidrogén elnyelési színképe:

A hidrogén kibocsátási színképe:

A hidrogén elnyelési és kibocsátási színképe

Az alsó kép azt mutatja, hogy az izzó hidrogéngáz milyen hullámhosszú sugárzást bocsát ki. Ez a **kibocsátási színkép**, melynek felvétele során a hidrogén által kibocsátott fényt közvetlenül vezették a prizmára.

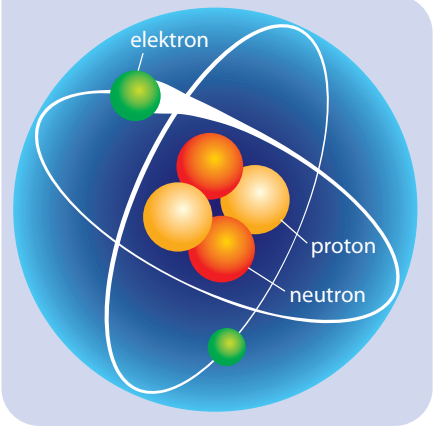
A kétféle színkép összevetése azt mutatja, hogy a hidrogéngáz éppen olyan frekvenciájú fényt nyel el, amilyen frekvenciájú fényt az izzó hidrogén kisugároz.

**Az izzó gázok atomjai, molekulái többféle, de mindig jól meghatározott, az adott atomra vagy molekulára jellemező frekvenciájú fényt képesek kibocsátani.** Színképükben mindig ugyanazok a színképvonalak láthatóak. Ezért vonalas a kibocsátási színkép. Ugyanezeket a meghatározott frekvenciájú fénysugarakat a gázok el is nyelik a rajtuk áthaladó fényből. Ezek a fekete elnyelési vonalak láthatóak például a Nap színképében.

## Miből van a világ?

A nagyjából $10^{-10}$ m átmérőjű atom nem oszthatatlan, hanem **atommag**ból és az azt körülvevő **elektronok**ból áll. Az atommag átmérője az atom átmérőjénél jóval kisebb: $10^{-14}$ m. Az atom szinte teljes tömege az atommagban összpontosul, ami pozitív töltésű **protonok**ból és hozzájuk erősen kapcsolódó **neutronok**ból áll. A protonok száma, a **rendszám** határozza meg, hogy milyen elem atomjáról van szó. Az atommag által az elektronokra kifejtett elektromos vonzóerő az, ami a mag körül tartja az elektronokat. Az elektronok mozgási energiával rendelkeznek, ezért nem zuhannak az atommagba, hasonlóan ahhoz, ahogyan a Föld körül keringő Hold sem esik le a Föld vonzó erejének hatására.

A legegyszerűbb elem **a hidrogén**. A hidrogénatom magjában egy proton van, a mag körül egy elektron helyezkedik el. A következő atom **a hélium**, két proton van a magjában két neutronnal, körülötte két elektron.




A héliumatomot régen így ábrázolták. Vajon miért tűnik elavultnak ez a kép?

**Az atommag körül elhelyezkedő elektronok többféle, jól meghatározott energiájú állapotban lehetnek.** Egy ilyen állapot energiája az elektron mozgási és az elektromos kölcsönhatáshoz tartozó helyzeti energiájának az összege. A legkisebb energiájú állapot neve **alapállapot**, az ennél nagyobb energiájú további állapotok a **gerjesztett állapotok**. A hidrogénatom esetében az alapállapot energiája –13,6 eV. A negatív előjel arra utal, hogy ebben az állapotban az elektron kötött, nem hagyhatja el az atommag környezetét. Ilyen nagyságú energiát kell közölni az elektronnal ahhoz, hogy eltávolítsuk az atomból.

Az eV, azaz elektronvolt az atomfizikában használatos energia-mértékegység, nagyon kis energiát jelent.

$1\ \text{eV} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$.

### SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Hány joule energia szükséges ahhoz, hogy 1 g hidrogénatomból minden tizediket ionizáljuk?

*Megoldás:* 1 g hidrogénatom pontosan 1 mol, azaz $6 \cdot 10^{23}$ db atom.

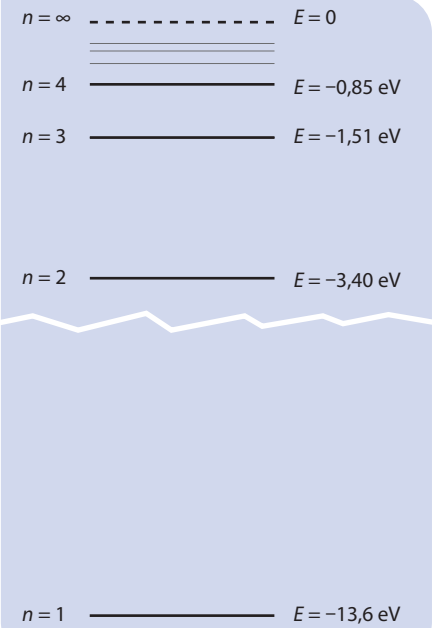
Ha minden tizedik atomot ionizálunk, ez $6 \cdot 10^{22}$ db-ot jelent. A szükséges energia tehát: $E = 13{,}6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{J} \cdot 6 \cdot 10^{22} = 130{,}6 \cdot 10^{3}$ J, azaz nagyjából 130 kJ. Ennyi energiát vesz fel az 1000 watt teljesítményű porszívó a hálózatból körülbelül 2 perc alatt.

### Hallottál róla?

Az 1800-as évek második felében elsősorban csillagász kutatók vizsgálták a Napból jövő fény színképét. Az ebben található elnyelési vonalakból következtettek arra, hogy a Nap külső rétegeiben egy addig még nem azonosított elem fordul elő. Mivel a Napban találták meg, és a Nap görögül Héliosz, ezért a hélium nevet kapta.

A hidrogénatomra jellemző legerősebb színképvonal a vákuumban 656 nm hullámhosszú vörös, H-alfa-vonal.

A színképek vizsgálata is hozzájárult ahhoz, hogy a korábban oszthatatlannak gondolt atomok belső szerkezetére fény derüljön.




H-atom elektronjának lehetséges energiái

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Mekkora a vörös színű fény fotonjának energiája?

*Megoldás:* A vörös színű fény fotonjának energiáját megkapjuk, ha a frekvenciáját megszorozzuk a Planck-állandóval. Ez utóbbit $h$ betűvel szokás jelölni, $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js, azaz nagyon kis érték! A vörös fény frekvenciája 430 THz körüli.

$\varepsilon = h \cdot f = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s} \cdot 430 \cdot 10^{12}\ \text{Hz} =$

$= 6{,}626 \cdot\ 430 \cdot 10^{-22}\ \text{J} = 2849 \cdot 10^{-22}\ \text{J} =$

$= 2{,}85 \cdot 10^{-19}\ \text{J},$

ami valamivel kevesebb mint 2 eV.

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* Számoljuk ki a hidrogénatom által elnyelt fotonok frekvenciáját, amikor az alapállapotú hidrogénatom első gerjesztett állapotába kerül!

*Megoldás:* Az alapállapotú elektron energiája –13,6 eV. Az első gerjesztett állapoté –3,4 eV, az elektron tehát –3,4 – (–13,6) = 10,2 eV energia felvételével juthat az első gerjesztett állapotba.

A 10,2 eV-os foton frekvenciája:

$$f = \frac{\varepsilon}{h} = \frac{10{,}2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \text{J}}{6{,}626 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}} \approx$$

$\approx 2{,}5 \cdot 10^{15}\ \text{Hz} = 2500\ \text{THz}.$

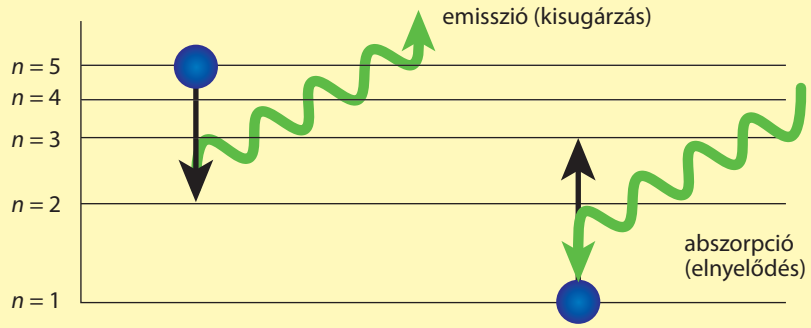
Az ilyen frekvenciájú elektromágneses hullámot (ez éppen ultraibolya fény) a hidrogénatomok elnyelik, miközben maguk gerjesztett állapotba kerülnek.

### A fény és az atomok kölcsönhatása

Amikor az atomokat elektromágneses sugárzás éri, az elektromágneses hullám energiája csak meghatározott adagokban csökkenhet. Hasonló ez ahhoz, ahogyan a lépcsőn felfelé haladó ember sem állhat meg páros lábon akármilyen magasan, csak a lépcsőfok magassága által meghatározott magasság többszöröseinél. A legkisebb energiaadag (energiakvantum) nagysága az elektromágneses hullám frekvenciája és az ún. Planck-állandó szorzata: $E = hf$, ahol a $h$ Planck-állandó értéke: $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js. Az elektromágneses sugárzások legkisebb egységét (kvantumát) **foton**nak nevezzük.

### Hogyan világítanak az atomok?

**Ha az érkező foton energiája éppen elegendő ahhoz, hogy azt felvéve egy elektron nagyobb energiájú állapotba kerüljön, az atom elnyeli a fotont, az atom gerjesztődik.**




A fény elnyelése és kibocsátása során az elektron energiaállapota megváltozik

**Ha az atom egy elektronja nagyobb energiájú állapotból alacsonyabb energiájú állapotba kerül, az energiakülönbséggel megegyező energiájú foton távozik az atomból.**

### Színképelemzés

A színképelemzés segítségével megállapítható, hogy a gáz milyen elemeket tartalmaz. Ehhez a gáz elnyelési vagy kibocsátási spektrumában (színképében) megjelenő színképvonalakat kell megvizsgálni. A vonalak frekvenciájának ismeretében megállapítható, hogy azok milyen elem atomjaitól származhatnak.

## NE FELEDD!

**A színkép megmutatja, hogy milyen frekvenciájú, azaz milyen színű összetevőkből áll a fény. A napfény folytonos színképe sok különböző frekvenciájú összetevőből áll, amiből hiányoznak a Nap légkörében lévő forró gázok által elnyelt frekvenciák. Az izzó gáz színképében csak a gáz összetevőire jellemző színképvonalak találhatóak meg. Pontosan ezeket a frekvenciákat nyeli el a gáz a rá eső fényből.**

**A foton energiáját a frekvencia és a Planck-állandó szorzata adja meg:**
$E = hf.$

**Az atom körüli elektronok nem lehetnek akármilyen energiájú állapotban, csak az atomra jellemző jól meghatározott értékeket vehetik fel. A fény elnyelése során az atomok gerjesztődnek, amikor pedig alacsonyabb energiájú állapotba kerülnek, fényt bocsátanak ki.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mit mutat meg a színkép?
2. Milyen az izzó hidrogéngáz színképe?
3. Hogyan lehet kiszámolni a foton energiáját?
4. Számold ki az 5000 THz frekvenciájú foton energiáját!
5. Mit tudsz az atommag körül levő elektronok energiájáról?
6. Mi történik az atommal, amikor fényt nyel el, vagy fényt bocsát ki?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy képzeletbeli atom elektronja a következő jól meghatározott energiájú állapotokban lehet: –10 eV, –2 eV, –1 eV. Milyen hullámhosszú elektromágneses hullámokat sugározhat a képzeletbeli atom? Az elektromágneses spektrum milyen tartományaiba esnek a kibocsátott sugárzás összetevőinek frekvenciái?
2. Nézz utána és alakítsd ki saját véleményedet a nevezetes kérdéssel kapcsolatban: az anyag vajon vég nélkül osztható vagy végül találunk egy valóban oszthatatlan összetevőt? Véleményed, érveid vesd össze osztálytársaid véleményével, érveivel!
3. Készíts egy rajzot vagy modellt az atomról! Gyűjts ismereteket, készíts előzetes tervet, azután építsd is meg az atommodelled! Mutasd be a többieknek és prezentációban ismertesd, hogy milyen szempontból hasonlít az általad készített modell a valódi atomra. Az osztályban a modellek versenghetnek is, vagy rendezhettek belőlük kiállítást. Próbálj az interneten vagy személyesen szakértővel, atomfizikussal, tanárral is beszélni, mutasd meg neki az elképzelésedet!
4. Egy atom egyik gerjesztett állapotának energiája –21,7 ev, ebből az állapotból kerül az elektron egy alacsonyabb, –48,5 eV energiájú állapotba. Látható-e a folyamat során kibocsátott fény?
5. Tanulmányozd a fénykibocsátás és fényelnyelés folyamatát az interneten talált interaktív szimuláció segítségével!

# 39. | Fényforrások

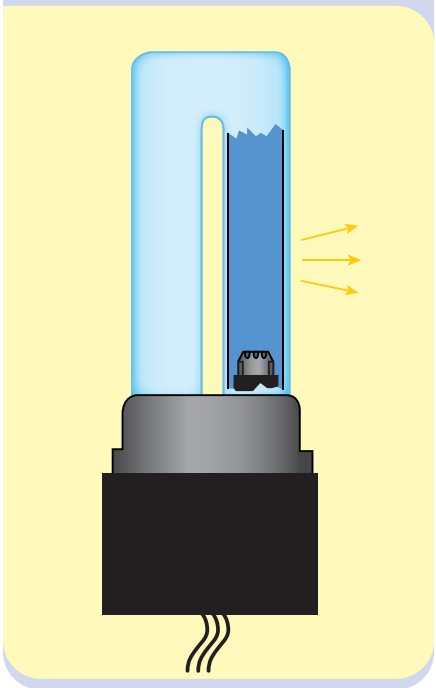
*„Felteszem tehát, hogy a fény […] valami olyasmi, amit a fénylő testek bocsátanak ki. […] esetleg különböző méretű, elképzelhetetlenül kicsiny és gyors korpuszkulák (részecskék) sokaságának is felfoghatjuk…”*

*(Sir Isaac Newton)*

**Fényforrásaink fényét többnyire az atomok és molekulák gerjesztett állapotból alapállapotba való visszatérése során keletkező fotonok adják.**

**EMLÉKEZTETŐ**

A hagyományos izzóban az izzószál az áram hőhatása következtében felmelegszik. A kibocsátott hőmérsékleti sugárzás egyre nagyobb része esik a látható tartományba, de jelentős része esik az infravörös tartományba is.



A kompakt fénycső, hagyományos nevén neoncső gyakran használt energiatakarékos fényforrás

## Energiatakarékos fényforrások

Az úgynevezett halogén izzólámpákban is izzószál világít. Az izzószálat körülvevő kisméretű búrában valamilyen halogén gáz is található, általában jód vagy bróm. A halogén töltésnek köszönhetően az izzószál magasabb hőmérsékleten izzik, mint egy hagyományos izzóban, a lámpa fényhasznosítása jobb.

A halogén izzó

Az **energiatakarékos izzó**ban általában higanygázzal töltött csövek vannak. A csőre nagyfeszültséget kapcsolva az elektródából elektronok lépnek ki, melyek az elektromos tér hatására felgyorsulnak. Ütköznek a higanygáz atomjaival és gerjesztik azokat. A gerjesztett állapot rövid életű. Az energiaminimum elvének megfelelően a higanyatomok elektronjai rövid idő alatt stabilabb, kisebb energiájú állapotot vesznek fel, közben ultraibolya fényt bocsátanak ki. Ez gerjeszti az üvegcső foszfort tartalmazó bevonatát. A foszforatomok az ultraibolya fény hatására látható fénnyel világítanak.

Izzószálas, CFL- és LED-égő

Az energiatakarékos (CFL) izzók egy kis idő után kezdenek csak teljes fénnyel világítani, különösen feltűnő ez kis teljesítmény esetén. Élettartamuk jóval hosszabb, mint a hagyományos, izzószálas égőké.

A **fényemittáló diódák** (LED) a többi diódához és tranzisztorhoz hasonlóan olyan félvezető anyagokból készülnek, mint a szilícium vagy a germánium.

A LED, mint általában a diódák csak az egyik irányban vezeti az áramot, ha a rákapcsolt feszültség polaritása ezzel ellentétes irányú áramot indítana, akkor – nem túl nagy feszültség esetén – nagy ellenállású. A megfelelően üzembe helyezett LED-ben a rajta átfolyó elektromos áram hatására kerül magasabb energiájú állapotba a félvezető anyagban szabadon mozgó elektronok egy része. Ezek az elektronok később visszatérnek az alacsonyabb energiájú állapotba, miközben fényt sugároznak ki. A világító diódákat úgy tervezik, hogy a folyamat során kibocsátott foton frekvenciája a látható tartományba essen. Az ilyen fényforrások élettartama az ember életével összemérhető, azonos fényerősség mellett fogyasztásuk az energiatakarékos izzókénál is kisebb, fényhasznosításuk nagyobb. A boltokban kapható LED-ek a tér egy szűkebb tartományába világítanak erősebben.

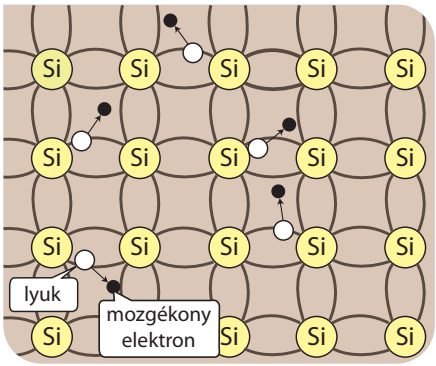
## Gondold meg!

Amíg csak hagyományos izzókat lehetett kapni a boltokban, egy lámpa fényerejét jól jellemezte a teljesítmény. A 60 wattos izzó biztosan fényesebb volt, mint a 20 wattos. Ma egy 5 wattot fogyasztó energiatakarékos fénycső nagyjából ugyanannyi fényt ad, mint egy 25 W-os hagyományos izzó. Az elektromos hálózatból felvett teljesítmény többé nem meghatározó a fényesség szempontjából. Másrészt az, hogy a lámpa fényét milyen világosnak látjuk, nemcsak attól függ, hogy milyen teljesítménnyel világít, hanem attól is, hogy milyen frekvenciájú, színű összetevőket sugároz ki. Az emberi szem a zöld színű fényre a legérzékenyebb. A lámpa fényerejét gyakran a **fényáram** nevű mennyiséggel jellemzik, aminek mértékegysége a **lumen**. Ez is olvasható a boltokban a lámpa dobozán.

A fényforrások hatékonyságának jellemzésére a fényáram és a teljesítmény hányadosa alkalmas, ez a fényhasznosítás, aminek mértékegysége lumen/watt.

## OLVASMÁNY

A szilícium (és a germánium is) négy vegyértékelektronnal rendelkezik, ezért szabályos kristályt hoz létre, amelyben egy szilíciumatomot négy szomszéd vesz körbe. A szomszédok megosztoznak elektronjaikon, így stabil elektronszerkezet alakul ki. Ha a kötésben lévő elektronok közül valamelyik az átlagosnál nagyobb energiára tesz szert, elhagyhatja a kötést, a kristályon belül szabaddá válik. A tiszta félvezetőkben tehát már szobahőmérsékleten is van egy kevés delokalizált, mozgékony elektron, ezért vezetik az áramot. A hőmérséklet emelkedésével a mozgékony elektronok száma nő, a félvezetők jobban vezetik az áramot, ellenállásuk csökken.

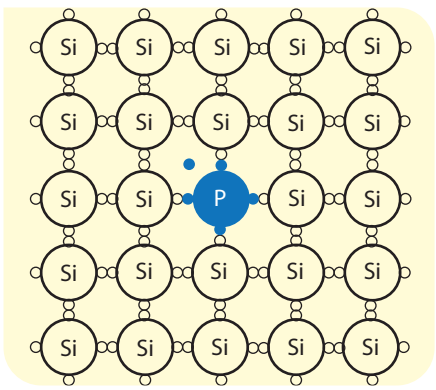


Az ábra a mozgékony elektronokat és lyukakat mutatja

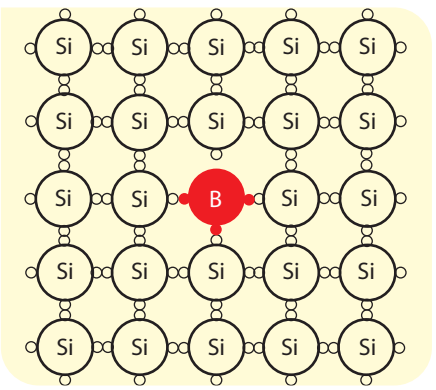
A tiszta félvezetők vezetési tulajdonságait szennyezéssel (adalékolással) lehet befolyásolni. Ha a szilíciumot olyan anyaggal szennyezik, amelynek atomjai 5 külső elektronnal rendelkeznek, n típusú félvezetőt kapnak. Az n típusú félvezetők vezetőképessége megnő a szennyező anyag ötödik elektronja miatt, ami részt vesz az áramvezetésben. Ilyen szennyező lehet például a foszfor.

A másik lehetőség, hogy a szennyező atomnak 3 külső elektronja van, ekkor p típusúnak nevezik a szennyezett félvezetőt. Ilyen szennyező anyag lehet a bór. A p típusú félvezető vezetőképessége szintén megnő, mert a kötésből hiányzó elektronok miatt a meglévő elektronok mozgékonysága növekszik.

Az n és p típusú félvezető rétegek találkozását p-n átmenetnek nevezik. A p-n átmenet különleges vezetési tulajdonságokkal rendelkezik. A sok mozgékony elektronnal rendelkező n típusú félvezetőből elektronok jutnak át a p típusú félvezetőbe. Ezzel



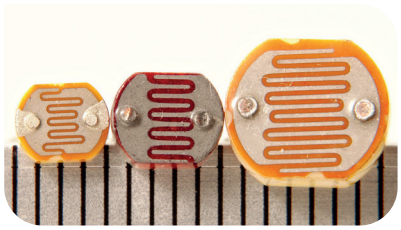
n típusú félvezető



p típusú félvezető

## Hallottál róla?

A fény érzékelésére és intenzitásának mérésére sok lehetőség kínálkozik. A fénymérők egy részében olyan félvezető anyagot használnak, ami megvilágítás hatására változtatja fizikai tulajdonságait, például az elektromos ellenállását. A kadmium-szulfidból (CdS) készült érzékelő ellenállása sötétben 10 MΩ is lehet, ami a megvilágítás erősségétől függően akár 100 Ω -ra is lecsökkenhet. Az érzékelő önmagában még nem mérésre alkalmas szenzor. Megfelelő áramkörbe – ilyen lehet egy egyszerű feszültségosztó- építve elérhető, hogy az eszköz kivezetésein mérhető feszültség arányos legyen a megvilágító fény erősségével. A másik, a fénymérőkben gyakran alkalmazott érzékelő a fotodióda.



Fényérzékeny ellenállások milliméteres skála előtt

a p-n átmenet közelében felborul a töltések egyensúlya, az átmenetben elektromos feszültség alakul ki. Az átmenet n típusú oldalán az elektromos potenciál magasabb lesz, mint a p típusú oldalon. Ha a p-n átmenetet tartalmazó eszközre – például diódára – olyan polaritású feszültséget kapcsolnak, amilyen a már kialakult réteg polaritása, az eszköz nem vezeti az áramot, ellenállása nagyon nagy lesz. Ellenkező polaritás esetén viszont elhanyagolható ellenállásúvá válik, és megindul az elektronok áramlása az átmeneten keresztül.

Az áramvezetés során a mozgékony elektronok energiát vesznek fel, magasabb energiájú állapotba kerülnek. Ez az állapot azonban nem stabil, egy részük gyorsan elveszti a felvett energiát, és bizonyos gondosan megtervezett p-n átmenetek esetén az anyag fotonokat bocsát ki. A világító diódákat úgy tervezik, hogy a kibocsátott foton frekvenciája a látható tartományba essen. Az ilyen dióda világít, ha megfelelő nagyságú és polaritású feszültséget kapcsolnak rá.

Az ilyen fényforrások élettartama az ember életével összemérhető, azonos fényerősség mellett fogyasztásuk az energiatakarékos izzókénál is kedvezőbb. A boltokban kapható LED-ek a tér egy szűkebb tartományába világítanak erősebben.

### EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Honnan származik fényforrásaink fénye?
2. Nézz utána az interneten a széles körben alkalmazott és lakásban használható fényforrások fényhasznosításának. Készíts szemléletes ábrát az adatok nagyságának érzékeltetésére.
3. Sorold fel, milyen fényforrásokat ismersz! Mondd el, miért és hogyan világítanak!
4. Menj el egy világítástechnikai eszközöket is áruló boltba és nézd meg, milyen égőket, fénycsöveket, lámpákat árunak. Nézd meg a rájuk jellemző adatokat is! (fényáram, teljesítmény, szín, élettatam). Hasonlítsd össze a látottakat a könyvben leírtakkal! Készíts rövid, érvekkel alátámasztott véleményt arról, melyiket vennéd meg otthonra a nappaliba.
5. Nézz utána, melyik fényforrás a leggazdaságosabb! (A legkevesebb fogyasztás mellett a legtöbb fényt adja, ésszerűen hosszú időn át.)

### ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi az az Edison-foglalat? Nézz utána!
2. Egy energiatakarékos fénycső dobozán azt olvasod, hogy 1100 lumen a fényereje és 30 W-ot fogyaszt. Egy kisebb fénycső 8 W fogyasztás mellett 350 lumen fényes. Melyik fényforrás gazdaságosabb?
3. Egy 5 W-os LED-izzó ugyanolyan fényerejű, mint egy 35 W-os normál izzó. Ára azonban 1500 forint, szemben a hagyományos 100 W-os izzó 200 Ft-os árával. A takarékos világítás érdekében a 100 W-os hagyományos izzót 3 LED-izzóra cseréled. Napi átlagos 2 óra világítás mellett hány évig kell a LED-izzókat üzemeltetni ahhoz, hogy behozzák a vásárlás többletköltségét? (A villanyszámlát megnézve azt látod, hogy 150 kWh villamos energia 5300 forintba kerül.)
4. LED-ek felhasználásával olyan lámpát is készítenek, aminek fénye változtatja a színét. Lényegében hogyan működik egy ilyen lámpa?

### NE FELEDD!

**Fényforrásaink fényét az atomok alapállapotba kerülése során keletkező fotonok adják. Manapság egyre többféle fényforrást használunk, például energiatakarékos izzókat, LED-eket izzószál segítségével világító villanykörtét.**

# 40. | Digitális fényképezőgép, fotocella, napelem

*A XX. század során sok olyan fizikai elmélet született, ami lényeges változást hozott a világról való gondolkodásunkban. A nagyon gyorsan mozgó dolgok, a végtelennek tűnően hatalmas univerzum vagy a nagyon apró atomi világ vizsgálata rákényszerített minket, hogy pontosítsuk a térről, az időről, az anyag természetéről korábban alkotott, érzékszerveink tapasztalatain alapuló elképzeléseinket. A józan észnek gyakran ellentmondani látszó modern fizika életünk egyre több területét megváltoztatja. Ilyen például a fényképezés.*

Az első fényképeket az 1800-as évek közepén készítették. A hagyományos fényképezőgépeket és a fényérzékeny film sötétkamrában történő előhívását mára felváltotta a digitális képrögzítés, ez teszi lehetővé, hogy a képeket azonnal az elkészítésük után láthassuk vagy állományként elküldjük ismerőseinknek.

A digitális képrögzítés alapja a **fényelektromos** hatás. Ezt használják a fényérzékelő szenzorok, és ezen az elven működnek a napelemek is.

Az atomok és a fény kölcsönhatásának tanulmányozása alapozta meg a kutatók gondolkodásmódját átalakító modern fizika megszületését

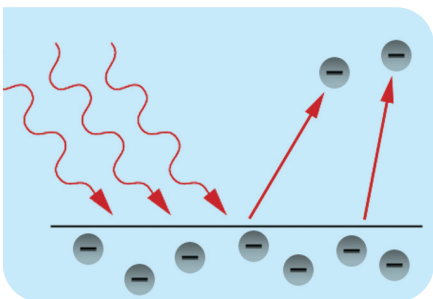
## Mit jelent a fényelektromos hatás?

Ha elegendően nagy frekvenciájú fénnyel világítunk meg egy fémet, abból elektronok lépnek ki. A kilépő elektronok segítségével áramot és feszültséget lehet létrehozni.

A **cink** olyan fém, amiből könnyen kilépnek a fémes kötést létrehozó úgynevezett delokalizált elektronok. A közönséges lámpa fénye azonban nem elég ahhoz, hogy a cinkből elektronokat szabadítson fel. Ehhez **ultraibolya fényforrás**ra, kvarclámpára van szükség.

Elsőre azt gondolnánk, ha zseblámpával nem is, de nagyobb teljesítményű lámpával, erősebb megvilágítást használva sikerülhet elektronokat kiszakítani a cinklemezből. Ilyet azonban nem tapasztaltak a fizikusok. **Az, hogy az elektronokat sikerül-e eltávolítani a fémből vagy sem, a megvilágító fény színétől, azaz a használt fény frekvenciájától függ.** A jelenséget fényelektromos hatásnak nevezzük, magyarázatát **Albert Einstein** adta meg, **Max Planck** kvantumhipotézisének felhasználásával.

Max Planck 1878-ban, húszéves diákként

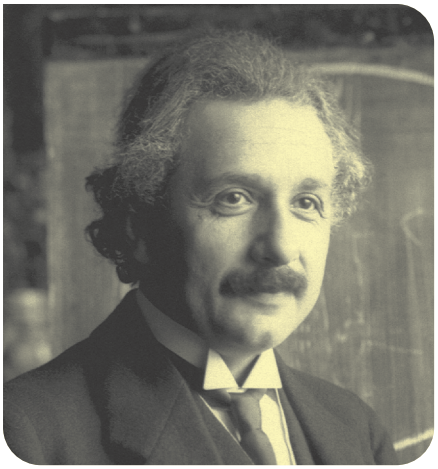


A fényelektromos hatás

### Hallottál róla?

Egy müncheni fizikaprofesszor azzal a megjegyzéssel kommentálta Planck érdeklődését az elméleti fizika iránt, hogy „ebben a tudományágban már szinte mindent felfedeztek, és már csak néhány jelentéktelen lyukat kell betömni". Ez egy olyan nézőpont volt, amit abban az időben sok fizikus képviselt. Planck szerény magatartást tanúsított: „Nem kergetem azt a vágyat, hogy egy új világot fedezzek fel, csupáncsak a fizikai tudomány meglévő alapjait kívánom megérteni, talán még jobban elmélyíteni."

Azonban Planck 1900-ból származó kvantumhipotézise mégis egy új világ felfedezését jelentette, ami a radikálisan új **kvantumfizika** alapjává vált, ezért tekintik 1900-at a kvantumfizika születési évé-nek.

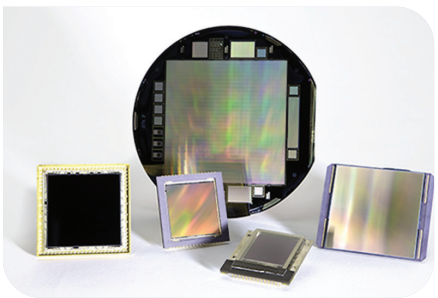


Albert Einstein

## Gondold meg!

Képzeld el, hogy a fénykvantumok, a fotonok kavicsok. A kis energiájú fotonnak apróbb, a nagyobb energiájú fotonnak nagyobb kavics felel meg. Hiába szórunk a jégre több kis kavicsot (ez felel meg az erősebb megvilágításnak), az nem törik be, elegendően nagy kavicsból (ez felel meg a nagyobb frekvenciájú fénynek) azonban akár egy is elég lehet.

Valaki persze azt mondhatja, hogy ez a hasonlat sántít, mert ha egyszerre teherautónyi kavicsot szórunk a jégre, akkor a jég beszakad. Ebben igaza van, ezt a hasonlatot is, meg a többi makroszkopikus világból vett hasonlatot is jóindulatúan kell fogadnunk, hiszen a kvantumvilág éppen azért annyira különös számunkra, mert egyetlen klasszikus fizikából vett példa sem tudja maradéktalanul megértetni velünk.



CCD-k: A félvezető pixelek adatait gyors elektronikus áramkörök dolgozzák fel és alakítják digitális képjelekké

## A kvantumhipotézis

Elsőként a német fizikus, Max Planck vetette fel a hőmérsékleti sugárzás spektrumának magyarázata során, hogy az elektromágneses mező energiája kvantált, azaz minden adott hullámhosszon vagy frekvencián létezik egy legkisebb energiaadag, és a mező csak ennek többszörösét adhatja le vagy veheti fel az adott frekvencián. A legkisebb energiaadag a foton, melynek energiája a későbbiekben Max Planckról elnevezett Planck-állandó és az elektromágneses hullám frekvenciájának szorzata:

$\varepsilon = h \cdot f,$

ahol a $h$ Planck-állandó egy nagyon kis mennyiség: $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js.

Albert Einstein német fizikus 1921-ben kapott Nobel-díjat a fényelektromos jelenség törvényszerűségeinek magyarázatáért. Általános és speciális relativitáselmélete alapvetően változtatta meg világképünket, a térrel és az idővel kapcsolatos gondolkodásunkat. Ő magyarázta meg a Brown-mozgást, a folyadékokban és gázokban lebegő apró részecskék rendezetlen mozgását. Talán leghíresebb eredménye a tömeg és az energia kapcsolatát (egyenértékűségét) leíró egyenlete: $E = mc^2$

„Félig tudatosan, félig tudattalanul az a legfőbb cél lebegett a szemem előtt, hogy ezt a személyünkön kívüli világot a lehetőségek keretén belül megértsem. A jelenben és a múltban élt hasonló beállítottságú emberek és ezek eredményei voltak az én elválhatatlan barátaim" – írta Einstein az önéletrajzában.

**A fényelektromos hatás során a fém elnyeli a fotont, annak energiája a fém egy elektronjának adódik át. Ha ez az energia elegendően nagy, akkor az elektron elhagyja a fémet,** de mozgási energiája nem lehet több, mint a foton energiájának és a foton fémből való eltávolításához minimálisan szükséges energiának (az úgynevezett kilépési munkának) a különbsége. A jelenséget a fényelektromos egyenlet írja le:

$E_{\text{mozgási}} = h f - W_{\text{kilépési}}.$

Az egyenlet megmagyarázza azt a tényt, hogy ha a megvilágító fény frekvenciája nem elég nagy, akkor nem jön létre fényelektromos hatás, akármilyen erős, nagy intenzitású legyen is a megvilágítás! Ezer zseblámpa sem okoz fényelektromos hatást, mert a fotonok energiája nem elég nagy az elektronnak a cinklemezből való kiütéséhez.

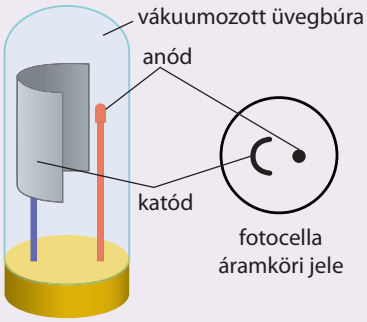
## A digitális fényképezés

A digitális kamerákban a film helyén fényérzékeny félvezető anyagból készült eszköz, **CCD** (Charge-coupled Device, azaz töltéscsatolt eszköz) helyezkedik el, amely sorokban és oszlopokban elhelyezett pixelekből áll. Egy pixel a digitális fénykép egy képpontjának felel meg. A 8 megapixeles kamera képe közel 8 millió pixelből, képpontból áll. A pixelekre eső fény hatására az atommagok körüli elektronok egy része nagyobb energiájú állapotba kerül és mozgékonyá válik. Az erősebb megvilágítás több elektront szabadít fel a fényelektromos hatáshoz hasonlóan. A keletkező elektronok azonban nem repülnek el, hanem összegyűlnek a pixelek félvezető anyagú felületén. A szomszédos pixelek között szigetelősávok vannak. A pixeleken keletkező töltések nagyságát egy ügyes elektronika rendkívül gyorsan kiolvassa, és a jeleket számokat ábrázoló digitális jellé alakítja. Az ennek megfelelő feszültségimpulzusokat elektrosztatikus töltésekké alakítva jegyzik meg a memória-áramkörök. A digitális fényképezés megváltoztatta a fényképezési szokásokat. A rosszul

## Hallottál róla?

A fény érzékelésére régen **fotocellá**t használtak. Sokan a mai fényérzékelő eszközöket is így nevezik, de a manapság használatos félvezető eszközök neve nem ez, hanem napelem, fotodióda, fototranzisztor, fotoellenállás stb.

Régen, a hagyományos elektroncsöves kivitel működése során a nagy felületű katódból a megvilágítás hatására kilépő elektronok az eszköz középső részén futó anódszálra jutottak. Megfelelő áramkörbe kapcsolva a fotocella áramforrásként szolgált, illetve az anódra jutó elektronok segítségével kondenzátor feltöltésére is alkalmas volt. Mára a félvezető eszközök teljesen kiszorították a fotocellákat, mert a mai eszközeink ezerszer–tízezerszer nagyobb áramokat képesek szolgáltatni, mint a régi fotocellák.




Fotocella és áramköri jele

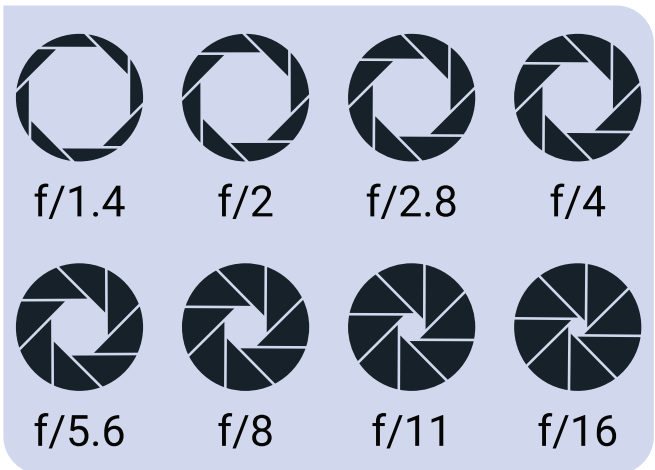
## Gondold meg!

**Mitől lesz jó a fénykép?**

A kép minősége elsősorban a fényérzékelő szenzor méretétől és minőségétől függ, valamint az optikai elemektől, a megapixelek száma csak a kép felbontását határozza meg. Nem biztos, hogy a több megapixel jobb!

Igazán jó képek készítéséhez szükség lehet a fényképkészítést meghatározó alapvető jellemzők kézi beállítására is:

*blende:*
A **blende,** vagy más néven **rekesz** nem más, mint egy változtatható átmérőjű kör alakú nyílás, amin keresztül a fény bejut a képérzékelő szenzorhoz. A blende átmérőjének változtatásával tudjuk szabályozni, hogy mennyi fény jusson a szenzorra.




A kép a különböző sugarú blendenyílások jelzéseit mutatja.

*fókusz és mélységélesség:*
Ahhoz, hogy a tőlünk egy bizonyos távolságra lévő téma élesen jelenjen meg a képen általában állítani kell az optika fókusztávolságát. Sok esetben a gép ezt automatikusan végzi el. A mélységélesség azt határozza meg, hogy az éppen fókusztávolságban levő tárgy előtt és mögött milyen távolságban legyenek még élesek a részletek. A rekesz nyitásával (kisebb szám az f/ után) csökken a mélységélesség és világosabb lesz a kép.

*záridő:*
A záridő az az időtartam, ameddig a fényképezőgép beengedi a képérzékelő szenzorra a fénysugarakat, például: 16 – 0,0005 s. Ez azt jelenti, hogy 16 másodperces és öt tízezred másodperces záridőt is tud a fényképezőgépünk. A két határérték között nagyon sok további érték állítható be. A záridő csökkentése csökkenti a szenzorra jutó fénymennyiséget, de a mozgó tárgyak képének elmosódását is.

*optikai és digitális zoom:*
Az optikai zoom használata során az objektívként használt lencse fókusztávolságát változtatva nagyíthatjuk a képet.

A digitális zoom során nem változik a fókusztávolság, csak az egyébként ugyanolyan méretű kép egyes részleteit szemléljük közelebbről. Ez minőségromlással jár, pixelessé válik, homályos lesz a kép.

A fényképezés során az automatikus beállítások használata mellett sok esetben a fenti jellemzők egyedi megválasztásával hozzuk létre a megfelelő témát a megfelelő módon megragadó képet.

Napelemtáblák

**NE FELEDD!**

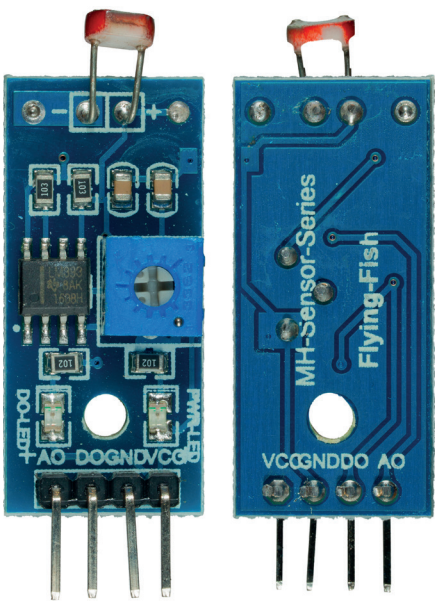
**A fényelektromos hatás során a fém elnyeli a fotont, annak teljes energiája a fém egy elektronjának adódik át. Ha ez az energia elegendően nagy, akkor az elektron elhagyja a fémet.**
**Félvezetőkben az atommagok körüli elektronok egy része az anyagot ért fény hatására nagyobb energiájú állapotba jut és mozgékonnyá válik. Ezen alapul a digitális fényképezőgépek és a napelemek működése.**

sikerült felvétel azonnal törölhető, a képek képfeldolgozó programokkal tovább alakíthatóak.

**Hasonló jelenség játszódik le a napelemekben is.** A napelemre érkező fény hatására a napelem félvezető anyagában elektronok válnak mozgékonnyá. Ezek segítségével a napelem áramforrásként használható és elektromos energiát szolgáltat.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi történik a fényelektromos hatás során?
2. Mi történik a megvilágítás hatására a fényképezőgépek, napelemek félvezetőből készült áramköreiben?
3. Írd fel a fényelektromos egyenletet, majd mondd el szavakban is!
4. Milyen képet kapunk, ha sötétben, több másodperces záridővel fotózzuk az utcai forgalmat?
5. Zn-ből készült lemez esetén a kilépési munka 4 eV. Sikerülhet-e elektronokat eltávolítani a lemezből, ha zöld fénnyel világítjuk meg. A lámpa fényereje tetszőlegesen nagy lehet




Fényszenzor modul

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy cinklemezt 12 eV energiájú fotonokkal megvilágítva, mekkora a kilépő elektronok legnagyobb mozgási energiája? A kilépési munka értékét keresd meg a Négyjegyű függvénytáblázatok megfelelő táblázatában.
2. Mennyinek kellene lennie a kilépési munkának egy olyan képzeletbeli fém esetében, amelyikből már a látható fény is képes lenne fotoelektronokat kiszakítani?
3. Hogyan működik a digitális fényképezőgép? Mi az a CCD?
4. Vajon mi a mobiltelefonokban található fényszenzorok működésének fizikai alapja?
5. Hogyan fogalmazta meg Planck a róla elnevezett hipotézist?
6. Ismertesd Albert Einstein legfontosabb tudományos eredményeit!

# 41. | A hullám-részecske kettőssége

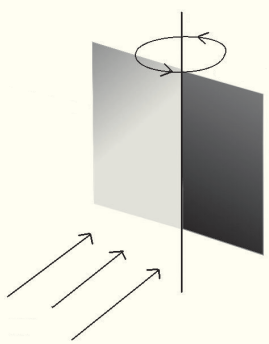
*Kísérletekkel jól bizonyítható, hogy a fény, az elektromágneses hullámok nemcsak energiát hordoznak, hanem lendületet is. Így például egy felületre (mondjuk egy fényes vitorlára) eső fény erőt (erőlökést) fejt ki a felületre a fény lendületváltozása miatt. A Nap fényét használva fényvitorlázik például az IKAROS űrszonda 2010 óta.*

## Részecske vagy hullám?

A világ megismerése során tapasztalt újdonságokat gyakran értelmezzük korábban már megértett, egyszerűbb jelenségekkel.
Newton korában a fizikusok egy része azt gondolta, hogy a fény apró, tömeggel rendelkező részecskék, korposzkulák árama, hiszen hasonlóan verődik vissza a sima felületről, mint a labdák a falról. Másik részük szerint viszont a világot kitöltő, láthatatlan, nagyon finom anyag, az éter rezgése. Ennek különböző gyorsaságú rezgései hasonló módon kelthetik bennünk a színek látványát, ahogyan a különböző frekvenciájú levegőrezgések a különböző magasságú hangokat. A fizikusok sokáig vitatkoztak erről, nem tudták eldönteni, hogy a fény részecske-e, vagy hullám. Ez a vita a XX. század elején dőlt el, és igen érdekes megállapítással végződött. A fény, ugyanúgy mint az összes többi elektromágneses hullám, egyszerre mutat részecske- és hullámtulajdonságot. Bizonyos esetekben úgy tudjuk megmagyarázni az egyes jelenségeket, hogy a fényt részecskékből, fotonokból álló részecskeseregnek tekintjük (ilyen a fényelektromos hatás), máskor viszont a hullámkép adja meg a tapasztaltak magyarázatát (ilyenek az interferencia jelenségek). Azonban nem arról van szó, hogy a fény egyszer részecske, egyszer meg hullám. Sokkal inkább arról, hogy az a valami, ami a fény, képes hullámszerű és részecskeszerű viselkedésre is. Noha gyakorlati szempontból ez nem jelent nehézséget, az emberiség gondolkodásmódjára mégis nagy hatással volt, hogy olyan valamivel találkoztunk (ez maga a fény), aminek viselkedését nem tudjuk egyszerű és szemléletes módon megmagyarázni.

## A foton lendülete

1899-ben Pjotr Lebegyev orosz fizikusnak kísérletileg sikerült bebizonyítania, hogy a fény nyomást fejt ki azokra a testekre, melyeket megvilágítunk vele. Ezt a hatást fénynyomásnak nevezzük. A fénynyomás nagyon kicsi, ezért nehezen kimutatható. Lebegyev torziós szálra függesztett egy olyan fémlemezt, melynek egyik oldala fényes, a másik pedig fekete volt. Mérőberendezését légüres térbe helyezte, és megvilágította. A fényes oldalról visszaverődő fény kétszer akkora erőt fejtett ki, mint az ugyanolyan fény, ami a sötét oldalon nyelődött el. Mindez a fémlemez elfordulását okozta.



Lebegyev mérési összeállításának vázlata

A lemez elfordulásnak magyarázatához feltesszük, hogy a fotonoknak lendülete van. A fényes oldalról visszapattannak a fotonok ekkor lendületváltozásuk – és az általuk a lemezre kifejtett erő is – kétszer akkora, mint amikor a sötét oldalon elnyelődnek.

Lebegyev feltevése szerint a foton lendületét úgy kapjuk, hogy energiáját osztjuk a fénysebességgel, tehát:

$$p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h \cdot f}{c}$$

A hullámokra érvényes $c = \lambda \cdot f$ kifejezést használva a foton lendülete a

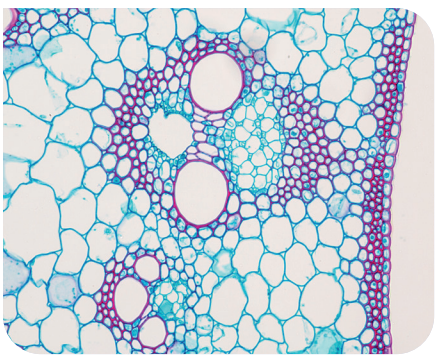
$$p = \frac{h \cdot f}{\lambda \cdot f} = \frac{h}{\lambda}$$

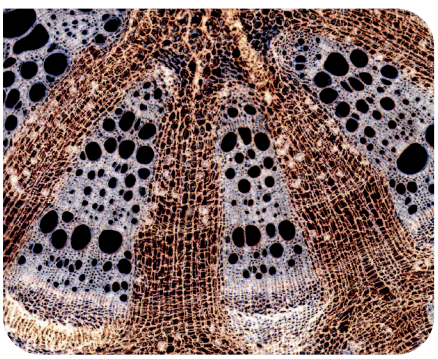
alakban is felírható.

## De Broglie feltételezése

Louis de Broglie

**Louis de Broglie** 1924-es doktori dolgozatában javasolta azt, hogy a foton lendületét kifejező egyenletet alkalmazzuk elektronokra is. Úgy vélte, hogy ha a fény fotonjainak lendülete van, vagyis a fény nemcsak hullám-, hanem részecsketulajdonságú is, akkor az elemi részecskéknek is lehet hullámtulajdonsága. A természet szimmetriája alapján gondolta úgy, hogy a részecskehullámok hullámhosszát a foton lendületére megismert képletből lehet kiszámolni. Egy részecske lendülete $p = mv$ alakban adható meg, ahol $m$ a részecske tömege, $v$ pedig a sebessége. Az így meghatározott hullámhossz: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$, amit azóta **de Broglie-hullámhossznak** nevezünk. Kezdetben senki nem akarta elfogadni de Broglie feltevését, azonban hamarosan (1927-ben) kísérletileg igazolták a feltevést, és így de Broglie 1929-ben Nobel-díjat kapott. Ma már nemcsak elektronoknál, hanem sok más részecske esetében is kimutatták a hullámtulajdonságú viselkedést (például neutronoknál, protonoknál, összetettebb molekuláknál is).





Elektronmikroszkóppal készített képek

Elektronmikroszkóp

### Hallottál róla?

Davisson és Germer 1927-ben elektronokkal bombázott nikkel egykristályt. A kísérlet során különböző szögekben elhelyezett detektorokkal érzékelték, hogy milyen gyakran verődnek vissza az elektronok a detektor irányába. A gondosan elvégzett mérés során kapott eredményeket kizárólag úgy tudták értelmezni, ha feltételezték, hogy az elektronok hullámként térülnek el a nikkel egykristályon és a hullámokra jellemző interferenciaképet hoznak létre. A hullámhosszra ugyanazt a képletet kapták, amit de-Broglie adott meg.

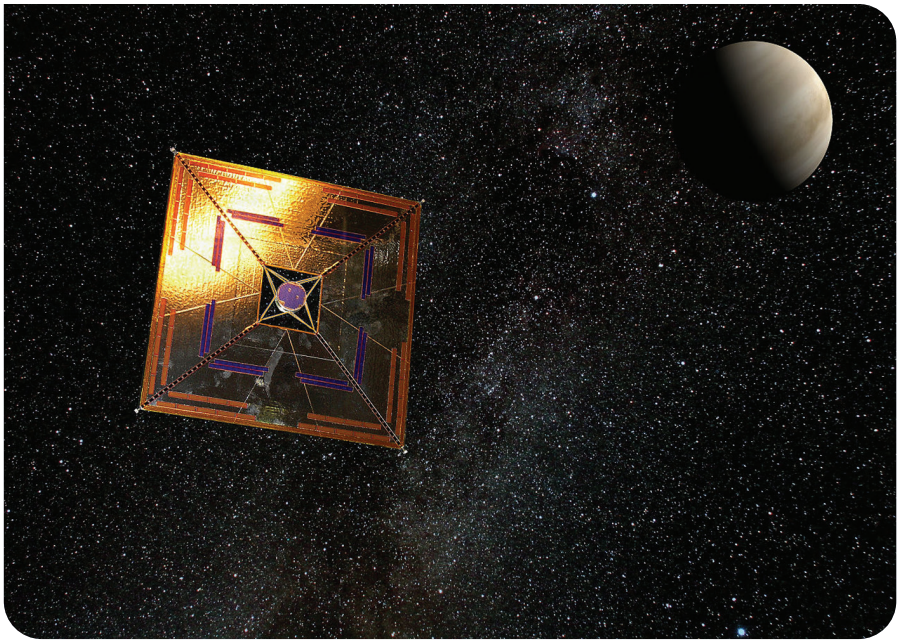
Davisson és Germer cikkét az alábbi hivatkozásra rákeresve találod meg az interneten, de-Broglie feltevését igazoló kísérleti eredményüket a Nature nevű tudományos folyóiratban publikálták: Davisson, L.H. Germer (1927). „Reflection of electrons by a crystal of nickel". Nature 119: 558–560. doi:10.1038/119558a0.

**Az elektronmikroszkóp**

A mikroszkóp elméleti felbontóképessége az egyszerű becslés alapján a megvilágító fény hullámhosszának nagyjából a fele, ez látható fény esetén körülbelül 200 nm. Nagyon jó optikai mikroszkóppal, az alkalmazható legnagyobb nagyítás (1000-1500 szoros) mellett sem tudunk egymáshoz ennél közelebb eső részleteket elkülöníteni a nagyított képen.

Az elektron hullámhossza de-Broglie formulája alapján a látható fény hullámhosszánál jóval kisebb is lehet. Az úgynevezett elektronmikroszkópban fény helyett megfelelő energiára felgyorsított elektronokat használnak a kép létrehozására, így a több 100000-szeres nagyítás is elérhető, a képen könnyen megfigyelhetővé válnak a 100nm-nél kisebb részletek is.

A transzmissziós elektronmikroszkóp felépítése hasonlít az optikai mikroszkópéhoz, az elektronokat lencsék helyett mágneses mező segítségével térítik el. A vizsgált anyagból nagyon vékony réteget állítanak elő, ezen haladnak át a képet létrehozó elektronok.



Az IKAROS űrszonda útjáról készült fantáziakép

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mit jelent a részecske – hullám kettősség?
2. Mekkora lenne a 85 kg tömegű ember hullámhossza, ha 6 m/s sebességgel szaladna?
3. Számold ki egy, a térben szabadon repülő, 1MeV energiájú elektron hullámhosszát!
4. Keress az interneten elektronmikroszkóppal készített képeket, milyen nagyítással készültek, mekkora a felbontásuk? Mit ábrázolnak?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

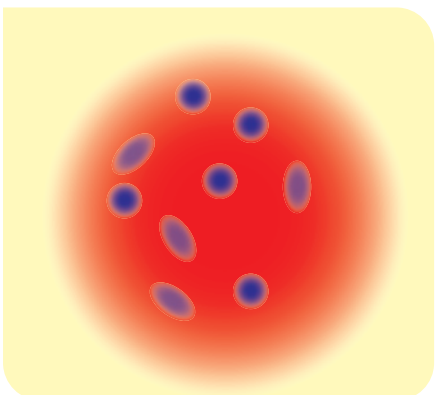
1. Mi történne, ha Lebegyev kísérlete során az egyenletesen fényes fémlemez egyik oldalát kék, másik oldalát vörös fénnyel világítanánk meg. Tegyük fel, hogy a kísérletben nagyon érzékeny ingát használunk.
2. A Nap fényét felhasználva fényvitorlázik az IKAROS űrszonda 2010-óta. Nézz utána a küldetés részleteinek az interneten, tervezz a fény nyomásával működő űrvitorlást. Ha tudod, terveidet támaszd alá előzetes számításokkal is.
3. Mikor üti meg a labda jobban a kapus kezét? Ha elkapja, vagy ha visszaöklözi? Melyik esetben változik meg jobban a folyamat során a labda lendülete?

## NE FELEDD!

**A fény részecske- és hullámtulajdonságokat is mutat, a részecskék pedig hullámtulajdonságokkal is rendelkeznek.**

# 42. | Az anyag felépítése

*A tudományos megismerés egymásnak gyakran ellentmondó elképzelések versengésével halad előre. Az ókorban a tudós Arisztotelész azt gondolta, hogy az anyag vég nélkül osztható. Démokritosz elképzelése szerint ellenben tovább már nem osztható építőkövekből, atomokból áll (atomosz görögül „oszthatatlan”-t jelent). Az atomok létét sok tény látszott alátámasztani, egészen addig, amíg fény nem derült azok szerkezetére… Kinek adnál igazat ma?*

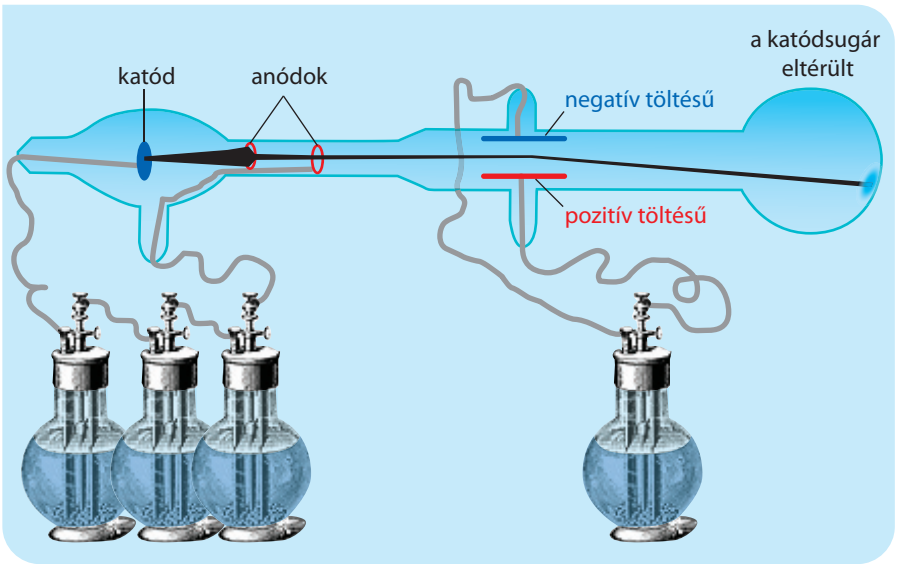


A Thomson-féle atommodell, 1904

Azt, hogy az anyag tovább nem osztható építőkövekből áll, először **Démokritosz** vetette fel Krisztus születése előtt 500 körül. Az 1800-as évek elején ugyanezt tételezte fel **John Dalton**, amikor kémiai reakciókat vizsgált. Úgy képzelte, hogy az atomok parányi gömbök, amiből kampók állnak ki.

## Thomson atommodellje

1897-ben **J. J. Thomson** katódsugárcsővel végzett kísérleteket. Nagyon erős elektromos mezővel sugárzást keltett különféle fémekből. A sugárzásról kimutatta, hogy az kis tömegű, erősen negatív töltésű részecskékből áll, melyeket elektronoknak neveztek el.




Thomson katódsugárcsöve

Bármilyen fémet használt, ugyanolyan tulajdonságú részecskék kilépését figyelte meg. Ebből arra következtetett, hogy az elektron az anyag egyik építőköve. Mivel az anyagok elektromosan semlegesek, kell lennie egy másik, pozitív töltésű építőkőnek is. Mivel azonban pozitív töltésű részecske kilépését nem figyelte meg, azt feltételezte, hogy az atom nagyobb tömegű, pozitív anyaga folytonosan oszlik el, és ebben ülnek az elektronok. A Thomson-féle atommodellt egy **dinnyé**hez vagy egy **mazsolás kalács**hoz hasonlóan lehet elképzelni.

## Az atommag

1896-ban **Henri Becquerel** (ejtsd: bekerel) fedezte fel a radioaktív sugárzást, melynek egyik összetevője, az úgynevezett alfa-sugárzás nagy tömegű és pozitív töltésű részecskék áramának bizonyult. Nem tudták, mik ezek a részecskék, valahogyan nevezni kellett őket, így született az alfa-sugárzás elnevezés. Később kiderült, hogy az alfa-részecskék valójában héliumatommagok.

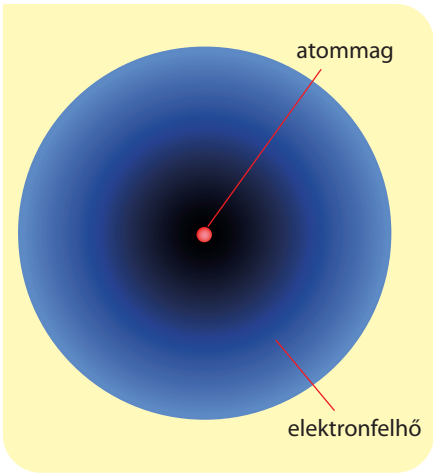
**Ernest Rutherford** (ő adta az alfa-, béta- és gamma-sugárzások nevét) vékony aranyfóliát bombázott nagy energiájú alfa-részecskékkel, és azt várta,

Ernest Rutherford Új-Zélandon született, életének legnagyobb részében a cambridge-i egyetemen tanított. 1908-ban kémiai Nobel-díjat kapott

hogy a nehéz alfa-részecskék lényeges irányváltozás nélkül haladnak majd át a Thomson-féle atom egyenletesen eloszló anyagán.

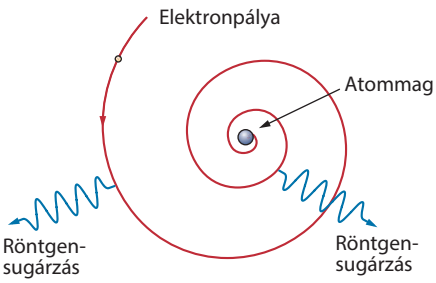
Ez általában így is történt, az alfa-részecskék kis hányada azonban lényegében visszapattant a fémfóliáról.

1911-ben az alfa-részecskékkel végzett kísérletek alapján Rutherford arra következtetett, hogy az atomok tömege az igen kicsi atommagokban koncentrálódik. Számításai szerint a nagyjából $10^{-10}$ m átmérőjű atomok majdnem teljes tömege egy nagyon kis térrészben összpontosul, **ez az atom pozitív töltésű magja,** mely körül keringenek a negatív töltésű elektronok. Az alfa-részecskék akkor pattannak vissza a fóliáról, ha a velük azonos előjelű töltéssel rendelkező, és még náluk is jóval nehezebb atommagot találják el. Rutherford híres méréséről kémiaórán már tanultunk.




Az atom és az atommag. A nagy tömegű atommag a valóságban mindössze az atom százezred része

Rutherford kísérletei feltárták az atommag létezését, arról azonban nem adtak információt, hogy az elektronok hogyan helyezkednek el az atommag körül. Kézenfekvő volt a gondolat, hogy az elektronok a Coulomb-erő hatására ahhoz hasonlóan keringenek az atommag körül, ahogyan a gravitációs vonzás miatt a Hold kering a Föld körül. Az elektromágnesség törvényei szerint azonban a körpályán mozgó és ezért állandóan gyorsuló (centripetális gyorsulással rendelkező) elektronoknak parányi antennaként elektromágneses sugárzást kellene kibocsátaniuk, aminek révén folyamatosan veszítenének energiájukból. Az ilyen atom tehát nem létezhetne tartósan. A Rutherford-féle atommodell nem tudta megmagyarázni az izzó gőzök vonalas színképét, már a legegyszerűbb atom, a hidrogén színképvonalainak kialakulását sem. A hidrogéngázzal töltött kisülési csőben keletkező fény színképét vizsgálva abban négy, a látható fény tartományába eső színképvonalat azonosítottak, melyeknek pontosan megmérték a frekvenciáját. Ilyen sugárzást az atommag körül keringő elektron nem bocsáthatott ki.

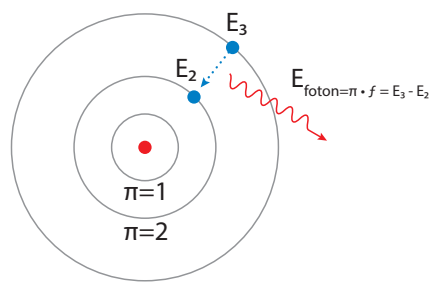



Rutherford modell és hibája

Több okból is sejtették a kutatók, hogy az atommagban kell lennie elektromosan semleges részecskének is. Az atommagok minden vizsgált elem esetében nehezebbnek bizonyultak a bennük levő protonok tömegénél, másrészt nehéz volt elképzelni, hogy az egymást taszító protonok hogyan képesek együtt maradni az atommagban. **1932-ben James Chadwick** (ejtsd: csedvik) alfa-részecskékkel bombázott berilliumfóliát, és elsőként sikerült megfigyelnie azt, amikor az anyagból elektromosan semleges részecskék, neutronok lépnek ki.

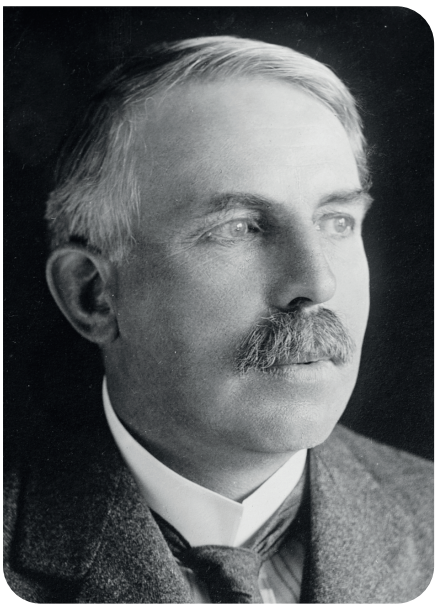
## A Bohr-modell

**Niels Bohr** dán fizikus 1913-ban kiegészítette Rutherford modelljét azzal a feltétellel, hogy az atom körül az elektronok csak bizonyos, jól meghatározott sugarú körpályákon keringhetnek, és ezeken a körpályákon keringve nem sugároznak. A kiválasztott pályák mindegyikéhez egy jól meghatározott energia tartozik, az adott pályán lévő elektron energiája. Amikor az elektron egy nagyobb energiájú pályára kerül, akkor az atom fényt nyel el, amikor egy kisebb energiájú pályára, akkor fényt bocsát ki.




Bohr modell

Niels Bohr dán fizikus, az atomszerkezet és a kvantumfizika területén dolgozott. 1922-ben kapott Nobel-díjat



Ernest Rutherford (1871-1937)

Bohr megadta a lehetséges körpályák sugarát és a hozzájuk tartozó energiaértékeket is. A Bohr-modell nagyon jól leírta a hidrogénatom mérések során megismert színképét, és sikeresen lehetett használni más, hidrogénszerű atomok, ionok színképének magyarázatában is. Az atommodellekről kilencedikben kémiaórákon már tanultunk, most ezeket az ismereteinket próbáljuk elmélyíteni.

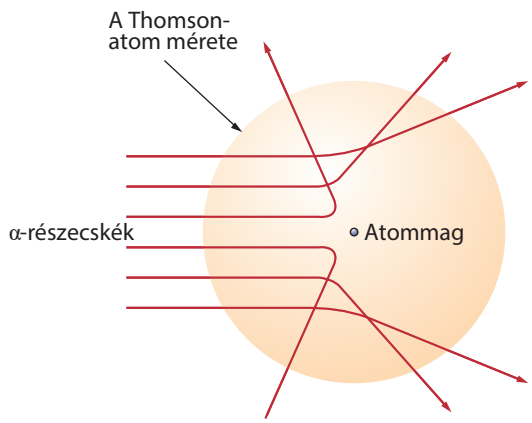
## ERNEST RUTHERFORD (1871–1937) *(Olvasmány)*

Új-Zélandon született. Szegény, sokgyermekes, farmer szülők gyermekeként állami ösztöndíjjal került a szerény új-zélandi egyetemre, majd Angliába, ahol J. J. Thomson irányítása alatt kezdett el dolgozni.

1897-ben fedezte fel azt, hogy *a radioaktív sugárzás alfa-, béta-sugarakat tartalmaz*. 1898 és 1907 között Kanadában dolgozott a montreali egyetemen. Itt egy sor fontos felfedezést tett a radioaktivitás körében. 1907-ben visszatért Angliába.

1908-ban kémiai Nobel-díjat kapott az „atom bomlásának vizsgálataiért és a radioaktív anyagok kémiájában elért eredményeiért". Ez némi keserűséggel töltötte el, mert fizikai Nobel-díjat remélt. Egy ismert mondása szerint egyetlen komoly tudomány van csak, a fizika, a többi csak bélyeggyűjtés.

1911 a híres szórási kísérlet és atommodellje felállításának éve volt.




Rutherford-féle szóráskísérlet

1914-ben megmutatta, hogy *a radioaktív gamma-sugárzás elektromágneses hullám*. 1919-ben a cambridge-i Cavendish Labora tórium élére került. *Felfedezte az első mesterséges magátalakulást,* és megalkotta az első magmodellt, miszerint a magban a protonok mellett elektronok is vannak. Ez a modell később hibásnak bizonyult. Az 1920-as években már megsejtette, hogy az atommagban valami újszerű részecske kell, hogy legyen. Ez vezet majd el a neutron felfedezéséhez.

Rutherfordot méltán tarthatjuk a fizikatörténet egyik legnagyobb kísérletezőjének. Emellett iskolateremtő fizikusként is a legnagyobbak egyikének számít. Tíz Nobel-díjas tanítványa volt.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen alkotórészekből állnak az atomok és a molekulák? Milyen elemi részecskéket ismersz?
2. Hogyan képzelte el Thomson az anyag felépítését?
3. Miért nevezik a Rutherford által megalkotott atommodellt Naprendszer-modellnek?
4. Hol húzódna annak a képzeletbeli atomnak a határa, aminek magja 10 cm átmérőjű narancs nagyságú lenne?
5. Miért gondolta Rutherford, hogy a pozitív töltésű, nehéz mag az atomhoz képest igen kis méretű?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Keress az interneten Rutherford szórási kísérletét szimuláló programot és futtasd a szimulációt. Figyeld meg, milyen paramétereket lehet változtatni és a változások hogyan befolyásolják a szimuláció eredményét.
2. Miért gondolta Thomson, hogy az anyag pozitív töltésű része folytonosan oszlik el a térben? Hogyan képzelhették el az atomokat akkor, amikor még csak az elektront és a protont ismerték?
3. Egy, a Rutherfordéhoz hasonló kísérletben az 5 MeV energiájú alfa részecske éppen egy aranyatom magja felé halad. Mennyire közelíti meg legjobban a magot, ha egyenesen továbbhaladva éppen eltalálná? Az egyszerű számolás során tekintsünk el az atommag körüli elektronok hatásától és az atommagot gondoljuk rögzítettnek.
4. Add meg a hidrogénatom körül keringő elektron teljes (mozgási és kölcsönhatási) energiájának kiszámolására alkalmas képletet!

   *Útmutatás:* A $Q_2$ töltésű részecskétől $r$ távolságra lévő $Q_1$ töltésű részecske helyzeti energiája:

   $E_{\text{helyzeti}} = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r}$

   $k$ a Coulomb-törvényben szereplő állandó, $Q_1$ és $Q_2$ előjellel együtt értendőek.

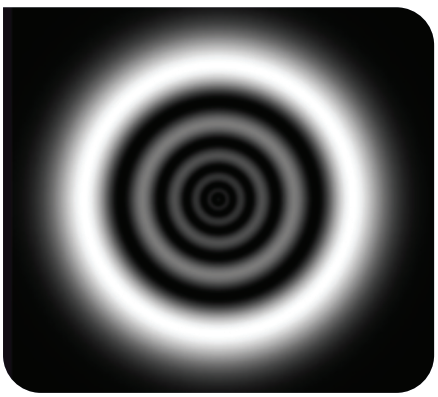
## NE FELEDD!

**A molekuláris anyag építőkövei az atomok. Az atomokról alkotott képünk lépésről lépésre vált egyre pontosabbá. Az elektronok felfedezése után megalkotott Thomson-féle atommodellt az atommag felfedezése és a Rutherford-féle atommodell megalkotása követte, amit Niels Bohr tökéletesített a róla elnevezett posztulátumok alkalmazásával. Az atom szerkezetének pontos leírását a kvantummechanika szolgáltatta. Az anyag kutatása végül elvezetett az elemi részecskéket és a köztük lévő kölcsönhatásokat egyaránt leíró elmélethez, amit standard modellnek nevezünk.**

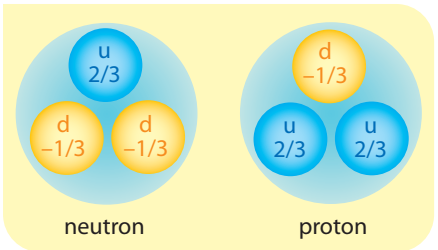
**Az egyre kifinomultabb atommodellek segítségével egyre jobban sikerült megmagyarázni a vizsgált színképek elemzése és a szóráskísérletek során tapasztaltakat.**

# 43. | Múlt századi nagy felfedezések

*Nagyon furcsa volt! Egy játékos egy golyót tett az asztalra, és meglökte a dákóval. Tompkins úr nézte, ahogy gurul és egyszer csak észrevette: kezd „szétterjedni”. Csak így tudta kifejezni a golyónak azt a furcsa viselkedését, hogy amint mozgott a zöld felületen, egyre elmosódottabbá vált, és elvesztette éles körvonalát.*
*George Gamow: Tompkins úr kalandjai a fizikával, Kvantumbiliárd*



Elektronállapotok szemléletes ábrázolása. Ahol erőteljesebb a fény, ott nagyobb valószínűséggel található az elektron.
A kép a H-atom elektronjának egyik magasan gerjesztett állapotát ábrázolja (az $n = 5$ főkvantumszámhoz tartozót)




A proton és a neutron felépítése a standard modellben

## A kvantummechanikai atommodell

A Bohr-modell azonban önkényes feltevéseken alapult. Miért nem sugároznak a feltételezett körpályákon mozgó elektronok? A XX. század elején olyan új fizikai elmélet született, ami Niels Bohr különös feltevéseire is magyarázatot adott, és az atomok szerkezetének jobb megértését eredményezte. Ez az elmélet a kvantummechanika volt, ami lényegesen új szemlélet kialakulásához vezetett. A megelőző évszázadokban az anyagot alkotó apró részecskéket leginkább kis testeknek képzelték, amiknek alakja, tömege, sebessége – tehát lendülete is – van. Ezt tükrözi a részecske elnevezés is. A **kvantummechanikai atommodell**ben a részecskéket nem a helyükkel és sebességükkel jellemzik, hanem az **állapotfüggvény**ükkel. Az állapotfüggvényből a részecskék helyét és lendületét csak bizonyos körülmények között és csak bizonyos valószínűséggel lehet meghatározni. Az állapotfüggvény abszolút értékének négyzete a tér egy pontjában megadja azt, hogy milyen valószínűséggel található az elektron az adott pont kis környezetében.

A kvantummechanikai számítások során természetesen adódott, hogy az elektron az atom körül csak jól meghatározott állapotokban (sajátállapotok) lehet, és ezekhez jól meghatározott energiák (sajátenergia) tartoznak. A fizikusok – először a hidrogénatom esetében – kiszámolták az atommag körül lévő elektronok állapotfüggvényeit, és azt, hogy milyen valószínűséggel találhatók az elektronok az atommag körüli tér egyes pontjaiban.

Az eredmények birtokában egyre kevésbé tűnt helyesnek az atom körül lévő elektront parányi részecskének elgondolni. Hogyan lehet egy részecske bizonyos valószínűséggel mindenütt az atommag körül, ráadásul a tér – az ábra által világossal jelzett – egymástól elkülönülő tartományaiban?

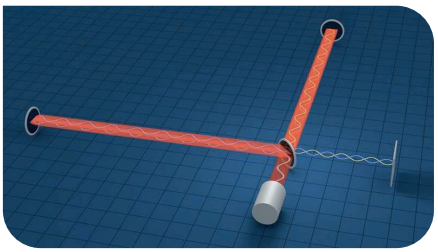
## A standard modell

A proton, az elektron és a neutron felfedezése csak a kezdet volt a sorban. Egyre több, egyre különlegesebb részecskét fedeztek fel a szóráskísérletek és az atomok ütközéseinek megfigyelése során. Ilyen részecske a nagyon kis tömegű semleges részecske, a **neutrínó**, az elektronnal egyforma tömegű, de pozitív töltésű **pozitron**, az elektron töltésével megegyező töltésű, de jóval nagyobb tömegű **müon**. A szaporodó kísérleti eredmények alapján alkották meg a részecskéket és a köztük levő kölcsönhatásokat leíró **standard modell**t.

A standard modell szerint a protonok és a neutronok is összetettek, úgynevezett kvarkokból épülnek fel. A természetben hatféle kvark létezik, melyek elektromos töltése az elektron töltésénél is kisebb. Egy protont és egy neutront három-három kvark alkot. Az elektron töltésének nagyságát $e$-vel jelölve (ezt nevezzük elemi töltésnek) a proton két $+(2/3)e$ elektromos töltésű „up” kvarkot és egy $-(1/3)e$ töltésű „down” kvarkot tartalmaz, amelyek szoros kölcsönhatásban vannak egymással. A neutron két „down” és egy „up” kvarkból áll.

A standard modellben a természetben fellelhető alapvető kölcsönhatásokat is részecskék közvetítik.

A világegyetemben **négy alapvető kölcsönhatás** van, ezek az erős, a gyenge, az elektromágneses és a gravitációs kölcsönhatás. Közülük a gravitációs kölcsönhatás a leggyengébb, de ennek a hatótávolsága a legnagyobb, gyakorlatilag végtelen. Az elektromágneses kölcsönhatás is hasonlóan nagy hatótávolságú, de sokszorta erősebb, mint a gravitációs. A gyenge és erős (vagy nukleáris) kölcsönhatások nagyon rövid hatótávolságúak, gyakorlatilag az atommagokon belül lépnek fel. Az elmélet szerint az alapvető kölcsönhatások a megfelelő, a kölcsönhatást közvetítő részecskék kicserélésével értelmezhetőek. Az elektromágneses kölcsönhatás közvetítő részecskéi a fotonok, az erős kölcsönhatásé a gluonok, a gravitációs kölcsönhatásé a gravitonok. Jelenleg is, a közeljövőben is nagy erőfeszítéseket tesznek a kísérleti fizikusok, hogy megtalálják a gravitont. 2015-ben a **LIGO** gravitációs hullámokat megfigyelő obszervatórium mindkét detektora gravitációs hullámokat észlelt. Azóta többször megismétlődött a gravitációs hullámok észlelése, melyeket fekete lyukak összeolvadása vált ki, de megfigyeltek már fekete lyuk és neutroncsillag „bespirálozását” is. A kutatásban részt vesz több tucat amerikai és európai kutatócsoport mellett a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem és a debreceni MTA Atommagkutató Intézet összefogásában működő **Eötvös Gravity Research Group** (EGRG), valamint a Szegedi Tudományegyetem LSC csoportja és az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont. 2017-ben **Rainer Weiss**, **Barry C. Barish** és **Kip S. Thorne**, a **LIGO/Virgo** együttműködés vezetői a gravitációs hullámok kutatásában nyújtott munkájukért elnyerték a fizikai Nobel-díjat.



LIGO (USA) gravitációs hullámokat észlelt

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mikor alakult ki a kvantummechanika?
2. Milyen elektromos töltése van a kvarkoknak?
3. Melyek a természetben megnyilvánuló alapvető kölcsönhatások és milyen részecskék közvetítik ezeket?
4. A hely és a sebesség helyett hogyan írja le a mikrorészecskéket a kvantummechanika?

## NE FELEDD!

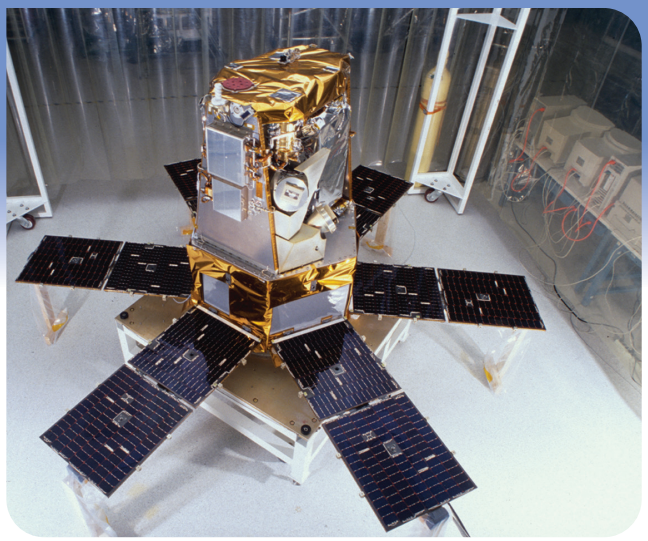
**A kvantummechanikában a részecskéket nem a helyük és a sebességük, hanem az állapotfüggvény segítségével írják le. Az állapotfüggvény abszolút értékének négyzete a tér egy bizonyos pontjában megadja azt, hogy milyen valószínűséggel található a részecske az adott pont kis környezetében.**

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Az interneten találhatsz kisalkalmazásokat és szimulációkat (atomic orbitals simulation, atomic orbitals applet), amelyek egy atom elektronállapotainak képét (az elektronok megtalálási valószínűségét) állítják elő. Az elektronállapotokat a kvantumszámok határozzák meg, a két legfontosabbat *n*-nel (főkvantumszám) és *l*-lel (mellékkvantumszám) jelölik. Az *n* és *l* növelésével egyre bonyolultabb, nagyobb energiájú elektronállapotokat állíthatsz elő. Rajzolj le néhányat! Mi jellemzi az $l = 0$ állapotokat?
2. Nézz utána, hogy a standard modellben hány elemi részecske szerepel, és ezekből hogyan épül fel a többi részecske!
3. Mekkora az állapotfüggvény értéke a tér egy olyan pontjában, ahol a részecske nem tartózkodhat?
4. Milyen kvarkok alkotják a standard modellben a protonokat és neutronokat?
5. A közelmúlt egyik legjelentősebb kutatási eredménye a standard modell által feltételezett Higgs-bozon nevű részecske létezésének kísérleti alátámasztása. Nézz utána, hol és hogyan történt ez a felfedezés!

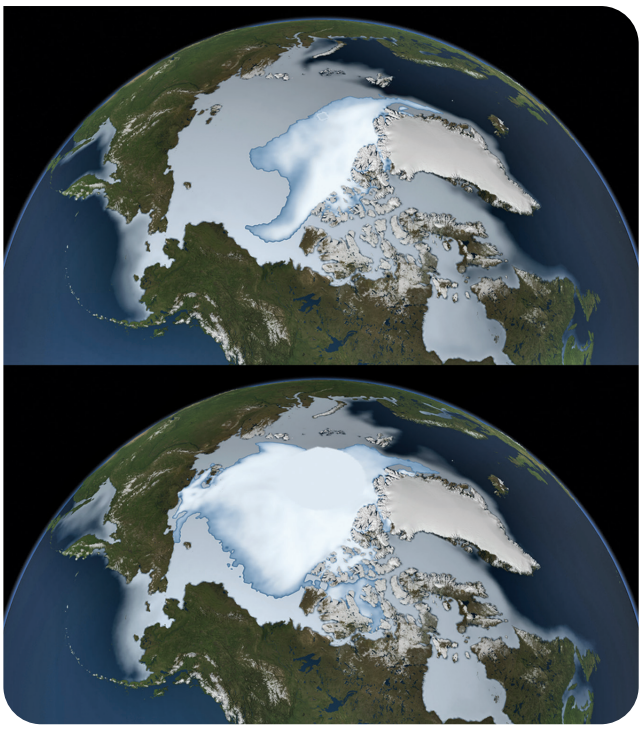
## Ez a műhold

*a SORCE (Solar Radiation and Climate Experiment), 2003-tól bő tíz éven át vizsgálta a Napból érkező elektromágneses sugárzást, a teljes színkép 95%-át. A globális felmelegedés kutatásában miért fontos a Földre érkező napenergia mennyiségének igen nagy pontosságú meghatározása?*



## A globális felmelegedés

*hatására riasztó mértékben húzódik vissza az Északi-sarkvidék nyári jégtakarója. Mely évekhez köthető a felső, illetve az alsó kép? (A kérdést némi internetes szörföléssel lehet eldönteni.)*



## Szénizotópos

*kormeghatározással viszonylag nagy pontossággal kideríthető a képen látható mumifikálódott emberi test halálának ideje. Hogyan működik ez a módszer?*

# KÖRNYEZETÜNK ÉPSÉGÉNEK MEGŐRZÉSE

Magasan dúsított

*tiszta uránkorong látható a képen. Az urán az ólomhoz hasonló színű, szintén nagy sűrűségű szürke fém. Hogyan lehetséges az, hogy a radioaktív uránt kézben lehet tartani? Nem veszélyes ez az emberre?*

# 44. | Energia, környezet, éghajlat (összegzés, ismétlés)

## Megújuló és nem megújuló energiák

Az energiaforrásokat megújuló (nap-, szél-, vízenergia, árapály-energia, geotermikus energia stb.) és nem megújuló (szén, kőolaj, földgáz, hasadóanyagok stb.) energiaforrásokra osztjuk.

Megújulónak nevezünk egy energiaforrást, ha megújulását a felhasználásának mértéke nem befolyásolja. Helyes gazdálkodás, a felhasználás ésszerű mértéke mellett megújuló energiaforrás a fa vagy a biomassza is, azonban ezek túlzottan nagymértékű felhasználása ökológiai katasztrófához, például sivatagosodáshoz vezethet.

Geotermikus erőmű a Fülöp-szigeteken

A nem megújuló energiaforrások esetében nyilvánvaló, hogy a készletek előbb-utóbb kimerülnek. Ennek időpontját nehéz megjósolni, hiszen újabb készletek felfedezésén túl, az új technológiák is egyre több lehetőséget tesznek kihasználhatóvá (pl. újrahasznosításokat, lezárt bányák újranyitását).

## Megújuló energiák

A legfontosabb megújuló energiaforrásaink közé tartozik a napenergia, a szélenergia, a vízi energia, a tengerek árapály-energiája, a megújuló geotermikus földhőenergia, a biomassza, az energianövények és a bioüzemanyagok energiája.

Napfarm Freiberg (Németország) mellett

A ***Nap energiája*** a Föld energiaellátásának legalapvetőbb forrása. A napfény a Föld minden egyes négyzetméterére (merőleges beesés esetén) közel 1400 J energiát szállít másodpercenként. Ha ezt az energiát a ferde beesésekre átlagoljuk és a Föld árnyékos oldalára is elosztjuk, akkor négyzetméterenként és másodpercenként 342 J értéket kapunk. Azonban ebből a felhők sokat visszavernek, továbbá a légkör is elnyel belőle, tehát a Föld felszínére nagyjából 200 W/m$^2$ energia jut. Magyarországot érő átlagos napenergia közel hét és félszer akkora, mint a Föld teljes villamosenergia-termelése.

A ***szélenergiát*** régóta használja az emberiség, gondoljunk csak a szélmalmokra. Elektromosenergia-termelésre az utóbbi két-három évtizedben rengeteg hatalmas szélkereket építettek. A legnagyobb gond ezekkel az, hogy a szárazföldek belsejében alig van szél, vagy ha van, akkor egyszerre fúj mindenhol, tehát nehéz ezeket kiegészítő elektromos energiaforrásként használni. A tengereken, óceánokon sokkal erősebbek a szelek, de oda nehéz szélkerekeket telepíteni.

Szélfarm a Fülöp-szigeteken

A ***vízi energiát*** régóta használja az ember. Nagy vízhozamú, erős lejtésű folyókon szinte önmagát kínálja a lehetőség, hogy duzzasztógátakkal nagy esést adjunk óriási víztömegeknek, így termeljünk elektromos energiát. Ma a világ elektromos energiájának nagyjából 16%-át állítják elő vízi erőművekben.

Az Aldeadávila-gát a Douro folyón Portugália és Spanyolország között

Az árapály energiáját kétféleképpen használhatjuk ki. Az ősi módszer az, hogy amikor jön a dagály, különösen, ha a Hold mellett a Nap árapálykeltő hatása is növeli a dagály szintjét, akkor a feltorlódott vizet egy magasabban fekvő tározóba zárják, vagyis a dagály csúcspontján lezárják a tározó gátját, és azután folyamatosan használják a tározóban lévő víz helyzeti energiáját. A modern módszer szerint a tengerbe helyeznek egy olyan turbinát, amit az apály-dagály miatt mozgásban lévő tengervíz hajt meg.

Árapályerőmű Észak-Írországban

A ***geotermikus energia***, vagyis a földhő hasznosításának is több módja van. Ha a területen igen erős a vulkáni tevékenység, akkor a mélységgel gyorsabban változik a hőmérséklet.

## Fosszilis energiahordozók

A napfény látja el energiával a növények túlnyomó többségét. Az állatok vagy növényekkel táplálkoznak, vagy növényevő állatokat fogyasztanak, így közvetett módon szinte minden élőlény a napfény energiáját használja. A Földet érő napsugárzás okozza a szeleket, hozza létre a vízkörzést, vagyis vízzel látja el a folyókat, tehát a szél- és a vízenergia is a napfényből ered. Az elbomló növényekből származnak a fosszilis energiahordozóink, a feketekőszén, a barnakőszén, a kőolaj, a földgáz.

Antracit

## Atomenergia

Az atomenergia az atommag szerkezetében rejlő energia, melyhez a 20. század óta fér hozzá az emberiség. Az atomreaktorokban legtöbbször urán fűtőelemeket használnak. Az urán-235-ös atommagok hasadnak kisebb részekre, a hasadási termékek stabilabbak az uránnál, vagyis erősebben kötöttek, mélyebb energiájúak, így a folyamat energiafelszabadulással jár. Az atomerőművekben Einstein híres $E = mc^2$ összefüggésével összhangban a tömeg energiává alakul.

Az atomerőművek a hőerőművekhez hasonlóan működnek, azonban a termikus energiát nem fosszilis tüzelőanyagok elégetésével, hanem atom- maghasadással állítják elő.

Jelenlegi energiafelhasználásunkban döntő a fosszilis energiaforrások használata, hiszen ha összeadjuk, a kőolaj, a szén, a földgáz adja ki a felhasznált energia 85%-át. Ezek az energiaforrások a viszonylag közeli jövőben kimerülnek, vagyis a megújuló energiaforrások nagyobb térnyeréséig megoldást kell találni az emberiség energiaigé-

Atomerőmű irányítóterme

nyének más módon történő kielégítésére. A jelenlegi technológiai lehetőségek mellett világosan látszik, hogy még hosszú időn keresztül az emberiség rászorul a nukleáris energia felhasználására. Nem az a megoldás, hogy nem építünk atomerőműveket, és közben bezárjuk a régieket, hanem az, hogy biztonságosabb atomerőműveket építünk, a régebbiek biztonságát fokozzuk, valamint megtaláljuk azokat a helyeket a Földön, ahol a radioaktív hulladékot gyakorlatilag korlátlan ideig biztonságosan tudjuk tárolni.

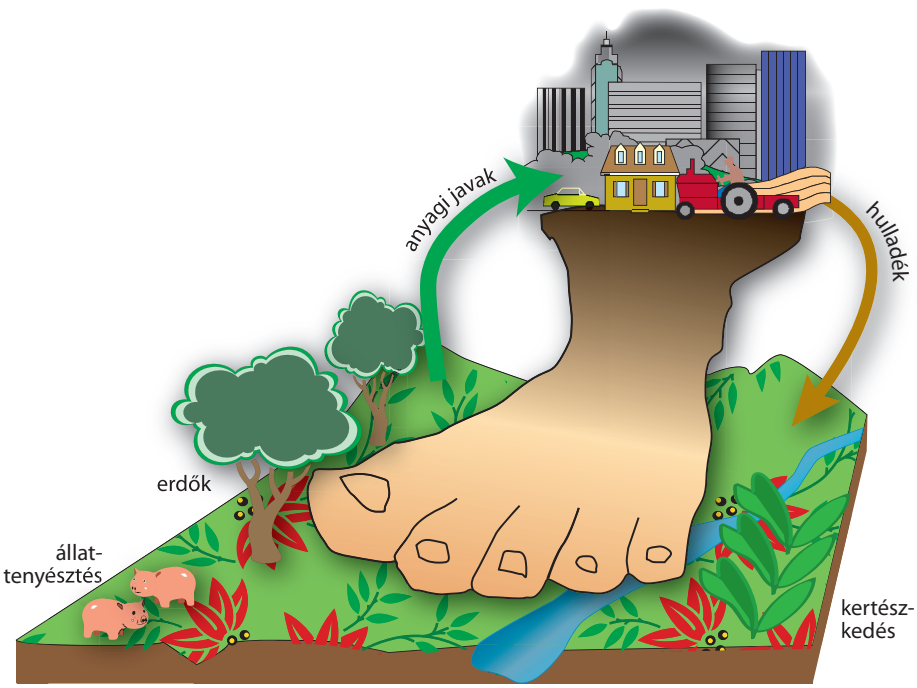
## Környezetszennyezés és energia

Az emberiség energiaigényeit a jelenleg alkalmazott technológiák sok esetben jelentős környezetszennyezés mellett képesek csak kielégíteni. Az atomerőművekből baleset esetén kiszökő radioaktív izotópok nem állnak meg a határoknál, ahogyan más, a légkörbe került szennyező anyagok – por, $CO_2$ – sem. A környezetvédelem mindannyiunk közös feladata. Az első, amit tehetünk a személyes életünkben megvalósított energiatakarékosság, a szükségtelen energiafogyasztás elkerülése. A tudományos kutatások részben arra törekszenek, hogy a meglévő környezetbarát energiaforrásokat – például a napelemeket – növekvő hatásfokkal és egyre szélesebb körben használja az emberiség. A kutatás másrészt az újabb energiaforrások használatba vételére irányul. Ilyen ígéretes lehetőség a tüzelőanyag cella. A cellát hidrogénnel működtetve a hidrogén és oxigén reakciójából – a felhasználható elektromos áram mellett – víz keletkezik. Sokat segíthet az energiagondokon az energiatakarékos technológiák elterjedése. A gépjárműpark hibrid, illetve elektromos hajtásra való átállítása csökkenti a benzinfogyasztást, illetve az abból eredő környezetszennyezést.

Mivé alakul végső soron az elektromos autó „üzemanyaga”?

## Környezetszennyezés és ökológiai lábnyom

Becslések szerint a Földön 12,8 milliárd hektár ökológiailag aktív föld- és tengerfelület van, és jelenleg 7,1 milliárd ember. Így kiszámítható, hogy minden emberre csak $\frac{11,3}{7,1}$ = 1,6 hektár jut. Könnyen belátható, hogy a Föld véges mérete miatt a biológiailag aktív terület nagyságát nem növelhetjük korlátlanul. Sőt, az is belátható, hogy igen veszélyes a mezőgazdasági művelésbe bevont területek korlátozott mértékű növelése is, hiszen ez legtöbbször az erdők, esőerdők felszámolásával, felégetésével jár, ami beláthatatlan környezeti károkat okoz. A Föld népességének növekedése az elkövetkező évtizedekben várhatóan folytatódni fog, ezért azzal kell számolnunk, hogy a teljes Földre számított egy emberre jutó 1,6 ha/fő csökkenni fog. Belátható időn belül az emberiségnek nincs módja „másik Földre” költözni, így a népességnövekedésből és a földi anyagi források pazarló használatából származó, egyre súlyosabban jelentkező gondot orvosolni kell. Ezt nevezzük a fenntarthatóság problémakörének.



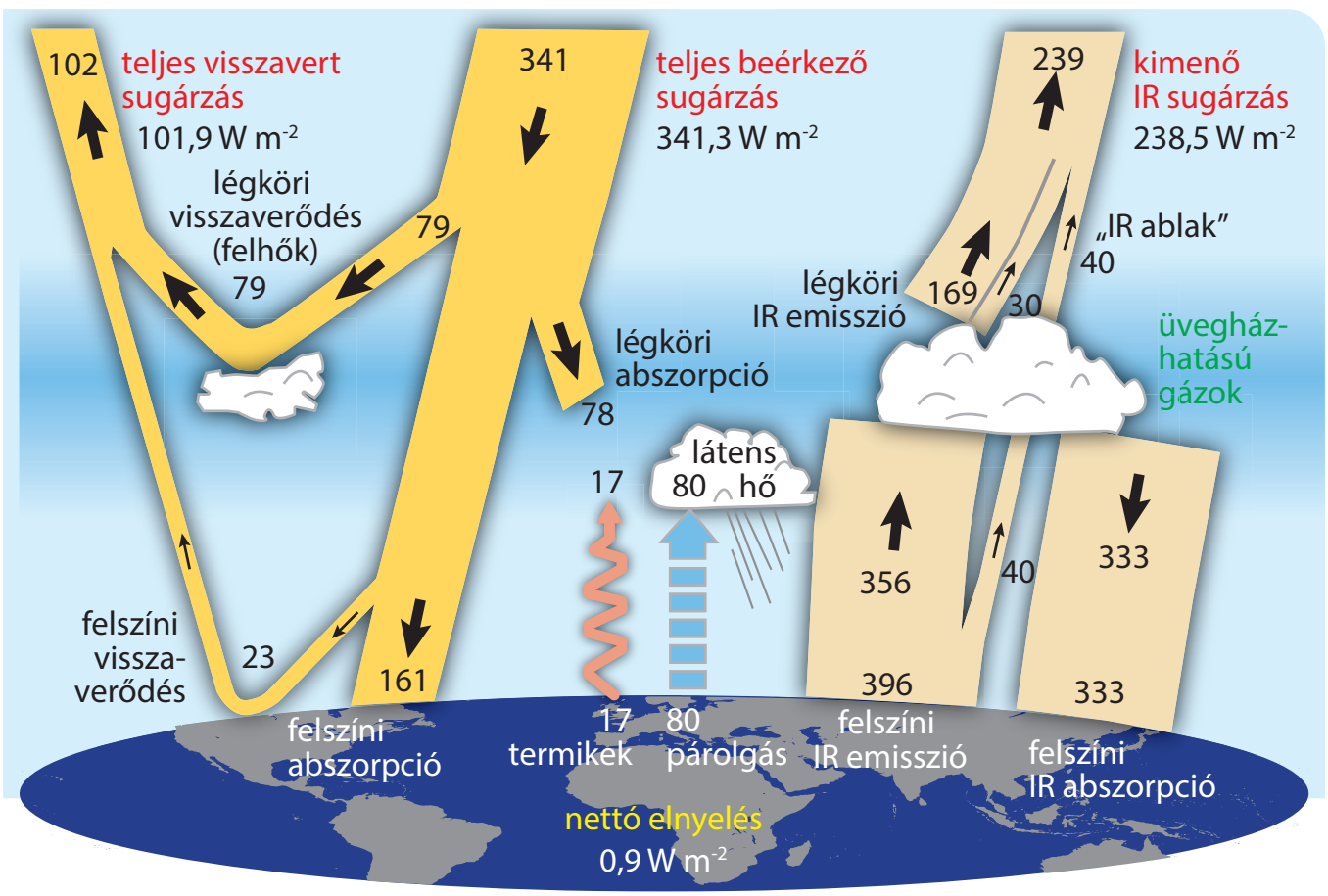

Az ökológiai lábnyom hektár/fő egységben azt mutatja meg, hogy átlagosan mekkora terület tud eltartani egy embert azon a szinten, ahogy az adott környezetben az emberek élnek

## Globális éghajlatváltozás, üvegházhatás, az ózonpajzs szerepe

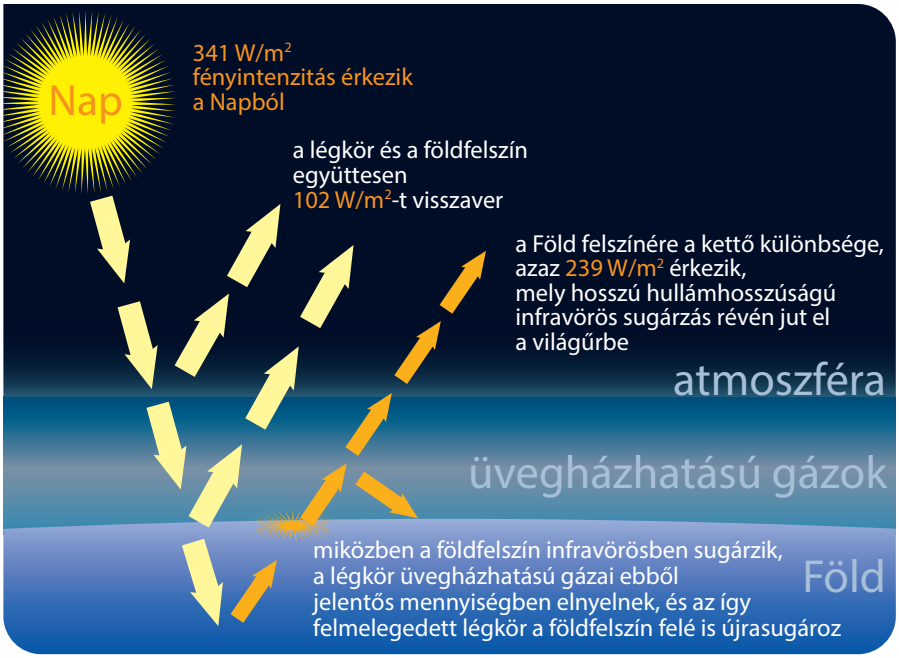
Az éghajlatváltozás az éghajlat tartós és jelentős mértékű módosulását jelenti helyi vagy globális szinten. A változás kiterjedhet az átlagos hőmérsékletre, az átlagos csapadékra vagy a széljárásra. Az éghajlatváltozás jelentheti az éghajlat változékonyságának módosulását is. Üteme általában lassan, évszázadok, évezredek, évmilliók alatt következik be, de lehetnek olyan gyors változások is, melyek néhány évtized alatt megtörténnek. A napjainkban tapasztalható éghajlatváltozás a globális felmelegedés.

Mi okozhatja a globális felmelegedést? Az emberiség soha annyi energiát nem használt fel, mint manapság, és a felhasznált energia végső soron mindig hővé alakul. Könnyen azt gondolhatjuk, hogy az emberiség által felhasznált rengeteg energia a közvetlen oka a globális felmelegedésnek. Ez azonban egyáltalán nem így van! A globális felmelegedés emberi okai közül a legfontosabbnak azt tartják, hogy a légkörben megnőtt az üvegházhatású gázok mennyisége.

Az üvegházhatás azon a jelenségen alapszik, hogy a Napból érkező energia jelentős részét a légkör nem nyeli el, hanem az eljut a Föld felszínére, azonban a földfelszín által kisugárzott, nagyobb hullámhosszúságú, infravörös sugárzás egy részét a légkör elnyeli, és visszasugározza a Föld felszínére. Tehát a földfelszín által kisugárzott hőenergia egy része az alsó légrétegekben marad. Vagyis ahogy nő az üvegházhatású gázok koncentrációja, úgy egyre kevesebb hő távozik a világűrbe, az alsó légkör és a földfelszín pedig egyre inkább felmelegszik. Ha egyáltalán nem lenne üvegházhatás, akkor a Föld rendkívül hideg lenne, feltehetően alkalmatlan lenne az életre. Az egyik legfontosabb üvegházhatású gáz a közönséges vízgőz, ami a koncentrációjától függően az üvegházhatás 36–72%-áért felelős. A legfontosabb további üvegházgázok

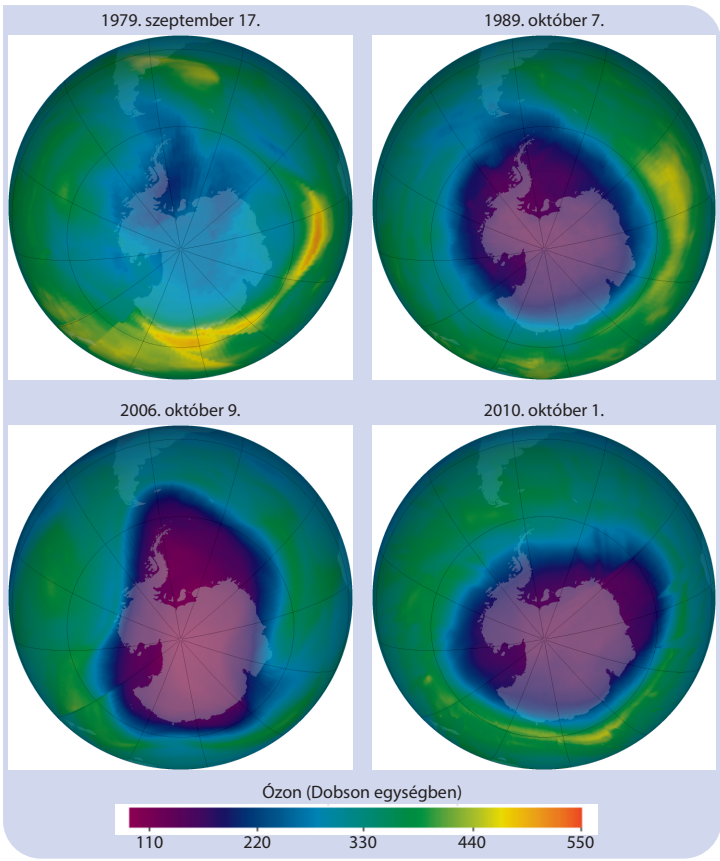



■ Globális energiamérleg a 2000–2004. évek műholdról mért adatai alapján. A számértékek mindegyike W/m² egységekben adott




Az üvegházhatás egyszerűsített vázlata

a szén-dioxid, a metán, a dinitrogén-oxid, a kén-hexafluorid, a halogénezett szénhidrogének és az alsó légköri ózon. Ezen gázok jelentős része tehát természetes módon került a légkörbe, mások megnövekedett koncetrációjáért az emberi tevékenység is felelős. A legjellemzőbb példa az erdőírtás, melynek következtében a légköri széndioxid mennyisége növekszik, mivel a fák által megkötött, illetve oxigénné alakított széndioxid mennyiség csökken.




Az ózonlyuk alakulása

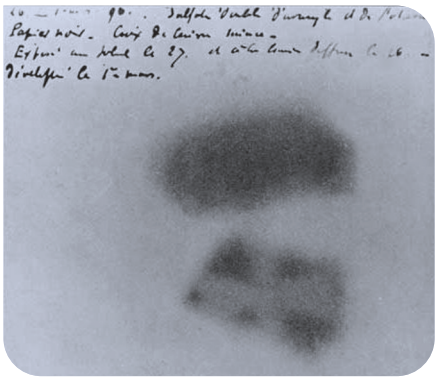
A légkörben természetes egyensúlyban lévő gázok közül a földi élet szempontjából alapvető szerepe van az ózonrétegnek. Az ózon a légkörben keletkezik 200 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú ultraibolya sugarak hatására a légköri oxigénből. A sugárzás az oxigént atomjaira bontja, majd egy-egy ilyen atom kétatomos oxigén molekulával egyesülve alkotja az $O_3$ szerkezeti képlettel leírható ózont. A légkört elérő 0,4 mikronnál rövidebb hullámhosszú ultraibolya sugárzás 95%-át képes elnyelni az ózon. Az UV sugárzás ezen tartománya a legveszélyesebb a földi életre, mivel darabokra töri az élő szervezetek DNS-ét, és felbontaná a sejtjeikben lévő kémiai kötéseket.

Ugyanakkor az ózon növeli az üvegházhatást, s a földfelszín közelében káros az élőlényekre nézve. A 2020-as COVID járvány során az ózont fertőtlenítésre, a vírusok elpusztítására használták.

A légkör ózonrétegének állapota tehát alapvető környezetvédelmi kérdés. Az ózonréteg felbomlásához vezethet az emberi tevékenység során környezetbe juttatott egyes gázok alkalmazása. Az ózonréteg sérülésével átmeneti ideig ózonlyuk jöhet létre, melyen keresztül jelentős sugárterhelés érheti a földi élőlényeket.

# 45. | A radioaktív sugárzás

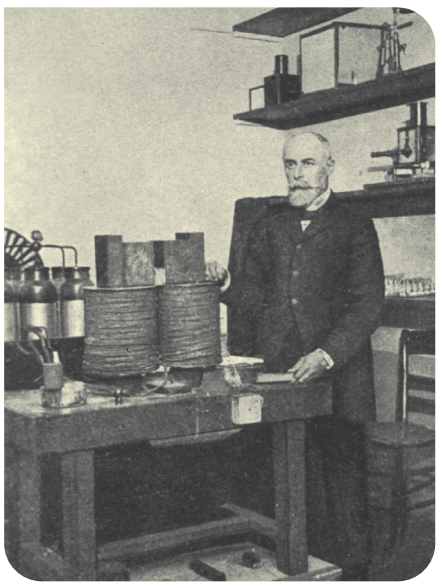
A radioaktív sugárzást Henri Becquerel fedezte fel 1896-ban. Azt tapasztalta, hogy az urántartalmú kőzet alatt lévő papírba csomagolt fényérzékeny lemez elszíneződött. További kísérletekkel igazolta, hogy az elszíneződés oka az, hogy az urántartalmú kőzet folyamatosan sugárzást bocsát ki, ami – a rádióhullámokhoz hasonlóan – átmegy a papíron.



Az elszíneződött lemez

**Radioaktív sugárzás mindenütt van a természetben,** és felfedezése óta sok mindenre használjuk. **Az erős sugárzás veszélyes lehet az emberi szervezetre, ezért jelenlétére táblával figyelmeztetnek!**

*Becquerel felfedezése alapján kijelenthetjük, hogy egyes anyagok – külső behatás és külső energiaforrás nélkül – energiát hordozó sugárzást bocsátanak ki. Ez az elmélet azonban egyszerre mondott ellent az addigi kémiai ismereteknek (mivel ennek során a korábban változhatatlannak hitt kémiai elemek alakulnak át egymásba) és az energiamegmaradásnak, hiszen látszólag a semmiből keletkezik energia, amelyet az anyag alfa-, béta-, gamma-sugárzások formájában kisugároz.*



Becquerel a laboratóriumában

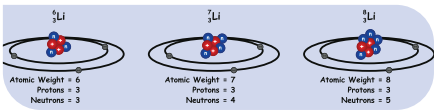
## Gondold meg!

Becquerel lényegében véletlen baleset folytán fedezte fel a radioaktív sugárzást, amikor tönkrementek a fotólemezei.

A felfedezés szempontjából döntő volt az, ahogyan a kellemetlen eseményre reagált. Kísérletsorozatba kezdett, hogy felderítse a baleset okát. A tudományos kutatás során a nem várt vagy esetleg rossznak tűnő eredmény gyakran éppen úgy előre vezet, mint a várt eredmény. Ha tévedésünkre fény derül, az közelebb hozza a megoldást.

Sugárveszélyt jelző tábla. A leggyakrabban a kórházak röntgenvizsgálati helyiségében találkozhatsz vele

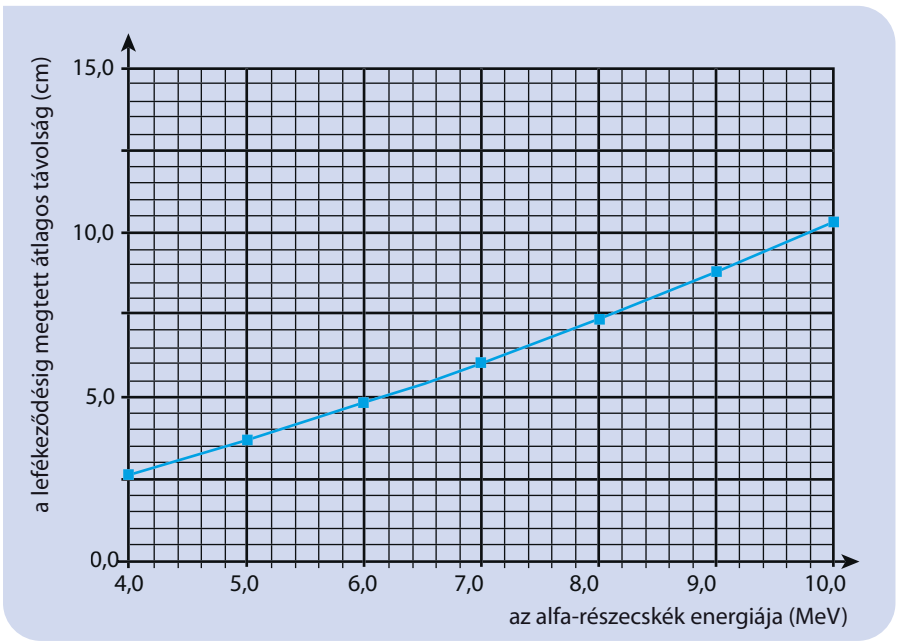
Az atommag pozitív töltésű protonokból és semleges neutronokból áll. A magban található protonok száma fontos adat, mert ez dönti el, hogy milyen anyagról, azaz melyik kémiai elemről van szó. A kémiai elemek atomjai ugyanannyi protont tartalmaznak, például a szénatomok mindig 6-ot, a héliumatomok mindig 2-t. Ez a szám a **rendszám,** ami azonosítja a kémiai elemeket. A protonok és a neutronok számának összegét **tömegszám**nak nevezzük. Például a szén atomjaiban mindig 6 proton van, de csak a szénatomok 99%-a 12-es tömegszámú, vagyis olyan, hogy a 6 proton mellett 6 neutront is tartalmaz az atommagja. A neutronok száma és így a tömegszám változhat, így például vannak szénatomok, melyek tömegszáma 11, 13, 14, vagy akár 15, ezekben a 6 proton mellett rendre 5, 7, 8 vagy 9 neutron található. Az azonos protonszámú, de eltérő neutronszámú atommagokból álló atomokat egymás **izotóp**jainak nevezzük, ahogy ezt kémiaórákon már régen megtanultuk.



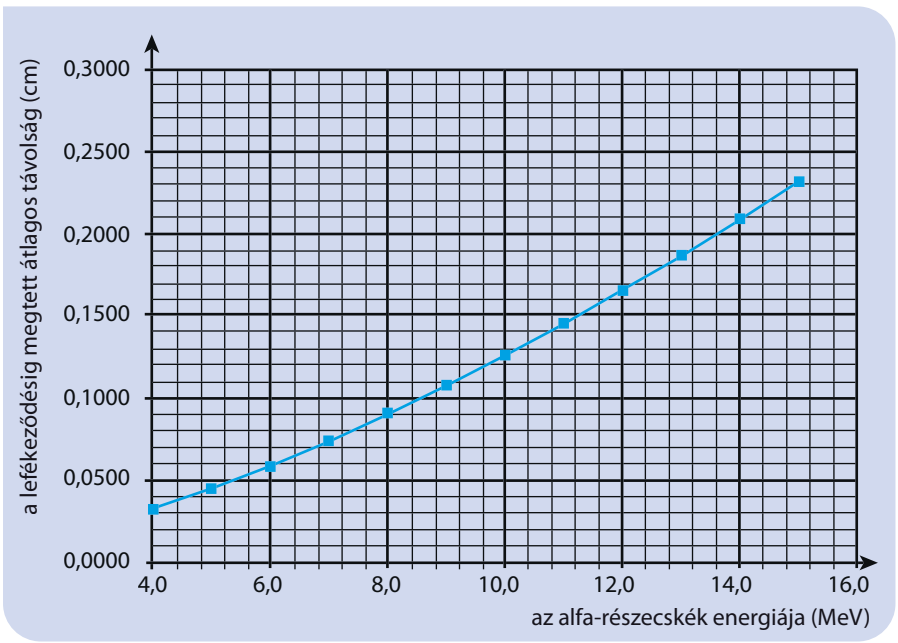

Lítiumizotópok – a bal alsó indexben a rendszám, a bal felső indexben a tömegszám szerepel

A természetben található atomok egy része stabil. A **stabil atomok** magjának összetétele, állapota csak külső hatásra változhat meg. Vannak azonban olyan atomok is, amelyek magja egy bizonyos idő elteltével külső hatás nélkül is átalakul, **elbomlik. A bomlás révén általában megváltozik az atommag összetétele, és radioaktív sugárzás keletkezik.** Az atommagok bomlása nem egyfajta öregedés, kopás következménye, hanem véletlenszerű folyamat. **A radioaktív sugárzás az atommagból ered, az abban lezajló változások következménye.**

Ugyanannak az elemnek általában van stabil és radioaktív izotópja is. A 6 neutront tartalmazó 12-es tömegszámú szénatom stabil, de létezik a szénatom 8 neutront tartalmazó változata is, ez a 14-es tömegszámú szénatom, ami radioaktív. Tehát a $^{14}C$ radioaktív izotóp, a $^{12}C$ stabil.




A grafikon azt mutatja, hogy egy bizonyos energiájú alfa-részecske meddig jut el levegőben, amíg le nem fékeződik




A második grafikon ugyanezt mutatja vízben

Becquerel az urán radioaktív izotópjaiból eredő sugárzást figyelte meg.

**A radioaktív sugárzásnak 3 fajtája van: alfa-, béta- és gamma-sugárzás.**

**Az alfa-sugárzás két protonból és két neutronból álló, $2^+$ elemi töltésű részecskék, azaz héliumatommagok (alfa-részecskék) árama.** Az elektronokhoz képest nehéz és nagy tömegű alfa-részecskék hamar megakadnak a szilárd anyagokban, és lefékeződnek. Nem mennek át a papíron, bőrön sem, de roncsoló hatásuk a besugárzott anyag felszínén nagy.

**A negatív béta-sugárzás gyors elektronok árama.** A kis tömegű elektronok a szigetelőanyagok atomjai között könnyebben áthaladnak, mint az alfa-részecskék, de hamar lefékeződnek a fémekben. A béta-elektronok levegőben átlagosan 600 cm távolságra jutnak a kiindulópontjuktól.

## Gondold meg!

Válaszolj az ábrával kapcsolatos néhány kérdésre!

1. Átlagosan milyen távolságra jut egy 5 MeV-es alfa-részecske vízben és levegőben?
2. Hányszor messzebbre jut egy 10 MeV energiájú alfa-részecske vízben, mint levegőben?
3. Szerinted miért fékeződik le az alfa-részecske vízben és levegőben? Miért jut sokkal messzebbre levegőben, mint vízben? Véleményedet támaszd alá érvekkel!

A természetben a leggyakoribb negatív béta-sugárzáson kívül még két másféle béta-sugárzás is létezik. Az egyik a **pozitív béta-sugárzás**, amikor nem elektronok, hanem az elektron antirészecskéje, a pozitív pozitron lép ki egyes izotópok atommagjából. (A pozitron lényegében az elektron „tükörképe”.) A másik folyamatot **elektronbefogásnak** nevezzük. Ekkor nem lép ki semmi az atommagból, hanem éppen fordítva, az atommag egy elektront nyel el a hozzá legközelebbi, legmélyebben kötött pályájú (1s) elektronok közül. Elektronbefogáskor semmi sem repül ki az atommagból, viszont a legmélyebb elektronhéjon elektronhiány lép fel, és ezért egy magas energiájú elektron ugrik be az „alul” hiányzó helyre, miközben energiakülönbségét röntgenfoton formájában sugározza ki.

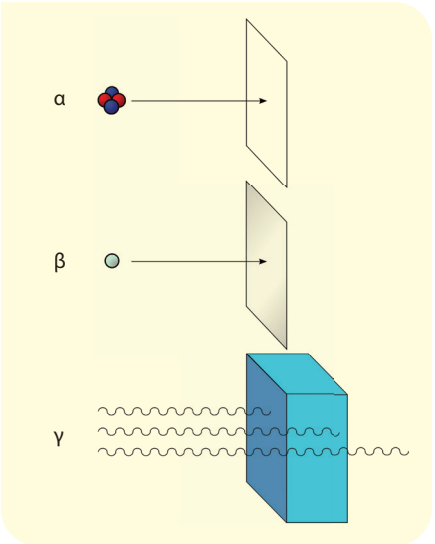
**A gamma-sugárzás valójában töltéssel nem rendelkező, nagy frekvenciájú elektromágneses hullám, vagyis nagy energiájú fotonokból áll.** Mélyen behatol a szigetelőanyagokba, sőt áthatol a vékony fémlemezen is. Az elegendően vastag ólom és beton jelent csak számára akadályt. A gamma-sugarak energiája, frekvenciája meghaladja a röntgensugarak frekvenciáját és energiáját. A gamma-sugárzás mindig az alfa- és a béta-bomlás kísérőjelensége, mert az alfa- és a béta-bomlás folyamatakor az atommagban maradó protonok és neutronok gerjesztett állapotba kerülnek, amiből gamma-fotonok kisugárzásával jutnak alapállapotba. Egy átlagos energiájú gamma-foton levegőben néhány száz méter távolságra is eljut, mielőtt elnyeli egy atom.

Az alfa- és béta-sugárzások kibocsátásával járó atommag-átalakulásokat rendre **alfa-**, illetve **béta-bomlásnak** nevezzük. Az alfa-bomlás során egy alfa-részecske szabadul ki az atommagból. A negatív béta-bomláskor egy neutron protonná alakul, miközben egy elektron is keletkezik. Amikor a gerjesztett atommag alacsonyabb energiájú szintre kerül, az energiakülönbsége gamma-sugárzás formájában távozik, ezért a gamma-sugárzást nem szokás bomlásnak nevezni.

Előfordul az is, hogy a nehéz atommagok spontán folyamatban két részre szakadnak (ezt **maghasadás**nak nevezzük), miközben néhány nagy energiájú neutron is kiszabadul a magból. Az elektromosan semleges neutronok a gamma-fotonokhoz hasonlóan sokkal messzebbre jutnak keletkezésük helyétől, mint az elektromos töltéssel rendelkező béta- vagy alfa-részecskék.

**A radioaktív sugárzás összetevői és a hasadáskor keletkező neutronok is ionizáló hatásúak.** A besugárzott anyag atomjaiból képesek elektronokat eltávolítani. Ilyen módon az eredetileg semleges atomból pozitív töltésű részecske, ion lesz. **Az ionizáció károsítja az élő szöveteket, sejteket.**

A radioaktív sugárzás kutatásában a lengyel származású fizikus és kémikus **Maria Curie-Skłodowska és férje, Pierre Curie** munkássága emelkedik ki. 1898-ban együtt fedezték fel a rádiumnak és polóniumnak elnevezett új elemeket, amelyek közül a rádium erős radioaktivitásáért kapta nevét. A radioaktivitás kutatásában elért eredményeikért Becquerellel együtt kaptak fizikai Nobel-díjat 1903-ban. Később Marie Curie megkapta a kémiai Nobel-díjat is a rádium és polónium felfedezéséért és tanulmányozásáért. Amikor a Curie házaspár kísérletezett, még nem tudták, hogy a radioaktív sugárzás nagy dózisban káros az egészségre. Pierre Curie-t 1906-ban halálos baleset érte, egy lovas kocsi elütötte. Ezután Marie Curie egyedül dolgozott tovább. Halálában valószínűleg a szervezetét ért hosszan tartó radioaktív sugárzás játszott szerepet.




Az alfa-sugárzást akár egy vékony papír is elnyeli, a béta-sugárzást egy alumíniumlemez képes feltartóztatni, a gamma-sugárzás elnyelésére csak egy vastag ólomlemez képes hatékonyan, a sugárzás erőssége az ólomban megtett út során folyamatosan csökken

**Gondold meg!**

Az alfa- és béta-részecskék folyamatosan fékeződnek le, miközben az anyagban haladnak. A gamma-fotonok is hasonlóan viselkednek?

Maria Curie-Skłodowska

## NE FELEDD!

**A radioaktív sugárzás az atommagból ered, az abban lezajló változások következménye.**
**A radioaktív sugárzásnak 3 fajtája van: alfa-, béta- és gamma-sugárzás.**
**Az alfa-sugárzás héliumatommagokból áll, és akár egy vékony papír is elnyeli. A béta-sugárzás elektronsugárzás, amit például egy alumíniumlemez képes feltartóztatni. A gamma-sugárzás elnyelésére csak egy vastag ólomlemez képes hatékonyan, a sugárzás erőssége az ólomban megtett út alatt folyamatosan csökken.**
**A radioaktív sugárzás mindhárom fajtája ionizáló hatású, károsítja az élő szöveteket, sejteket.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Honnan ered a radioaktív sugárzás?
2. Melyek a sugárzás fajtái?
3. Mit tudsz a sugárzás egyes összetevőinek különböző anyagokon való áthatolóképességéről?
4. Miért károsíthatja az élő sejteket a radioaktív sugárzás?
5. Miért kell táblával figyelmeztetni az embereket az erős radioaktív sugárzás jelenlétére?
6. Kik végezték a radioaktivitással kapcsolatos első kutatásokat, mit tudsz róluk?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A radioaktív sugárzás melyik összetevője rongálta meg a papírba csomagolt fényérzékeny lemezeket?
2. Ha két atommag tömegszáma megegyezik, akkor ezek biztosan izotópjai egymásnak?
3. A paksi atomerőműben dolgozó munkásnak azonnal jeleznie kell, ha nagyobb sérülés éri a bőrét. Szerinted mi indokolja ezt az óvatosságot?
4. Keresd meg az interneten, hogy a béta-sugárzás erőssége hány cm vastag faanyagon való áthaladás után csökken a felére! Ez az úgynevezett felezési rétegvastagság. Mekkora ugyanez az érték gamma-sugarakra?
5. A leckében olvasottak alapján hogyan változik szerinted a radioaktív izotóp tömegszáma és rendszáma az alfa-bomlás során? Változik-e a gamma-sugárzáskor? Nézz utána, hogyan változik a háromféle béta-bomlás során!
6. Marie Curie volt az első nő, aki Nobel-díjat kapott, és az első, akinek kétszer is odaítélték. Nézz utána Marie Curie életének és munkásságának! Tarts kiselőadást az osztályban róla!

# 46. | A radioaktivitás orvosi felhasználása

A radioaktivitás jelen van mindennapjainkban, hiszen a természetnek és a technikai civilizációnak is része. A radioaktív izotópokat sokféleképpen használják az orvoslásban.

*A gyógyítási folyamat során végzett orvosi beavatkozások és vizsgálatok általában maguk is egészségügyi kockázatot jelentenek. Erre hívják fel a figyelmünket a gyógyszerek szedésekor a tájékoztatóban felsorolt lehetséges mellékhatások. Gyakran az orvosnak kell megoldania a dilemmát: a kezeletlenül hagyott betegség jelent nagyobb veszélyt az egészségre, vagy a kezelés maga. A kezelés kockázata az esetek túlnyomó többségében természetesen jóval kisebb, mint a betegségé.*

## Felezési idő

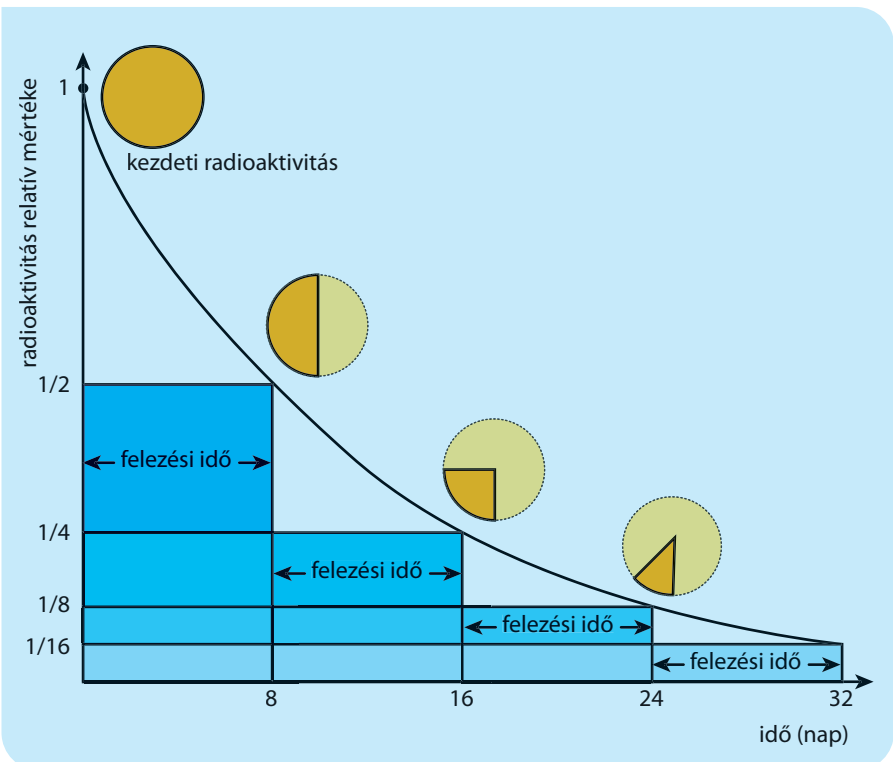
Egy radioaktív izotóp mennyisége az idő múlásával folyamatosan csökken, mivel elbomló atomjai más anyag atomjaivá alakulnak át (az így keletkezett úgynevezett leányelemek mennyisége eközben akár növekedhet is). **A kiinduló izotóp esetében a kezdeti mennyiség megfeleződéséhez ugyanannyi időre van szükség, mint egy későbbi mennyiség megfeleződéséhez. Ezt az időt felezési időnek nevezzük.** Például az orvosi vizsgálatoknál használt jódizotóp felezési ideje 8 nap. A kezdetben 2 g izotóp mennyisége 8 nap alatt nagyjából 1 g-ra, 16 nap alatt 0,5 g-ra, 24 nap alatt 0,25 g-ra csökken.

## Nyomjelző izotópok

**Az orvosi alkalmazások egy részében diagnosztikai céllal alkalmazzák a radioaktív izotópokat, mivel a szervezetbe juttatott radioaktív izotóp helye könnyen felderíthető az általa kibocsátott radioaktív sugárzás – leggyakrabban a gammasugárzás – mérésével.**

Ebben az esetben tehát a radioaktív atom önmagában vagy más vegyülethez kötődve nyomjelzőként szolgál.

A radioaktív jódizotóp segítségével vizsgálhatóak például a vesék. Az egészséges vesében felhalmozódik a radioaktív jód, majd kiürül. Ennek megfelelően, miután a beteg megitta a radioaktív jódot tartalmazó oldatot, a veséjénél emelkedő, majd csökkenő erősségű sugárzás mérhető. Ha a sugárzás erőssége nem, vagy csak lassan csökken, akkor a vese nem működik megfelelően. Hasonlóan vizsgálható a pajzsmirigy működése is.




A jód 131-es izotópjának feleződése – a radioaktivitás csökken az időben

## Sugárterápia

Az alkalmazások másik csoportjában a sugárkezelések során a beteg területre irányítják a sugárzást. **A radioaktív sugárzás célzott nyalábjával elpusztíthatóak a rákbetegséget okozó rendellenes sejtek, és csak kevéssé sérülnek a daganatot körülvevő egészséges szövetek.** Így a sugárterápiás kezelés ká-

## Hallottál róla?

Miért éppen jódizotópot használnak?

A felezési ideje 8 nap, néhány hét alatt teljesen elbomlik a radioaktív anyag.

A jód béta-bomló és gamma-sugárzó, amiből a gamma-sugárzás átmegy a szöveteken, és kívülről mérhető.

Továbbá a jódizotópnak csak egy bomlásterméke van (a xenon 131-es tömegszámú izotópja, ami kémiailag passzív nemesgáz), ami már nem radioaktív.

A radioaktív nyomjelzés lehetőségére Hevesy György magyar kémikus jött rá az 1910-es évek elején. A módszer biológiai és orvosi alkalmazásait ezután évtizedekig kutatta, fejlesztette. Felfedezéséért 1943-ban kapott kémiai Nobel-díjat, ami lehetővé tette a magyar, zsidó származású, kikeresztelkedett nagyiparos, földbirtokos családban született tudós számára a svéd állampolgárság felvételét, és ettől kezdve a stockholmi egyetemen kutatott. Érdekességként említjük meg, hogy a Budapesten született tudós a pesti Piarista Gimnáziumban érettségizett 1903-ban. Az itt közölt fénykép tíz évvel az érettségije után készült, éppen abban az időben, amikor a későbbi Nobel-díját eredményező felfedezését tette.

Hevesy György, a radioaktív nyomjelzési módszer Nobel-díjas feltalálója

rosíthatja a szervezetet, mint minden radioaktív sugárzás, de sokkal kevésbé kockázatos, mint maga a betegség.

### Sugársebészet

Megfelelően koncentrált gamma-sugárzással műteni is lehet! A „gamma-kés" elnevezéssel a köznyelvben a sugársebészet egyik módját illetik. **Sugárkezelésről van szó, mely azonban nagy pontossága folytán „késélességgel" pusztítja el a célterületet.** Elsősorban agydaganatok gyógyítására használják.

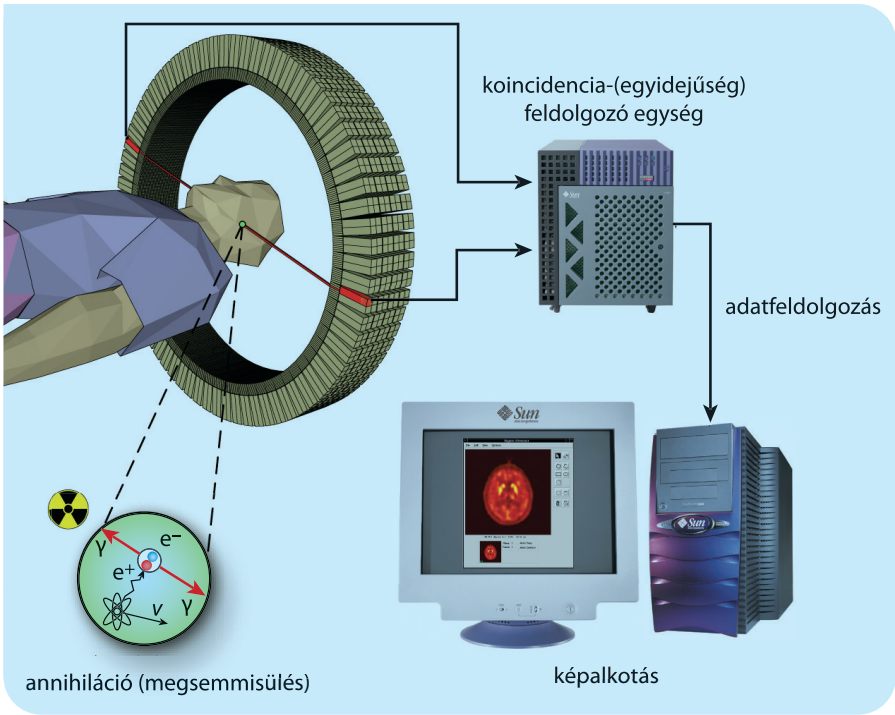
A képen PET-CT berendezés látható

### PET-CT

A PET-CT (pozitronemissziós tomográfia, számítógépes röntgentomográfia) nemcsak képalkotó eljárás, hanem a szövetek működéséről, a sejtek anyagcseréjéről is információkat ad, segítve a betegség természetének és stádiumának pontosabb megismerését. Ez lényegében két korábbi eljárás egyesítése, két, régebb óta létező berendezés összeépítése egy nagyon hatékony diagnosztikai egységgé.

A vizsgálat lényege, hogy különböző biológiai anyagokat (glükózt, aminosavakat stb.) speciális izotópokkal jelölnek meg, amelyek a bomlásuk során az elektron antirészecskéit, az elektronnal mindenben megegyező tulajdonságú, de ellentétes töltésű pozitronokat bocsátanak ki.

Innen származik a vizsgálat orvosi elnevezése is (pozitronemissziós = pozitronkibocsátó tomográfia). Ha az elbomló atommagból kilépő pozitron egy elektronnal találkozik, mindkét részecske megsemmisül. A pozitron megsemmisülése a kibocsátás helyétől már jellemzően 1 mm-en belül bekövetkezik, hiszen a testünk szöveteiben is rengeteg elektron van. Ezt a jelenséget **elektron-pozitron megsemmisülésnek (annihilációnak) hívjuk**. A megsemmisülés közben nagy energiájú elektromágneses hullám, sugárzás, pontosabban két gamma-foton keletkezik. Ha az elektron és a pozitron kis sebességgel mozogva találkozik, összes lendületük közel nulla. Az annihiláció során a tömegüknek megfelelő energiát két, egymással ellentétes irányba induló foton viszi el, amelyek összes lendülete az ellentétes mozgási irány miatt szintén nulla. Ha a PET-CT kör alakban elhelyezett detektorai közül két szemben lévő egyszerre jelzi a fotonok érkezését, akkor biztosra vehető, hogy a detektorok által kijelölt egyenes mentén történt valahol az annihiláció. Két ilyen esemény már támpontot ad a bomló atommag helyére, ami nagyjából ott lehet, ahol a két egyenes metszi egymást. Nagyon sok megsemmisülés feldolgozásával és a CT segítségével egyszerre tehető láthatóvá a szervek formája és működése.




A PET működése

A leggyakrabban használt izotóppal jelölt anyag a fluoro-dezoxi-glükóz (rövidítve FDG). Ez az anyag a rosszindulatú sejtekre jellemző gyors glükózanyagcsere miatt a daganatokban felhalmozódik. Az FDG a glükózzal ellentétben nem bomlik tovább, hanem változatlan formában a vesén keresztül kiválasztódik. Másfél óra alatt gyakorlatilag a beadott anyag fele kiürül a szervezetből.

A vizsgálat során a beteg több adagban iszik a radioaktív izotóppal megjelölt FDG oldatából, majd kis idő elteltével a kibocsátott pozitronok segítségével kimutatható az FDG halmozódása a szövetekben. A PET-CT segítségével így olyan kis méretű daganatok is kimutathatóak, melyek más diagnosztikai módszerrel nem észlelhetők.

## FIGYELD MEG!

A táblázat egy orvosi szakkönyvből származik. Milyen érdekes információkat olvashatsz ki belőle? Válaszolj a kérdésekre!

*A technécium 99-es tömegszámú izotópját (Tc-99) sokféle célra használják az izotópdiagnosztikában.*

1. *Mi a technéciumizotóp nagy előnye?*
2. *Mire használhatóak a jódizotópok?*

**Leggyakrabban alkalmazott radionuklidok az izotópdiagnosztikában**

| Nuklid | Energia (keV) | Felezési idő | Felhasználás |
|---|---|---|---|
| Tc-99 | 141 | 6,01 h | sokféle |
| Tl-201 | 68–80 | 73,1 h | szívizom |
| I-131 | 364 | 8 nap | pajzsmirigy |
| I-123 | 159 | 13 h | pajzsmirigy, fehérjék |
| Ga-67 | 93, 185, 300 | 78,1 h | tumorkeresés, gyulladás |
| In-111 | 172 | 2,81 nap | tumorkeresés, immunszcintigráfia |
| I-125 | 27–35 | 60 nap | „in vitro” |
| F-18 | β+ | 109 min | PET |

## NE FELEDD!

**Az izotópdiagnosztikai vizsgálatok során a szervezetbe juttatott radioaktív izotóp által kibocsátott sugárzást érzékelik. A sugárterápiás kezelések során a szöveteket erős, koncentrált sugárnyalábbal kívülről sugározzák be, hogy elpusztítsák a beteg sejteket. Az orvosi kezelések során a beteget és környezetét is radioaktív sugárzás éri, azonban a helyesen tervezett kezelés során ez várhatóan jóval kevésbé veszélyes a betegre nézve, mint a betegség.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Sorold fel, hol és milyen céllal alkalmaznak radioaktív sugárzást az orvoslás során!
2. Mi az annihiláció?
3. Nézz utána az interneten, hogy mi a ciklotron! Milyen kapcsolatban van a radioaktivitással? Egyes kórházakban ciklotronnal protonokat gyorsítanak, és így „protonkéssel” operálnak. Nézz utána, hogy mit jelent ez pontosan!
4. Mi az FDG szerepe a PET-CT vizsgálatokban?
5. A PET-CT vizsgálatot követő éjszakán a hozzátartozóknak, különösen kismamáknak és kisgyermekeknek nem célszerű a vizsgálaton átesett családtaggal egy szobában aludni. A vizsgált személynek pedig sok folyadék bevitelét ajánlják. Vajon miért?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hasonlítsd össze oszlopdiagramon a leckében megismert gyógyászatban használatos nuklidok felezési idejét! Érdemes-e a felezési időt megjelenítő függőleges tengelyen logaritmikus beosztást használni?
2. Egy radioaktív izotóp felezési ideje másfél perc. A kezdetben 4 mol izotópból körülbelül mennyi marad 1,5 perc, 3 perc, 4,5 perc, 6 perc, 7,5 perc, 9 perc, 10,5 perc, 12 perc múlva?
3. Számítógéppel *x-y* (pontdiagram az Excelben) diagramon ábrázold, hogyan változik az előző feladatban említett izotóp atomjainak száma az idő múlásával!
   Az ábrázolt pontokra illessz görbét, ez alapján becsüld meg az izotóp atomjainak számát 5 perc elteltével!
4. Lehetségesnek tartod-e egyetlen gamma-foton keletkezését az annihiláció során? És keletkezhet-e három gamma-foton?

# 47. | Sugárveszély

*Bár a vele kísérletező első fizikusok még nem tudták, a radioaktív sugárzás nagy dózisban káros az emberi szervezetre. Mivel az embert ért sugárzás hatása összegződő, ügyelni kell arra, hogy életünk során ne érjen bennünket feleslegesen sok sugárzás. A védekezés azért nehéz, mert a radioaktív sugárzás láthatatlan, azt sem vesszük észre, ha a természetesnél 10 000-szer erősebb sugárzásnak vagyunk kitéve. Ezért fontos megismerni a sugárvédelemmel kapcsolatos alapvető tudnivalókat.*

## Effektív dózis

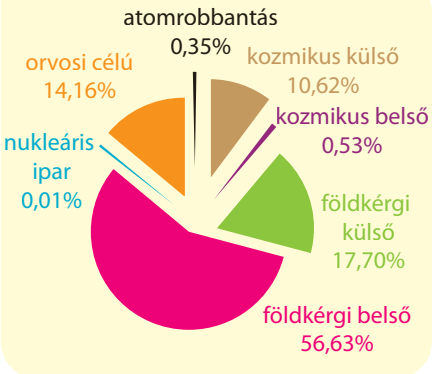
Az anyag radioaktivitásának nagyságát az aktivitással szokták jellemezni. **Az aktivitás számértéke megmutatja, hogy egy másodperc alatt hány radioaktív bomlás történik a mintában.** Mértékegysége a **becquerel (Bq)** (ejtsd: bekerel). Egy gramm rádium-226 aktivitása $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq. (Éppen ennyi volt az aktivitás korábban használt mértékegysége, amit curie-nek [Ci] hívtak, vagyis 1 Ci = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq = 37 GBq.)

A nagyon nagy aktivitású mintával való közvetlen találkozás első jele olyan, mint az égési sérülés. A sugárzás emberi szervezetre gyakorolt hatását azonban az aktivitás csak kevéssé tükrözi.

A bennünket ért sugárzás hatása sok mindentől függ. Lényeges a sugárzás fajtája. Fontos szempont, hogy **mennyi ideig milyen erős** sugárzás érte az embert, valamint hogy az **egész testet, vagy csak egy bizonyos területet** ért-e. Az egyes szervek kissé eltérően reagálnak a sugárzásra. Nagyon lényeges, hogy a sugárzó anyag a szervezetbe került-e, vagy a szervezeten kívül van.

Az emberi szervezetet ért sugárzás biológiai hatását leíró mennyiség az **effektív dózis, mértékegysége a sievert (Sv)** (ejtsd: szívert)**. Egy átlagos magyar lakos évente átlagosan 3-4 mSv** (millisievert) **dózisú sugárzást kap, ennek egy része természetes, másik része emberi tevékenységek következménye.**

A következőkben néhány példát mutatunk be az emberi szervezetet ért dózisok nagyságáról:




A sugárterhelés forrásai

### Egyszeri dózisok

- Egy banán elfogyasztása: 0,1 µSv
- 8 óra alvás egy ember mellett: 0,5 µSv
- Fogászati röntgenfelvétel: 5 µSv
- Mammográfiai felvétel: 3 mSv
- Komputertomográfiai felvétel az agyról: 0,8–5 mSv
- Komputertomográfiai felvétel a mellkasról: 6–18 mSv

### Óránkénti sugárzási példák

- Közelítő sugárzási szintek a csernobili 4-es reaktor mellett, nem sokkal a csernobili atomkatasztrófa során bekövetkezett robbanás után: 10–300 Sv/h
- Tipikus háttérsugárzás Magyarországon: Budapest: 0,059–0,135 µSv/h, Paks: 0,065–0,085 µSv/h

### Éves sugárzási példák

- Atomerőmű közelében levő település: 0,1–10 µSv/év
- Szénerőmű közelében levő település: 0,3 µSv/év
- Kozmikus sugárzás a tengerszinten: 240 µSv/év

## Tőled függ!

A sugárzás hatása összegződik. A rövid ideig tartó erős sugárzás hasonlóan károsít, mint a hosszabb ideig tartó gyenge.

A sugárzás energiája egyenletesen oszlik el a térben, a sugárforrástól való távolság növelésével a sugárzás károsító hatása nagyon gyorsan csökken. A levegő el is nyeli a béta- és az alfa-sugárzás jelentős részét.

**A legjobb védekezés tehát gyorsan minél messzebb kerülni a sugárforrástól. Egy-két méter is sokat számít! Ha egy ismerősöd például radioaktív jódot kapott orvosi vizsgálat során, és hazaengedik a vizsgálat után, érdemes betartani a biztonságos távolságot. Ha a radioaktív izotóp a szervezetbe került, akkor sok folyadék fogyasztásával gyakran meggyorsítható a távozása.**

Más esetekben is lehet gondolkozni a további védekezési teendőkön:

A bőrre került radioaktív izotóp általában lemosható langyos, szappanos, mosószeres vízzel. Ha a távolság nem növelhető, a sugárzás erejét árnyékolással lehet csökkenteni. Az árnyékolás azt jelenti, hogy a sugárforrást olyan anyaggal veszik körbe, ami elnyeli az általa kibocsátott sugárzást. Ez a sugárzástól függően lehet beton vagy ólomtégla.

- Földi sugárzás (a talajból): 280 μSv/év
- Természetes sugárzás az emberi testben: 400 μSv/év
- Az Egyesült Államok Capitoliuma gránitanyagának sugárzása: 850 μSv/év
- A természetes háttérsugárzás átlagos hatása egy emberre: 2 mSv/év; 1,5 mSv/év Ausztráliában, 3,0 mSv/év Amerikában
- New York–Tokió légi utak a repülőgép személyzete számára: 9 mSv/év
- Légköri hatások (többnyire radon): 2 mSv/év
- A teljes átlagos dózis Amerikában: 6,2 mSv/év
- Dohányzás 1,5 csomag/nap: 13–60 mSv/év
- Háttérsugárzás Irán, India és Európa egyes részein: 50 mSv/év
- A legkisebb bizonyítottan rákkeltő szint: 100 mSv/év

### Példák a dózishatárokra

- Nemzetközi ajánlás szerint önkéntesek számára megengedett határ komolyabb nukleáris veszélyhelyzet elhárítása esetén: 500 mSv, életveszély vagy súlyos sérülés elhárítása esetén: 1000 mSv
- Kitelepítési kritérium a csernobili atomkatasztrófa után: 350 mSv/teljes élet
- Megemelt dóziskorlát a fukusimai atomerőmű-baleset elhárításán dolgozókra: 250 mSv/év
- Jelenlegi átlagos korlát atomlétesítményekben dolgozók számára: 20 mSv/év. Ez a háttérsugárzás miatt és az orvosi vizsgálatok következtében kapott dózison felül értendő
- A lakossági dóziskorlát uránbányászat és atomerőművek esetén általában 1 mSv/év a természetes háttérsugárzáson felül.

A természetes környezetben és a testünkben található radioaktív izotópok, valamint a kozmikus háttérsugárzás miatt a magyarok átlagos sugárterhelése 1 mSv/év.

Házakban lakunk, így az építőanyagokból, valamint a talajból elsősorban a radon izotópjai jutnak a szobák, pincék levegőjébe, amit belélegzünk. Ez átlagosan 1,5 mSv/év effektív dózist jelent.

A technikai eszközök használata (beleértve az orvosi kezeléseket, röntgenvizsgálatokat, repülőutakat) egy átlagos magyar lakosnak 0,5 mSv/év többletterhelést jelent.

Összesen tehát egy átlagos magyar ember 3 mSv (maximum 4 mSv) effektív dózist kap évente. Egy átlagos svéd 7 mSv-et, egy dél-indiai 10 mSv-et.

A tudósok vitatkoznak azon, hogy az átlagosnál kicsit nagyobb sugárzás káros, vagy éppenséggel – a védőoltásokhoz hasonlóan – előnyös a szervezetre nézve. A sugárterhelés további növelése azonban előbb csak növeli egyes betegségek, például a rák kialakulásának kockázatát, majd bizonyosan sugárbetegséget (hajhullás, hányinger, lesoványodás) okoz, ami súlyos esetben halálos. Létezik egy olyan dózis, amely alatt a betegség kockázata nem nagyobb, mint például a közlekedés során egy lehetséges baleset kockázata vagy az épületekben használt egyéb rákkeltő anyagok használatának (benzol, freonok, azbeszt) kockázata. A radioaktív sugárzással dolgozó embereknél gondosan mérlegelik, hogy ne tegyék ki őket szükségtelenül az átlagos emberi tevékenységből fakadó egyéb kockázatoknál nagyobb veszélynek.

A szabályozás szerint:

„A foglalkozási sugárterhelésnek kitett munkavállaló munkavégzése során az alkalmazott mesterséges és fokozott sugárterhelést eredményező természetes forrásokból származó, külső és belső sugárterhelés együttesen, egymást követő 5 naptári évre összegezve nem haladhatja meg a 100 mSv effektív dóziskorlátot. Az effektív dózis egyetlen naptári évben sem haladhatja meg az 50 mSv értéket.”

**Tőled függ!**

A szobák időnkénti szellőztetésére nemcsak azért van szükség, mert elhasználódik a levegő! Zárt térben, különösen pincékben, földszinti lakásokban tégla- vagy betonfal esetén az egészségre veszélyes mértékben felhalmozódhat a radioaktív radon. Gondolj erre is, amikor szellőztetsz!

Jelenlegi legjobb tudomásunk szerint az ekkora sugárterhelésből származó megbetegedési kockázat még nem nagyobb, mint az átlagos foglalkozásokkal járó egyéb veszélyek.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen összefüggésben használatos az árnyékolás mint szakkifejezés?
2. Mit tudsz az effektív dózisról?
3. Miért kell gyakran szellőztetni a pincékben, lakásokban?
4. Mi a legjobb védekezés a sugárzás ellen, ha elkerülhetetlenül sugárforrás közelében vagy?
5. Mekkora az átlagos magyar lakost évente érő effektív dózis?
6. Miért fontos a veszélyeztető sugárzás típusának ismerete a védekezés szempontjából?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy radioaktív minta aktivitása 125 000 becquerel, és csak nagyon lassan csökken. Becsüld meg, hány bomlás történik a következő egy hétben! És ha az aktivitás sokkal gyorsabban csökken, mondjuk, egy hét alatt feleződik?
2. Melyek a sugárzásra érzékenyebb és kevésbé érzékeny szervek? Keress adatokat a könyvtárban és az interneten, állíts fel veszélyességi sorrendet, és készíts az adatokat kifejezően bemutató ábrát!
3. Szerinted mi lehet az oka a repülőutakon kapott többletsugárzásnak?
4. Ismerve 1 g rádium aktivitását, számold ki, mekkora a valószínűsége annak, hogy egy rádiumatom a következő másodpercben radioaktív bomláson megy keresztül! A rádium moláris tömegét keresd ki a megfelelő táblázatból!
5. Hány percet tölthetsz az egészséged nyilvánvaló veszélyeztetése nélkül átlagosan naponta egy olyan helyiségben, amelyben 1 óra alatt 150 μSv radioaktív sugárzás ér?
6. Keress az interneten szimulációt, ami bemutatja, hogyan változik egy radioaktív minta aktivitása az idő múlásával! Készíts a füzetedbe ezt bemutató ábrát! Mit jelenítesz meg a grafikon vízszintes tengelyén? És a függőleges tengelyen?

## FIGYELD MEG!

2011-ben a megsérült fukusimai atomerőműből a légkörbe került radioaktív jód elterjedt a Föld légkörében. Az alábbi híradás egy újságból származik:

**„Az eső ránk mossa a radioaktív piszkot – Budapesten tízszeres a radioaktív jód!**

**A 2011. március 11-ei földrengésben megrongálódott fukushimai atomerőműből kiszabadult radioaktív felhő két hete Izlandot érte el először, majd megemelkedett sugárzási értéket mértek szinte egész Európában. Budafokon tízszeres növekményt regisztráltak.”**

1. *Meg lehet-e állapítani a cikkben közölt adatok alapján, hogy a szennyezés veszélyes-e?*
2. *Milyen adat megadása segíthetné ennek eldöntését?*
3. *Az interneten böngészve próbáld kideríteni, mekkora lehetett a szennyezés miatti többlet-sugárterhelés!*
4. *Mi a véleményed a híradás hangulatáról?*

## NE FELEDD!

**Az emberi szervezetet ért sugárzás biológiai hatását leíró mennyiség az effektív dózis, mértékegysége a sievert. Egy átlagos magyar lakos évente átlagosan 3-4 mSv dózisú sugárzást kap. A hétköznapi embert természetes és mesterséges eredetű sugárzás éri. A megemelkedett sugárzás növeli egyes betegségek, például a rák kockázatát. A sugárforrástól való nagyobb távolság, valamint az árnyékolás jelentősen csökkenti a sugárterhelést. Az árnyékolás azt jelenti, hogy a sugárforrást olyan anyaggal veszik körbe, ami elnyeli az általa kibocsátott sugárzást. Ez általában beton vagy ólomtégla.**

# 48. | Veszélyesek-e az atomerőművek?

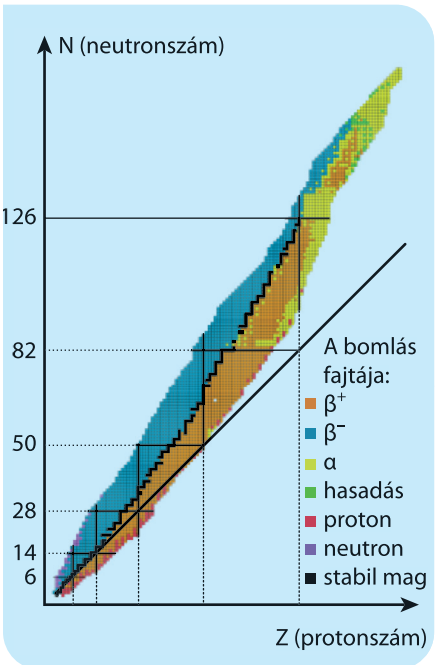
*„Három nagy veszéllyel kell szembenéznie a civilizációnknak. Az első a nukleáris háború pusztítása, a második a túlnépesedés fenyegetése, a harmadik a tétlen kényelem...”*

*(Gábor Dénes Nobel-díjas fizikus)*

Az atomenergia felszabadításával az emberiség minden eddiginél hatalmasabb energiaforráshoz jutott. Az atomenergia megfelelően használva még hosszú ideig képes megoldani energiagondjainkat, de megszületésének pillanatától kezdve magában hordja a pusztító hatású balesetek és a háborús felhasználás lehetőségét.

**Az atommagot a nukleonok közötti rövid hatótávolságú és nagyon erős vonzóerő tartja össze, ami az úgynevezett nukleáris kölcsönhatásból származó magerő.** A magerők nélkül a rendkívül kis térfogatba, az atommagba kényszerített pozitív töltésű protonok elektrosztatikus taszítása szétdobná az atommagot. Így a nukleáris kölcsönhatás nagyon erős, ezért az atommagban hatalmas energia raktározódik, hasonlóan ahhoz, ahogy az összenyomott rugó is energiát tárol.

Az atommag energiájának felszabadításával az emberiség hatalmas és remélhetőleg kimeríthetetlen energiaforráshoz jutott, amit már békés és háborús célokra is felhasznált. A jelenleg működő atomreaktorokban az urán vagy a plutónium nukleáris energiáját hasznosítják. Uránból véges készletek állnak az emberiség rendelkezésére, a plutóniumot viszont éppen uránból állítják elő úgynevezett tenyésztőreaktorokban. Tehát az urán maghasadását hasznosító reaktorok nem lehetnek korlátlan energiaforrások. Az emberiség akkor juthat kimeríthetetlenül sok energiához, ha majd sikerül megalkotni a stabilan, megbízhatóan működő fúziós reaktorokat, melyekben lényegében a Naphoz hasonlóan a hidrogén héliummá történő egyesítése fogja szolgáltatni a hasznosítható energiát. Sokan reménykednek abban, hogy a nagy intenzitással és világméretű összefogással folyó kutatások és fejlesztések 2050-re a gyakorlatban is hasznosítható eredményre vezetnek.




Az ábrát figyelve mi a különbség a stabil atommagokban a neutronok és a protonok számarányában a könnyű, azaz a kis tömegszámú és a nehéz, azaz a nagy tömegszámú atommagok esetén?

## Az atommagok stabilitása

Kísérleti tapasztalat, hogy minden atommag tömege kisebb, mint az őt alkotó **nukleon**ok (protonok és neutronok) tömegének összege. Ezt a jelenséget **tömeghiány**nak nevezzük. A hiányzó tömeg energia formájában szabadul fel, amikor az atommag alkotórészei között kialakul az őket összetartó erős kölcsönhatás. Einstein képlete szerint az energia nagysága így számítható ki:

$E = \Delta m\, c^2$,

ahol $E$ az atommag kötési energiája, $\Delta m$ a hiányzó tömeg, $c$ pedig a fénysebesség.

Einstein 1906-ban megjelent cikkében így írt egyenletének jelentéséről: „Ha egy test sugárzás alakjában $E$ energiát ad le, tömege $\frac{E}{c^2}$-tel csökken.”

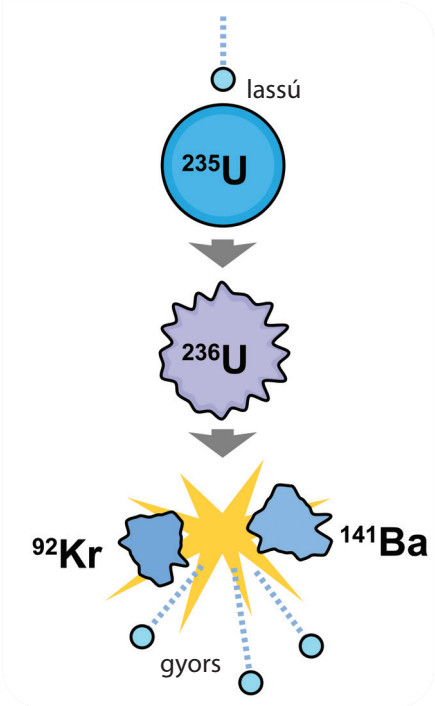
Természetes, hogy a több nukleont tartalmazó magok esetében nagyobb a tömeghiány és a kötési energia is. A mag stabilitását jobban jellemzi az egy nukleonra eső kötési energia, röviden a **fajlagos kötési energia**.

A fajlagos kötési energia két változótól függ: az atommagban található protonok és neutronok számától. Ha egy síkbeli derékszögű koordináta-rendszer egyik tengelyén az atommagban található protonok, másik tengelyén a neutronok számát ábrázoljuk, akkor a sík minden egész koordinátájú pontja egy

atommagnak felel meg. Az egyes atommagok koordinátái éppen a bennük lévő protonok és neutronok számát jelentik. A természetben létező atommagok a sík egy kis tartományát foglalják el. Az előző oldali ábrán a középső fekete csík jelzi a stabil atommagokat, a színek pedig a különböző bomlástípusokat (alfa, béta stb.).

A $^{56}$Fe izotóp (olvasd: a vas 56 izotóp) körül találhatóak a legstabilabb atommagok. A természetes atommag-átalakulások révén összességében nő az atommagok stabilitása. A könnyű atommagok egyesülése révén keletkező új magok stabilabbak, mint a kiinduló atommagok, a nehéz magok hasadásakor keletkező hasadványok is stabilabbak, mint az eredeti magok. A radioaktív izotópok maganyaga a radioaktív bomlás révén átalakulva közeledik a stabil izotópok tartományához. A bomlástermékek tovább bomlanak mindaddig, amíg a keletkező új atommagok már a stabilitás tartományába nem kerülnek. Egy bomlást tehát általában bomlások sorozata követ.

A nehéz atommagok hasadása és a könnyű atommagok egyesülése, azaz fúziója jelentős energiafelszabadulással jár.




Az $^{235}$U hasadásakor kisebb tömegű radioaktív atommagok és gyors neutronok keletkeznek. Ezeket lelassítva újabb hasadások idézhetők elő, majd az ezek során keletkező neutronokkal újabb hasadások. A folyamat neve láncreakció

## Energiatermelés maghasadással

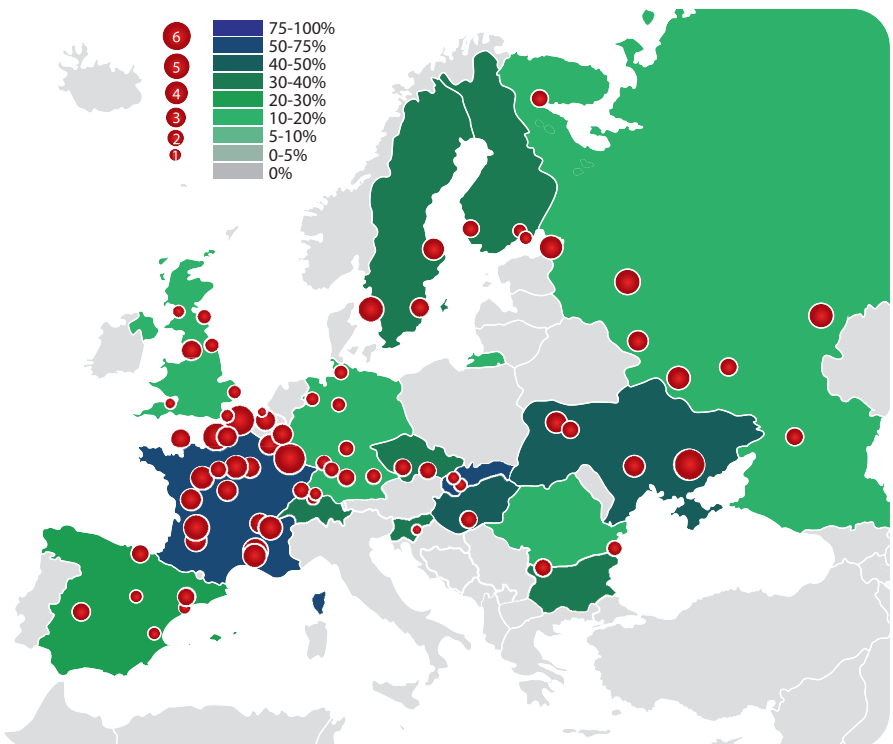
A természetben megtalálható $^{235}$U az energiatermelésre leginkább alkalmas anyag, mivel lassú neutronokkal való bombázásával előidézhető a **maghasadás**.

Minden egyes $^{235}$U-mag hasadásakor nagyjából 200 MeV energia szabadul fel. Az égő szén vagy a kémiai robbanóanyagok esetében ez csak néhány eV. Más szavakkal: 1 rizsszemnyi $^{235}$U hasadásából annyi energia keletkezik, mint 3 tonna szén elégetéséből.

Ha a láncreakció szabályozatlanul megy végbe, az energia szinte azonnal, atomrobbanás formájában szabadul fel. Az atombomba az egyik legpusztítóbb fegyver. (Az elnevezés – az atomerőmű névhez hasonlóan – megtévesztő, mert nem fejezi ki, hogy a bomba energiája az uránatommagok hasadásából származik. Még az atombombáknál is nagyobb energiájúak a hidrogénbombák, melyekben fúzióval szabadul fel az energia.)

Az atomerőművekben a szabályozott láncreakció során felszabaduló energiával áramot termelnek. Magyarország áramszükségletének 40%-át fedezi a paksi atomerőmű négy reaktora. Az egész világon körülbelül 450 reaktor működik.

Németországban döntés született az atomerőművek fokozatos bezárásáról. Franciaország (ahol korábban is jelentős volt a nukleáris energia aránya) az atomenergia használata mellett döntött, és az erőműveikben termelt áram egy részét Németország fogja megvenni és felhasználni. Magyarországon döntés született a paksi atomerőmű bővítéséről.




Az európai atomerőművek és az egyes országokban az energiaellátásban betöltött szerepük

2011-ben Bécsben 2000 gyertyával emlékeztek a csernobili katasztrófa 25 éves évfordulójára és a fukusimai balesetre

**KÍSÉRLETEZZ!**

Egy nagyobb lábasban hozz létre keveréssel vízörvényt, ez modellezi a felső légkörben áramló levegőt. Majd az áramló vízbe cseppents valamilyen jól látszó folyadékot, tintát, vízfestéket. A szennyezés nem egyenletesen terjed el, hanem fonalak mentén. A csernobili baleset után ezért fordult elő az, hogy míg az egyik városban jelentősen szennyezett radioaktív csapadék hullt, a mellette lévő másikban alig volt mérhető a szennyezés. Fényképezd le saját kísérleted néhány eredményét, és mutasd be az órán!

Végezd el a kísérletet álló vízben is! Most hogyan terjed a szennyezés?

Az atomerőmű-balesetek ritkák. Azonban egy-egy súlyosabb szerencsétlenség során a légkörbe, tengerbe került radioaktív anyagok a szelek és áramlások révén elterjednek az egész Földön. Az esővel a földbe, növényekre is rákerülő izotópok az étellel, a levegővel a testünkbe juthatnak, sőt beépülhetnek a test sejtjeibe is.

Balesetek, amelyek során jelentős mennyiségű radioaktív izotóp jutott a légkörbe:

1952: Kanada, Chalk River

1957: Anglia, Windscale

1957: Szovjetunió, most Oroszország, Ozjorszk, Cseljabinszk

1979: USA, Three Mile Island

1986: Szovjetunió, most Ukrajna, Csernobil, mind ez ideig a legsúlyosabb baleset

2011 Japán, Fukusima

A radioaktív szennyezéssel járó balesetek hátterében gyakran emberi mulasztás, a biztonsági szabályok durva megsértése áll. Néha környezeti katasztrófa az ok, földrengés vagy az azt követő áradás (cunami) rongálja meg az erőművet.

Nagyon nehéz megjósolni, hogy milyen irányba mozdul el a reaktor sérülése révén a légkörbe jutott radioaktív felhő.

Napjainkban a fizikusok nagy teljesítményű számítógépekkel próbálják modellezni a légköri folyamatokat, megérteni a szennyezés terjedésének módját. A fukusimai baleset után a tengerbe került szennyező anyagok sorsát sok ezer automatikus mérőműszerrel követik nyomon, így összehasonlíthatják a mért adatokat a számolások eredményével.

Az atomerőművek elhasznált fűtőanyaga radioaktív, ezért különleges tárolókban kell azokat elhelyezni. Megfelelő árnyékolás esetén a sértetlen tárolókból nem jut ki ártalmas sugárzás.

## A fúziós energia békés célú felhasználása

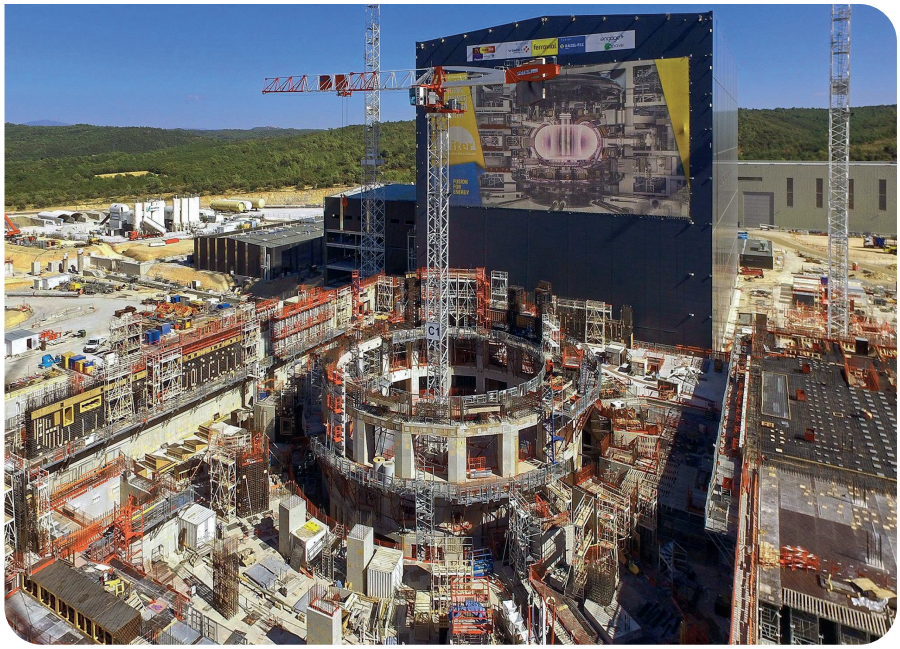
A szabályozott magfúzió megvalósítása meglehetősen nehéz. A csillagok belsejében, több százmillió fok hőmérsékleten indul be a hidrogén fúziója, s egy hidrogénbomba felrobbanása során is ezt a hőmérsékletet kell elérni a fúziós reakció létrejöttéhez. A fúzió során hidrogénből hélium keletkezik, ami nem terheli a környezetet, szemben az atomreaktorokban keletkező sugárveszélyes hulladékkal. A fúzió alapanyaga, a hidrogén is olcsó és nagy mennyiségben áll rendelkezésre.

A fúzióhoz szükséges magas hőmérséklet előállításánál is nagyobb kihívás a felhevített plazma biztonságos kezelése. A nagyságrendileg százmillió fokra felhevített plazmát tartósan erős szupravezető elektromágnesek tudják úgy lebegtetni, hogy az ne olvassza meg, párologtassa el a környező anyagokat (TOKAMAK rendszer)

## Hallottál róla?

A Paksi Atomerőműben 2003. április 10-én éjszaka az erőmű 2. blokkjánál radioaktív nemesgáz megjelenését észlelték a műszerek, ennek forrása egy tisztítótartály volt, amelyet ideiglenesen helyeztek el egy, a reaktor mellett található aknában. A tartály a fűtőelem-kazettákon észlelt lerakódás vegyszeres eltávolítására szolgált. A tartályfedél leemelése után megállapították, hogy a tisztítótartályba helyezett 30 db üzemanyag-kazetta sérült, deformálódott.

Az üzemanyag-kazetták a tisztítótartály tervezési hibája miatt a szükségesnél kevesebb hűtést kaptak, ezért túlhevültek. Az eseményt a kezdeti információk alapján 2-es, majd a következmények megismerése után 3-as kategóriába sorolták a közvélemény tájékoztatását szolgáló skálán. Ez ugyan súlyos üzemzavarnak minősül, de nem jár külső (létesítményen kívüli) kockázattal. Jelentős környezeti szennyezés nem történt, észrevehető mennyiségű radioaktivitás nem jutott a környezetbe.



Az első fúziós erőmű az Európai Unió, Oroszország, az Egyesült Államok, Dél-Korea, Kína, Japán és India finanszírozásában épül Franciaország területén. Neve ITER ((International Thermonuclear Experimental Reactor), projekt költségét jelenleg 15 milliárd Eurora becsülik, de nyilván nőni fog.

A tervek szerint az ITER körülbelül 500 MW fúziós teljesítmény fenntartására lesz képes legfeljebb 400 másodpercen keresztül. Ezalatt körülbelül fél gramm deutérium-trícium keverék fúziója zajlik le a 840 $m^3$ térfogatú reaktortartályban. Noha az ITER már képes lesz fúziós energia előállítására, ezt még nem fogják áram termelésére használni, hanem egyfajta kísérleti eszközként azt fogja bemutatni, hogy egyáltalán technikailag lehetséges a szabályozott fúziós energiatermelés. Ipari célokra energiát majd nagyobb teljesítményű fúziós erőművekkel állítanak elő, a projekt sikerét követően.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mit tudsz a nukleáris kölcsönhatásról?
2. Milyen atommag-átalakulások járnak jelentős energiafelszabadulással?
3. Miért lehetnek veszélyesek az atomerőművek?
4. Milyen folyamatból származik az atomerőműben áramtermelésre használt energia?
5. Európának mely részein van a legtöbb atomerőmű?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

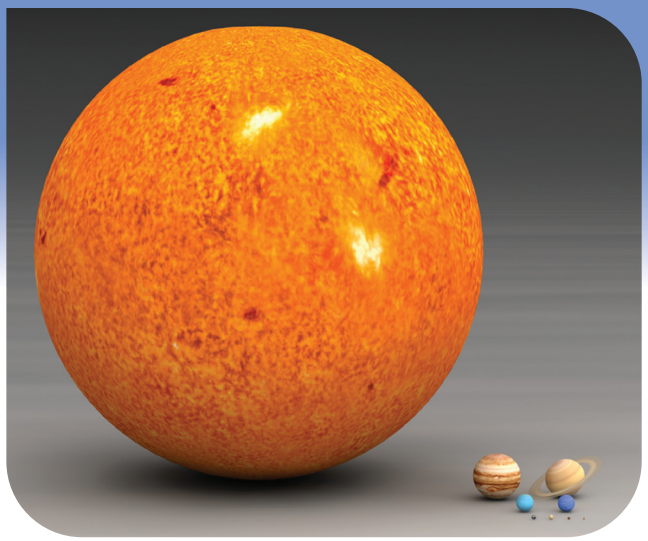
1. Valaki azt állítja, hogy az atomerőművek nem jelenthetnek veszélyt a tőlük 300 km-nél messzebb lakókra. Egyetértesz ezzel? Gyűjts érveket ellene, illetve mellette, és vitasd meg osztálytársaiddal! Mi a helyzet a hőerőművekkel?
2. Keress az interneten adatokat az 1999-es tokaimurai balesetről! Milyen súlyos volt, és mi okozta?
3. Hogyan változik az egy nukleonra jutó kötési energia az atommagban található protonok és neutronok száma szerint?
4. Határozd meg az $^{18}O$ magjának tömegét, ha tudjuk, hogy a magban az egy nukleonra jutó kötési energia 1,278 pJ! A proton és a neutron tömegét keresd meg például a Négyjegyű függvénytáblázatokban!
5. Írj számítógépes programot, amely 10 000 egy helyről induló szennyező részecske véletlenszerű mozgásának követésével modellezi a szennyezett folt terjedését! Útmutatás: a részecske helyét az x és y koordinátájával add meg, a véletlenszerű mozgás során az egyik koordináta nőjön vagy csökkenjen 1 egységgel!

## NE FELEDD!

**Az atommagot a nukleonok közötti rövid hatótávolságú és nagyon erős vonzóerő tartja össze, ami a nukleáris kölcsönhatásból származik. A nukleáris kölcsönhatás nagyon erős, ezért az atommagban hatalmas energia raktározódik. A nehéz atommagok hasadása és a könnyű atommagok egyesülése, fúziója jelentős energiafelszabadulással jár. A gyorsan felszabaduló energia pusztító atomrobbanást okoz. Az atomerőművekben szabályozott módon használják áramtermelésre az atomenergiát. Az erőművek baleseteiben a kiszabaduló sugárzó anyag nagy területen való elterjedése a legnagyobb veszélyforrás.**

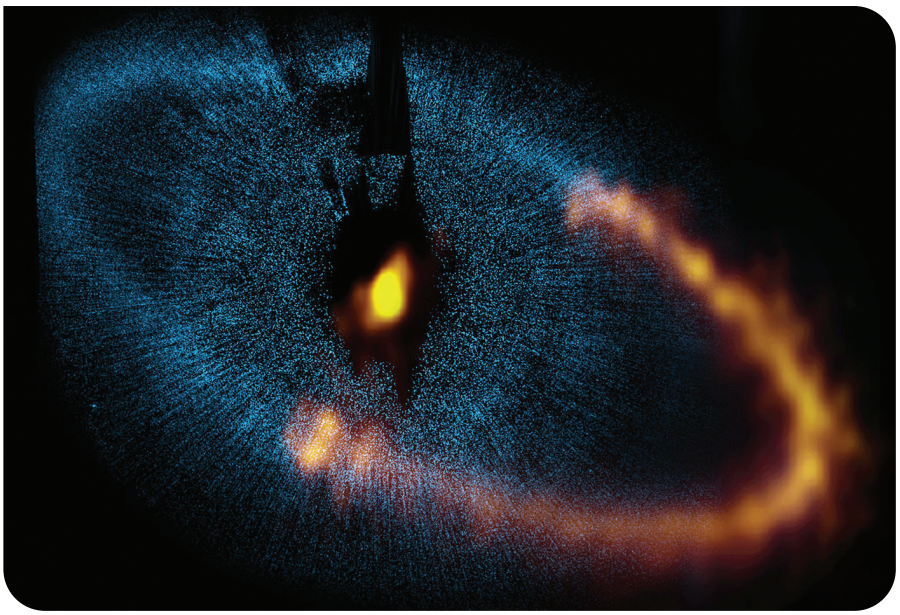
## Megdöbbentően pici a Föld,

*az emberiség lakóhelye a Naphoz képest, de még az óriásbolygókhoz képest is. A következő oldalra lapozva nyomozzuk ki, hogy melyik bolygónak mi a neve! Néhányat könnyen felismerhetünk akár segítség nélkül is.*



## A Fomalhaut

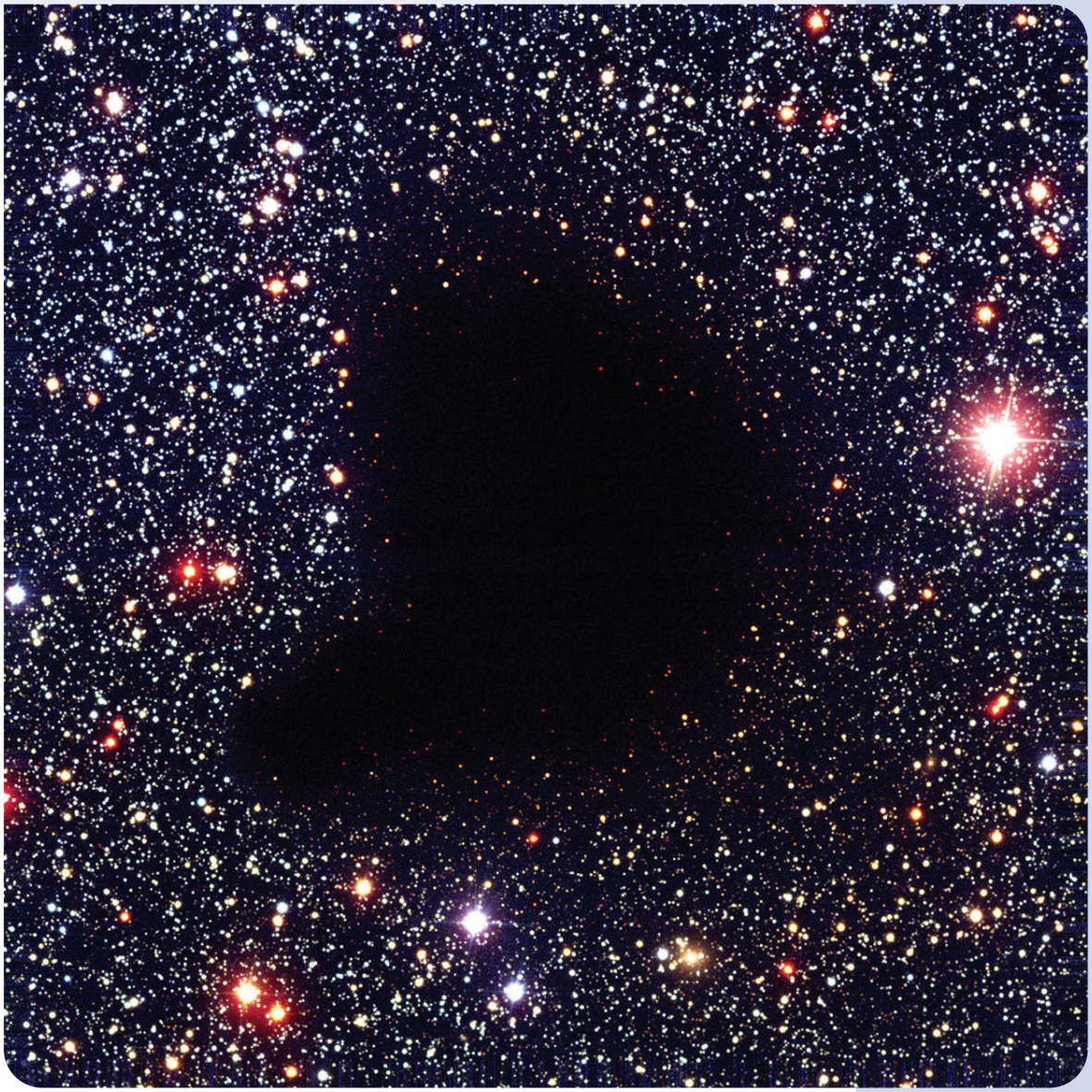
*(arab jelentése: a hal szája) az égbolt egyik legfényesebb csillaga, nagyon közel, 25 fényévre van tőlünk. Mára már megállapították a csillagászok, hogy valójában hármas csillagról van szó, melyet nagy mennyiségű törmelék vesz körül. A feltételezések szerint a rendszer jelenleg a bolygóképződés szakaszában van. Hogyan képzelhetjük el a bolygók kialakulását?*



## Lavina a Marson!

*2008-ban figyelték meg ezt a természeti jelenséget. A kép álszínkódolással készült, vagyis a színek nem valódiak. A lavinában szén-dioxid-jég (szárazjég) és különböző kőzetek darabjai, illetve pora mozgott. Hogyan készülhetett a felvétel?*

# A VILÁGEGYETEM MEGISMERÉSE



**A Barnard 68-köd**

*mindössze 400 fényévnyire van tőlünk, nagyjából fél fényév az átmérője, a ködöt alkotó molekulafelhő tömege pedig a Nap tömegének hozzávetőlegesen kétszerese. A molekulafelhőben a hőmérséklet mindössze 16 K. Látható fényben átlátszatlan, ezért találunk a kép közepén fekete foltot. A jóslatok szerint százezer év múlva csillag lesz belőle. Hogyan?*

# 49. | A Naprendszer modelljei

*A bolygók meglehetősen bonyolult pályán mozognak a csillaghátérhez képest. Mivel a bolygók mozgásának az elmúlt évezredben az emberek különös jelentőséget tulajdonítottak saját sorsuk szempontjából, ezért központi kérdés volt a bolygók helyzetének előrejelzése. A valósághű Naprendszer modelljének megalkotását nem csak a csillagászok (asztronómusok) tekintették feladatuknak, hanem a csillagjósok (asztrológusok) is.*

## Hogyan látjuk az égboltot?

Bár látszólag a Nap kel fel és nyugszik le, de tudjuk, hogy a Nap áll, csak a Föld tengely körüli forgása miatt tűnik úgy, mintha a Nap keringene az álló Föld körül. A bolygók a Nap körül keringenek, pályájukon a Nap gravitációs vonzása tartja őket.

Az égbolt megfigyelése során a következő alapvető tapasztalatokat szerezték az ókor tudósai:

A Nagymedve csillagkép, melynek egy részét mi Göncölszekérnek hívjuk

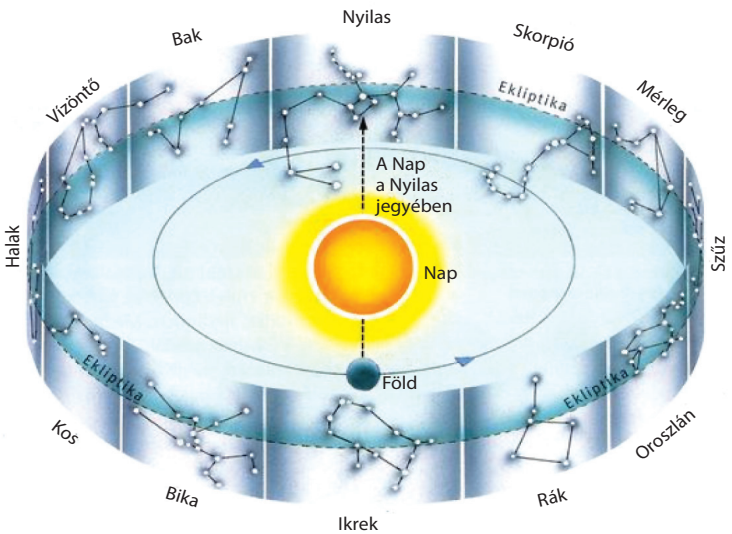
- A Nap felkel és lenyugszik, vagyis egy nap alatt megkerüli a Földet. A napnyugták és napkelték helye és ideje folyamatosan változik az év során.
- Az éjszaka során a csillagok együtt mozognak az ég egy pontja (a Sarkcsillag) körül. Mindez olyan, mintha egy sötét kupola forogna fölöttünk, melyre világító lámpák (csillagok) vannak erősítve. Így az egymáshoz képest mozdulatlan csillagok csoportjait a könnyebb azonosíthatóság kedvéért csillagképekbe rendezték őseink.
- Vannak olyan égitestek, melyek elmozdulnak ehhez az állandó csillaghátérhez képest, bolyonganak a csillagképek között. Ezeket nevezték bolygóknak.

## Hallottál róla?

Az égen megfigyelhető csillagképek sosem azonosak azzal, amilyen csillagjegyet mutat a naptár. Az Ikrek csillagjegybe nyáron lehet beleszületni, miközben az Ikrek csillagkép télen látható.

A magyarázat az, hogy az Ikrek csillagjegyben születettek születésekor a Nap tartózkodott az Ikrek csillagképben, azaz az Ikrek csillagkép a Nap irányába esik, és így nyilván nem is láthatjuk a Nap fénye miatt. Az Ikrek csillagképet a Nyilas csillagjegyben születettek láthatják az égen születésnapjuk környékén éjszaka.

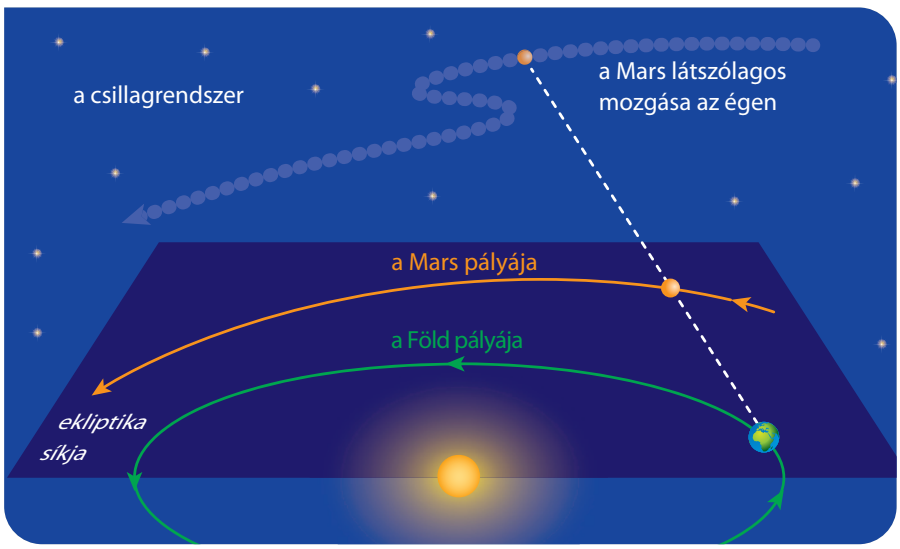
Az egyes csillagképek csillagai a legkülönbözőbb távolságra vannak tőlünk. Így csak a Földről nézve helyezkednek el egymáshoz képest úgy, ahogy leírjuk azokat.



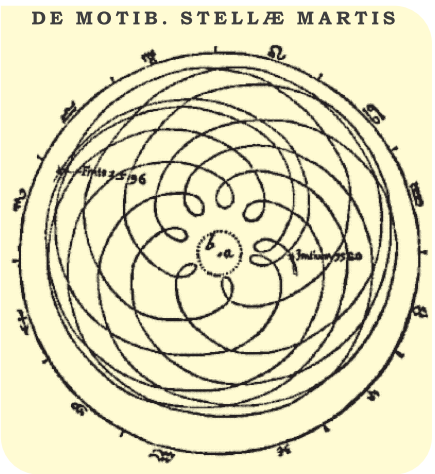

A csillagjegyek elhelyezkedése az égen. A képen látható helyzethez képest mennyi idő múlva kerülünk az Ikrek jegyébe?

## A bolygók mozgása a csillagháttérhez képest

**A bolygók a Földről nézve a csillagháttérhez képest nem egyenletes, egyirányú mozgást végeznek, hanem pályájukban hurkok jelentkeznek,** azaz mozgásirányuk időnként megfordul. Ennek oka, hogy a Nap körül keringő Földről figyeljük meg a Földtől eltérő ütemben, de szintén a Nap körül keringő bolygókat.



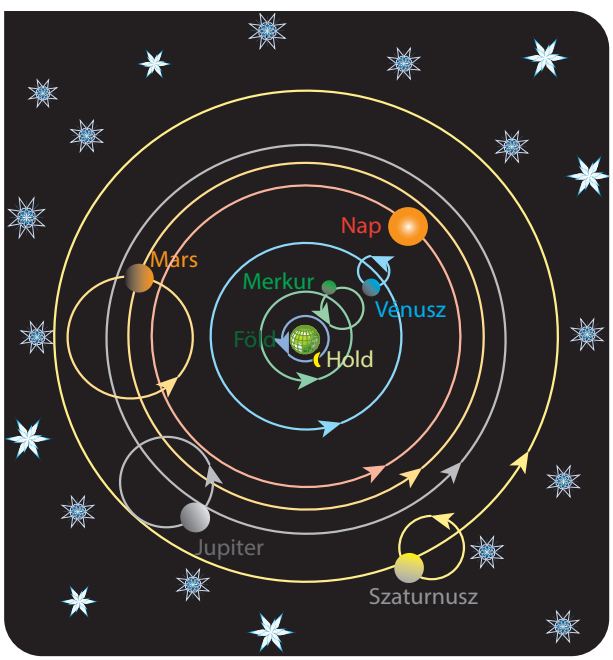

■ A Naprendszert leíró modelleknek ezt a sajátos mozgást is értelmeznie kellett



■ A Mars mozgása a geocentrikus világkép alapján Kepler művében és a valóságban az égbolton. Hogyan készülhetett a hurkolt bolygómozgást mutató fénykép?

## A Föld-középpontú világkép (geocentrikus modell)

Az arisztotelészi fizika egyik sarokköve a Föld-középpontú világkép. Ha közvetlen tapasztalatainkra támaszkodunk, könnyen érthető ennek a modellnek az elterjedése. Hiszen a Nap látszólag a Föld körül kering, az ég „kristálygömbje" egy Földhöz rögzített tengely körül forog, és a tárgyak mind a Föld felé esnek. A Föld-középpontú világkép szerint a világegyetem középpontjában a Föld van. A Föld körül kering a Nap és a bolygók. A bolygók hurokmozgását a Föld-középpontú világkép a következőképpen értelmezte: A bolygók olyan körpályán keringenek, melynek a középpontja végez körmozgást a Föld körül. A pályasugarak és a keringési idők megfelelő megválasztásával a mérési tapasztalatokkal közelítőleg egyező leírást kaptak.




■ A geocentrikus világkép körei. Hogyan tudnak az égbolton a bolygók visszafelé haladni a geocentrikus modell alapján?

### Tőled függ!

Ma már nem tudjuk úgy élvezni az éjszakai égbolt látványát, mint évszázadokkal ezelőtt. Ugyanis egyre kiterjedtebb településeink közvilágítása elnyomja az égbolt természetes fényét. Ezt a jelenséget nevezik fényszennyezésnek. Minden év március utolsó szombatján, a Föld órája rendezvény keretében a Föld számos pontján 1 órára lekapcsolják a közvilágítást, hogy lássuk, milyen volt eleink éjszakája. Minél többen csatlakozunk az akcióhoz, annál szebb eget csodálhatunk meg. Más napokon pedig, ha szép csillagos eget szeretnél látni éjszaka, tiszta időben keress fényektől távoli helyet településed környékén. Hidd el, a látvány megéri!

## Hogyan volt régen?

A középkorban az áltudományos asztrológia (csillagokból való jóslás) és a csillagászat tudománya (asztronómia) nem vált el élesen. A mind pontosabb Naprendszer-modellek célja a bolygók helyzetének előrejelzése volt, hiszen úgy vélték, hogy a bolygók helyzete befolyást gyakorol az emberek sorsára. A főkörökből és segédkörökből összerakott geocentrikus világképet újabb és újabb körökkel gyarapították, hogy a bolygók helyzetére vonatkozó jóslatok pontosabbá váljanak.

■ Ptolemaiosz (egy korai barokk művész ábrázolásában) és világképének vázlata.
Miért volt szükség a bolygópálya segédkörére, az úgynevezett epiciklusra?

Claudius Ptolemaiosz, aki 83–161 között élt, olyan bolygómodellt adott meg, melyben a bolygók főköreinek középpontja, (melyen a bolygókat is tartalmazó segédkörök középpontja futott), nem a Föld volt, hanem egy olyan pont, mely körül a Föld is keringett. Viszonylag egyszerű pályája a Földön kívül csak a Napnak volt. Ptolemaiosz elképzelése a XVI. századig tartotta magát, és bizonyult kellően pontosnak.

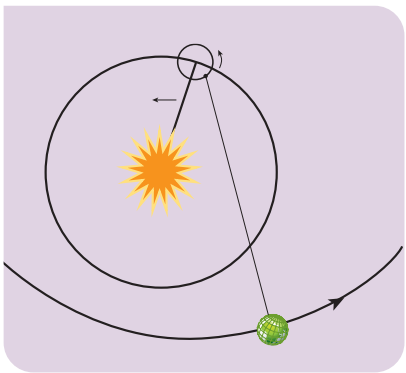
## A Nap-középpontú világkép (heliocentrikus modell)

Nikolausz Kopernikusz (1473–1543) lengyel kanonok nevéhez fűződik a Nap középpontú világkép kidolgozása. Ismét elővette az ókori görög filozófus, Arisztarkhosz régen elfeledett modelljét, és a világegyetem középpontjába a Napot helyezte. **A Nap-középpontú világkép szerint a bolygók a Nap körül keringenek.** Az elmélet előnye egyszerűsége volt, hátránya, hogy mivel Kopernikusz körpályákat képzelt el, pontatlanabb volt, mint Ptolemaiosz modellje. Komoly nehézséget jelentett, hogy a Föld kikerült a világ középpontjából,

■ A heliocentrikus világkép, Kopernikusz korában a feltételezés teológiai (vallási alapú) ellenvetéseket váltott ki

## Hallottál róla?

Kopernikusz a nagyobb pontosság érdekében maga is javítgatta modelljét, segédkörökkel egészítette ki, mely ettől mind bonyolultabbá vált, és eltűnt nagy előnye – ami ellensúlyozhatta volna pontatlanságát – a modell egyszerűsége. Halálakor megjelent művében a Merkúr mozgásának pontos leírásához hét körre volt szüksége, a Vénuszéhoz ötre, a Föld mozgásához mindössze háromra. Egy Nap körül körpályán keringő pont volt annak a körnek a középpontja, melyen keringett a Földet tartalmazó kör középpontja. Ezeket a ptolemaioszi leírásból vett segédköröket epiciklusoknak, illetve többszörös epiciklusoknak nevezzük. Kopernikusz gondolatai azért terjedtek el igen lassan, mert munkája nehezen érthető volt. Még a betiltására is jó hetven évet kellett várni.



■ Kopernikusz Nap középpontú epiciklusai

Az elkövetkező évszázadokban a tudós gondolkodók törekvése az volt, hogy ötvözzék az egyszerűséget a pontossággal, az új és gyorsan fejlődő tudomány friss szemléletét az egyház által megfogalmazott világnézeti elvárásokkal.

2005-ben Fromborkban, abban a városban, ahol Kopernikusz elhunyt, a székesegyházban végzett ásatás során egy koponyára és néhány csontra bukkantak az antropológusok. A csontmaradványokból nyert DNS-t egy Kopernikusz által gyakran forgatott, 1518-as kiadású könyvben talált hajszál DNS-ével összevetve 2008-ra kiderült, hogy a koponya a nagy tudós földi maradványa. A koponya alapján rekonstruálták az idős Kopernikusz arcvonásait is. Keresd meg a képet az interneten (pl.: Copernic DNA)!

ami azt jelentette, hogy nem mi vagyunk a világ középpontja. Ez a tény nehezen feldolgozható a ma embere számára is. Kopernikusz korában a feltételezés teológiai (vallási alapú) ellenvetéseket váltott ki a nagy hatalmú egyház köreiben. Ennek tulajdonítható, hogy Kopernikusz elmélete csak 1543-ban jelent meg, néhány nappal halála előtt, így a kinyomtatott művet már nem olvashatta.

## Hogyan volt régen?

Tycho Brahe dán csillagász 1546-ban született Dániában, és 1601-ben halt meg Csehországban. Túlságosan bonyolultnak érezte Kopernikusz modelljét, ugyanakkor elfogadta, hogy a bolygók a Nap körül keringenek. Megfigyelései szerint a bolygók ugyan a Nap körül keringenek, de a Nap a Föld körül. II. Frigyes dán király udvari csillagászaként egy kis szigetet kapott csillagászati obszervatórium berendezésére. Az általa alapított Uranienborg a távcső feltalálása előtti időszak legnagyobb és legjobban felszerelt észlelőhelye volt. Tycho Brahe kiváló csillagász volt, komoly anyagi támogatás mellett, számos észlelő alkalmazásával gyűjtötte össze kora legpontosabb adatait a bolygók mozgásairól. Miután II. Frigyes meghalt, Tycho forrásai Uranienborg fenntartására elapadtak, és ő elfogadta II. Rudolf német-római császár és magyar király meghívását. Egy Prága melletti kastélyba költözött, és ott hozott létre obszervatóriumot. Itt szegődött mellé Johannes Kepler, aki Tycho halála után a nagy csillagász féltve őrzött, évtizedekre visszanyúló megfigyelési adatait rendezte, majd ezekből a Naprendszer máig használatos modelljét alkotta meg.

## Hallottál róla?

Tycho Brahe erőszakos, kötekedő ember volt. Orrának egy darabját egy párbajban elvesztette, ezért formára öntött bőrszínű, ezüst-arany-réz ötvözetből készült orrprotézist hordott. Halála körülményei máig tisztázatlanok. A prágai Tyn-templomban lévő maradványait 2010 végén exhumálták (kibontották a sírját, kivették földi maradványait, hajszálaiból, csontjaiból mintát vettek, majd öt nap múlva újratemették). Az elvégzett vizsgálatok kizárták, hogy higanymérgezésben halt meg, amit bajszának maradványait vizsgálva fogalmaztak meg 1901-ben. Vagy talán egyszerű vesekőproblémái miatt hunyt el? A vizsgálatok során semmilyen vesekőre utaló jelet nem találtak. Legvalószínűbbnek az látszik, mely szerint halálát egy féktelen tivornya utáni húgyhólyagrepedés okozta, mert az udvari etikett nem engedte meg, hogy II. Rudolf előtt elhagyja a lakoma színterét.

Tycho Brahe

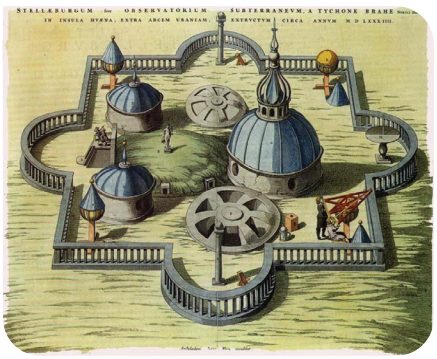
Tycho rendszere

## NE FELEDD!

**A Nap, a csillagképek, a Hold és a bolygók látszólagos mozgását az éjszakai éggömbön sokféle modell alapján próbálták értelmezni az emberiség története során.**

**A középkor világképe szerint a bolygórendszer középpontjában a Föld van, és körülötte bonyolult körök fogaskerékrendszerének mozgásával lehet leírni a többi bolygó mozgását.**

**Kopernikusz Nap-középpontú világképe egyszerűbb, de pontatlanabb megoldást javasolt a bolygók mozgásának leírására. A következő évszázadok megmutatták, hogy Kopernikusz Nap-középpontú világképe a helyes.**



Uranienborg

## NE HIBÁZZ!

A ptolemaioszi Föld-középpontú bolygómodell pontosabban jósolta meg a bolygók jövőbeli helyzetét, mint a kopernikuszi Nap-középpontú bolygómodell. Ezért volt kénytelen Kopernikusz továbbfejleszteni és közben „elbonyolítani" elképzelését. A tudománytól elvárjuk, hogy pontos jóslatokat adjon. Egy korszakalkotó új gondolat (a Nap középpontba helyezése) akkor érik igazán tudományos elméletté, ha a segítségével a korábbiaknál pontosabban tudjuk leírni a valóságot.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Tájékozódj az interneten, mikor lehet megfigyelni a Marsot a tanév során!
2. Mihez képest, milyen értelemben bolyonganak a bolygók vagy bolyongók? Miért írnak le hurkokat a bolygók a csillagháttérhez képest a Földről nézve?
3. Mely égitestek nem írnak le hurkokat az égbolton a Földről nézve?
4. Miért mozdulnak el a csillagok az éjszaka során egy körív mentén a Sarkcsillaghoz képest?
5. Miért nem tudjuk megfigyelni a Jupiter elmozdulását a csillagokhoz képest egy éjszaka során?
6. Milyen csillagképek látszottak az égbolton születésedkor?
7. Milyen közvetlen tapasztalatok támasztották alá az arisztotelészi világképet?
8. Keresd meg a Google Föld program segítségével Uranienborgot, Tycho Brahe csillagvárosát és Frombork ot, ahol Kopernikusz sírja van!
9. Javasoljál csillagászati megfigyelésre alkalmas, fényszennyezésmentes területet lakóhelyed közelében!
10. Keress az interneten Tycho Brahe és Kopernikusz munkáinak első kiadásairól készült képeket! Milyen nyelven íródtak ezek a munkák?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A csillagképek a múltban nem úgy néztek ki, ahogy ma látjuk azokat. Milyen okokra vezethető vissza a jelenség?
2. Hogyan magyarázta Ptolemaiosz Föld-középpontú világképe a bolygók látszólagos hurokmozgását? Hogyan oldja fel azt a problémát Kopernikusz modellje? Miért kellett Kopernikusznak „elbonyolítani" a modelljét?
3. A csillagkép a csillagok egy csoportjának látványa az égbolton. Ez a látvány azért különös, mert az idő különböző mélységeiből közvetít egyszerre információt. Mit jelenthet ez a mondat? Hogyan függ össze az állítás a fény véges sebességével?
4. Keresd meg az alábbi csillagképeket az égbolton: Cassiopeia, Nagy Göncöl, Orion, Lant, Ikrek. (A tájékozódásban segíthet például a Google Sky vagy a Stellarium program.) A felsoroltak közül melyik inkább téli, és melyik inkább nyári csillagkép az északi félgömbön? Melyik figyelhető meg minden évszakban és miért?
5. Nézz utána, hogy születésed napján melyik csillagképben tartózkodott a Mars, a Jupiter, a Vénusz, a Nap!
6. Mi a magyarázata a Nap mozgásának az égbolton? Hogyan mozog az égen a Nap télen és nyáron?
7. Miért éppen az állatövi csillagképeket használták az asztrológusok? Miért nem született senki például a Cassiopeia csillagképben?
8. Tycho Brahe orvosa Jeszenszky János (Johannes Jessenius) volt, akit több nemzet tekint saját polgárának, akár magyarnak is tarthatjuk. Nézz utána kalandos életének, írjál belőle rövid összefoglalót! Hol van Jeszenszky János sírja?
9. Gyűjts képeket az interneten azokról a műszerekről, melyeket Tycho Brahe használt Uranienborgban! Miért nem használtak távcsöveket? Hogyan figyelték meg a bolygókat, milyen adataikat rögzítették a bolygótáblázatokban?

# 50. | Kepler törvényei

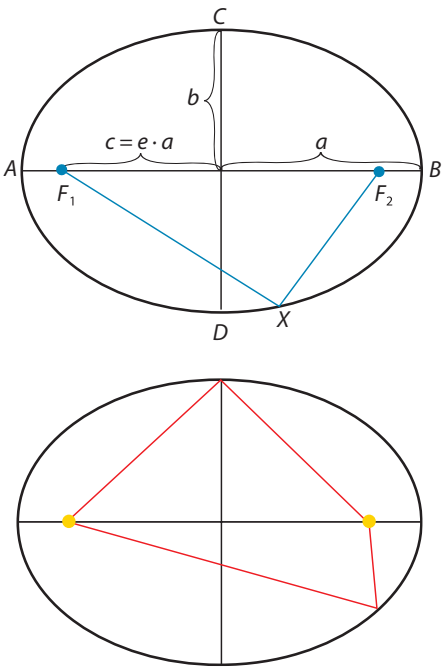
*A XVII. századig tartotta magát az elképzelés, hogy a bolygópályák csak körök lehetnek, vagyis a bolygók mozgását leíró modell legyen mégoly bonyolult, csak körök rendszeréből állhat. Az isteni szabályosság, tökéletesség megnyilvánulásáról a bolygók mozgásának leírásában Kepler is meg volt győződve, azonban Tycho Brahe megfigyeléseit elemezve rájött arra, hogy Isten a bolygók mozgásának titkát trükkösebben rejtette el az avatatlanok szeme elől. Kepler meglehetősen büszke volt arra, hogy az isteni trükköt neki sikerült kifürkésznie.*

## Kepler első törvénye

Johannes Kepler (1571–1630)

A Nap-középpontú világkép gondolata a lengyel Kopernikusztól származott. Kopernikusz kör alakú bolygópályákat tételezett fel a Nap körül. Az így kialakított modell azonban olyan pontatlanul írta le a bolygók helyzetét a valósághoz képest, hogy a Nap körül szabályos körök mentén keringő bolygók modellje alapján a bolygók várható pozícióira pontos számításokat nem lehetett készíteni. Johannes Kepler a XVII. század első évtizedében hosszas szellemi vívódás után arra a következtetésre jutott, hogy a bolygópályák ellipszisek. Bár nemrégiben a földrajz foglalkozott a Kepler-törvényekkel, hasznos lesz ezeket fizikából is megtanulni. **Kepler első törvénye kimondja, hogy a bolygók ellipszispályán keringenek a Nap körül, a Nap az ellipszis egyik fókuszában helyezkedik el.**

## Az ellipszis tulajdonságai




Az ellipszis nevezetes pontjai és méretei (az alsó ábra azt szemlélteti, hogyan rajzolhatunk adott hosszúságú zsinórral ellipszist)

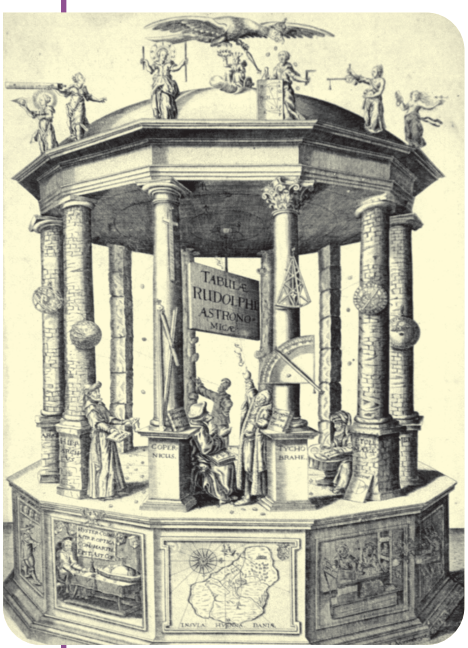
Az ellipszis azon pontok halmaza a síkban, melyek két ponttól (a fókuszpontoktól vagy más néven a gyújtópontoktól) vett távolságösszege állandó. Az ábrán látható az ellipszis nagytengelye ($2a$) és kistengelye ($2b$). A fókuszpontok és az ellipszis középpontjának távolságát $c$-vel jelöljük, $c = e \cdot a$, ahol $e$ az ellipszis úgynevezett excentricitása, melynek értéke nulla és 1 közé esik. Ha $e = 0$, akkor kört kapunk, ami olyan speciális ellipszisnek tekinthető, melynek két fókusza egybeesik. Minél nagyobb $e$ értéke, annál elnyújtottabb az ellipszis. Az ellipszis definíciója alapján látszik, hogy bármely tetszőleges $X$ pontjára fennáll a következő összefüggés: $F_1X + XF_2 = 2a$.

Könnyen rajzolhatunk ellipszist két rajzszög, egy zsinór és egy ceruza segítségével. A rajzszögeket leszúrjuk a fókuszpontokba, a zsinórt lazán a rajzszögekhez csomózzuk. A ceruza hegyével megfeszítjük a zsinórt és úgy rajzolunk vele, hogy a háromszöget alkotó zsinór mindig feszes maradjon. Ekkor a két fókuszponttól húzható sugár összege (a zsinór hossza) állandó marad, így a rajzolt görbe valóban ellipszis lesz.

## Hallottál róla?

Tycho Brahe évtizedekre visszamenő mérési eredményeit a halálos ágyán Keplerre hagyta, rábízta a bolygópályák titkainak megfejtését. A táblázatok lehetőséget adtak Keplernek arra, hogy saját észlelés nélkül elemezze a bolygópályákat. Ezek a számítások vezettek el a Kepler-törvényekig.

Az adatokat tartalmazó könyvet csak élete vége felé, 1627-ben jelentette meg Kepler *Rudolf-táblák* címmel, mert a művet II. Rudolf császárnak akarta ajánlani. A kiadás azért késett sokat, mert a könyv eladási hasznából Brahe utódai is részesülni akartak. A pereskedést hosszas csatározás után Kepler nyerte meg, azonban közben II. Rudolf meghalt. A császár halála miatt a könyvet végül is az új császárnak, II. Ferdinándnak dedikálta Kepler, azonban a mű címe *Rudolf-táblák* maradt. A kiadás jelentős anyagi sikert hozott Keplernek. A *Rudolf-táblák* azért kelt el nagy példányszámban, mert belőle csillagjóslás céljából nagy pontossággal előre is ki lehetett olvasni a csillagok és a bolygók állását.



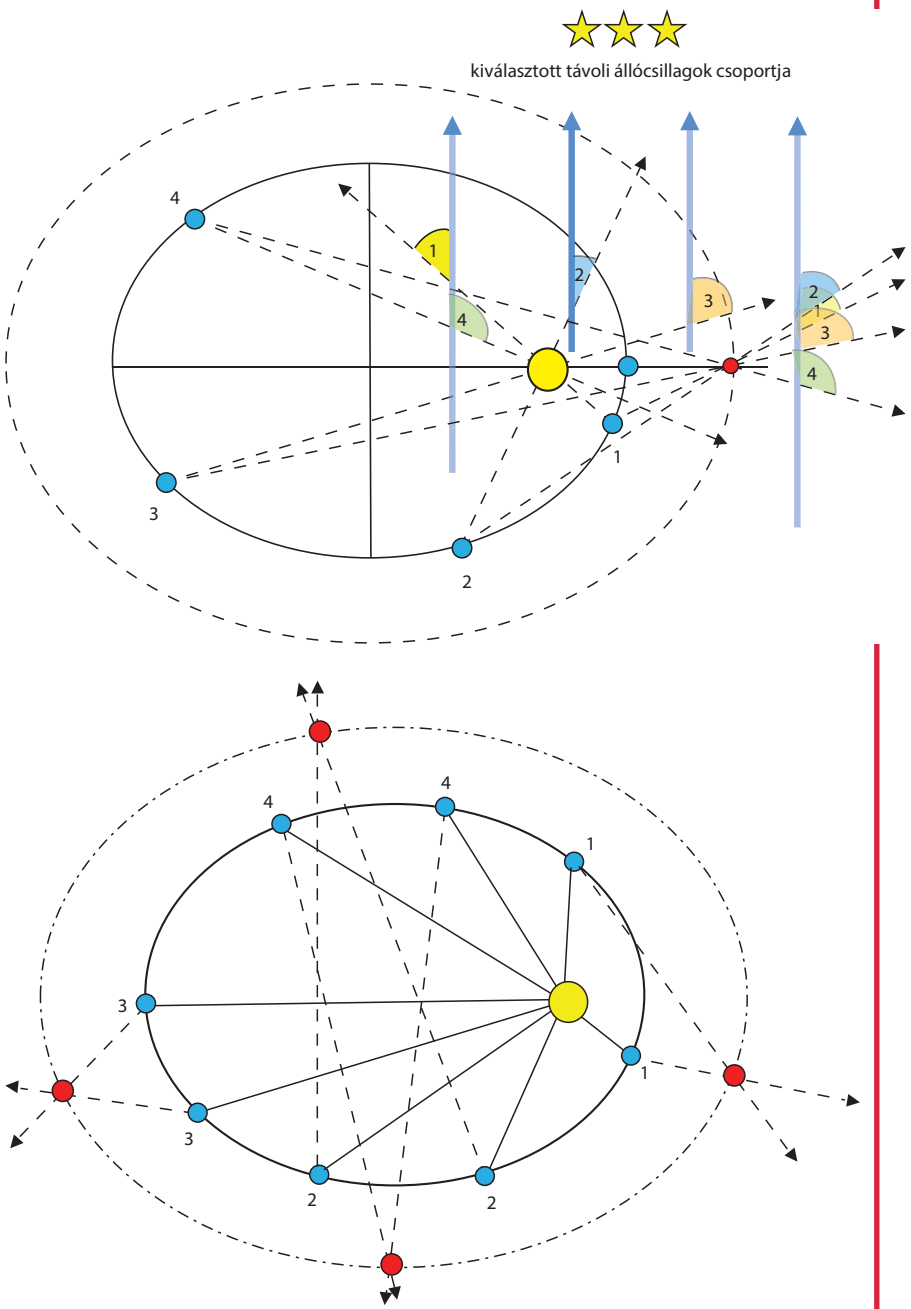
A Kepler által kiadott *Rudolf-táblák* első lapján négy nagy csillagász látható: Hipparkhosz, Ptolemaiosz, Kopernikusz és Tycho Brahe

## Hogyan volt régen?

Kepler egy olyan múltbéli együttállásból indult ki, amikor a Nap, a Föld és a Mars egy egyenes mentén helyezkedett el. Tudta, hogy a Mars keringési ideje 687 földi nap. Táblázatból kikereste, hogy 687 nap múlva a távoli állócsillagokhoz képest merre esik a Nap, illetve a Mars, a Földről nézve. A két irányból meghatározta a földpálya egy pontját, majd az eljárást többször megismételte. Számításai során a Tycho Brahe által összegyűjtött adatokat használta.

Az első ábrán az összetartozó számok jelentik az egyes szerkesztési lépéseket. A Mars pályáját nem ismerjük, azt szaggatottal jelöltük. A Föld pályáját a szerkesztés rajzolja ki. A szerkesztés nem adta meg a bolygópályák abszolút méreteit, csak egymáshoz viszonyított arányát.

A Föld pályájának ismeretében megszerkeszthető a Mars pályája is (második ábra).

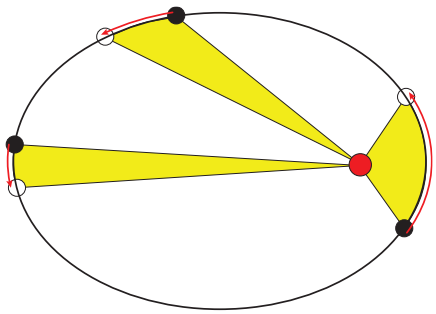



A két ábra a Föld és a Mars pályájának meghatározását szemlélteti

## Kepler második törvénye

**Kepler második törvénye kimondja, hogy a bolygót a Nappal összekötő egyenes (vezéregyenes) azonos idők alatt azonos területet súrol (a területi sebesség állandó).**

Ennek értelmében a bolygó napközelben nagyobb sebességgel, naptávolban kisebb sebességgel mozog. Ezt az állítást szemlélteti az ábra. A sárga területeket az ellipszisen mozgó bolygó azonos idők alatt súrolja.



Kepler második törvényét szemléltető ábra

Ha például a bolygó napközelben, mondjuk, ötször közelebb van a Naphoz, mint naptávolban, akkor napközelben a bolygó ötször gyorsabban mozog, mint naptávolban. Kepler második törvénye, a többi Kepler-törvényhez hasonlóan nemcsak a bolygókra, hanem a Nap körül keringő többi égitestre, például az üstökösökre is igaz.

## Kepler harmadik törvénye

Kepler harmadik törvénye a Nap körül keringő égitestek keringési idejét és távolságát hasonlítja össze. A törvény kimondja, hogy egy bolygó átlagosan minél messzebb van a Naptól, annál hosszabb a keringési ideje. Számszerűen ezt az összefüggést két bolygót összehasonlítva így írhatjuk fel:

$$\frac{R_1^3}{R_2^3}=\frac{T_1^2}{T_2^2},$$

ahol $R$-rel a központi csillagtól vett átlagos távolságot, $T$-vel a keringési időt jelöltük. Ezt másképp úgy fogalmazhatjuk meg, hogy **a Naprendszerben a bolygók keringési ideje négyzetének és a Naptól mért átlagos távolság köbének hányadosa állandó.** Tehát ha egy bolygó átlagosan négyszer távolabb kering a Naptól, akkor nyolcszor lassabban ér körbe.

### SZÁMOLD KI!

A Szaturnusz átlagos távolsága a Naptól kb. 1,43 milliárd kilométer. Hány földi év a keringési ideje?

A Jupiter a Napot 11,86 földi év alatt kerüli meg. Mekkora az átlagos távolsága a Naptól?

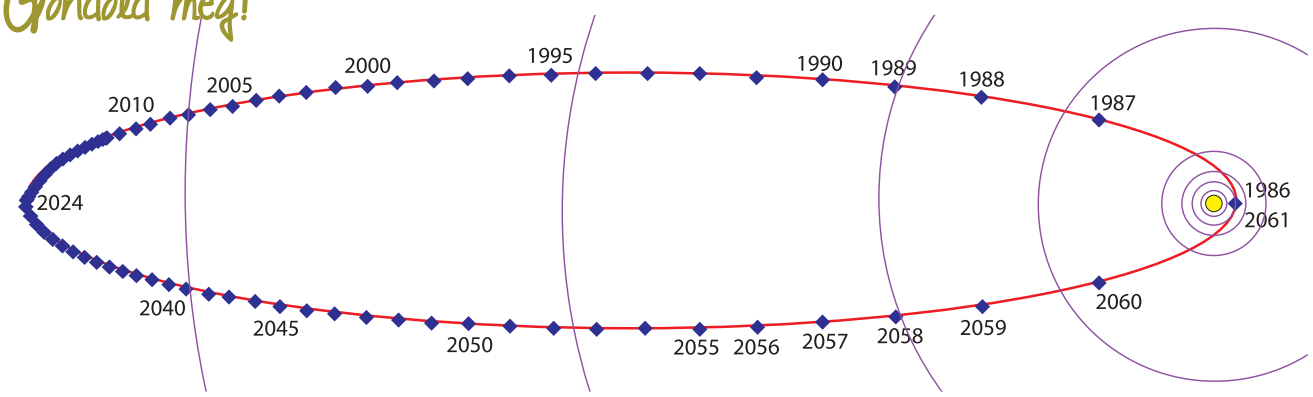
### Hallottál róla?

A Kepler-törvények általunk tárgyalt változata nem veszi figyelembe, hogy a Napra is hat a bolygók gravitációja, így az nem lehetne nyugalomban. Mivel a Nap tömege sokkal nagyobb, mint a bolygóké, ez a közelítés megengedhető.

A Kepler-törvények nemcsak a Nap körül keringő égitestekre érvényesek, hanem általános érvényűek. Magyarázatuk Newton általános tömegvonzási törvényében rejlik. Mikor Kepler felismerte a bolygók mozgásának összefüggéseit, Newton még meg sem született. Newtont az általános tömegvonzás törvényének felismeréséhez éppen Kepler törvényei vezették. Kepler számára nyilvánvaló volt, hogy a bolygók pályán tartásáért a Nap vonzása a felelős.

Elképzelése szerint a Nap és bolygók közötti mágneses vonzás adhatja azt az erőt, mely a bolygókat a Nap környezetében tartja.

### Gondold meg!

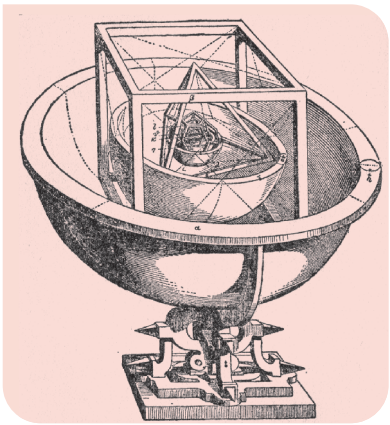



A Halley-üstökös pályáját bemutató ábra

Az ábra alapján határozd meg, hogy mekkora a Halley-üstökös keringési ideje!
Mennyi idő alatt ér az üstökös pályája legtávolabbi pontjától Föld felé vezető útjának feléig?

## Mit gondoltak régen?

Kepler sokáig nem gondolt arra, hogy a bolygók mozgására vonatkozó modelljét megfigyelésekre kell alapoznia. Úgy vélte ugyanis, hogy a bolygók mozgásában a világ harmóniája nyilvánul meg, és ezt csak elmélyült gondolkodással lehet felismerni. Első bolygómodelljében az égitestek Nap körüli pályáikat kristályszférákra rögzítve rótták. Kepler lekottázta a szférák zenéjét, és a szabályos testek segítségével meghatározta a szférák távolságát.



Kepler szférái

## NE FELEDD!

**A bolygók ellipszispályán keringenek a Nap körül. A Nap a pálya egyik fókuszában található. A bolygók nem egyenletesen mozognak, napközelben nagyobb a sebességük, naptávolban pedig kisebb. A bolygók keringési idejét Naptól vett átlagos távolságuk határozza meg. Átlagosan minél messzebb kering egy bolygó a Naptól, annál hosszabb a keringési ideje. A Kepler-törvények nemcsak a Napra és bolygóira érvényesek, hanem általános érvényűek.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen a bolygópályák alakja?
2. Mikor nagyobb a Halley-üstökös sebessége, ha szabad szemmel látható, vagy amikor szabad szemmel nem látható?
3. Érvényesek-e egy Föld körül keringő műhold mozgására Kepler törvényei?
4. A Merkúrnak vagy a Vénusznak nagyobb a keringési ideje?
5. Rajzolj ellipszist cérna, zsineg segítségével, a tankönyvben magadott módon!
6. Milyen szempontból tekinthető különleges ellipszisnek a kör?
7. Hogyan érvényesül Kepler második törvénye egy körpályán keringő mesterséges holdra?
8. Mi lehet a tudománytörténeti magyarázata annak, hogy Kepler a szabályos testek által kijelölt bolygószférák gondolatától eljutott az ellipszis alakú bolygópályák gondolatáig?
9. Keresd meg az interneten, hogy mekkora a Hold átlagos távolsága a Föld középpontjától, s mekkora az átlagos keringési sebessége! Hány kilométerrel van közelebb a Hold a Földhöz, ha hozzá legközelebb tartózkodik, mint amikor a Hold és Föld távolsága maximális?
10. A napi sajtóban nagyjából 14 havonta szuperholdról beszélnek. Mikor van szuperhold?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mutasd be a Halley-üstökös mozgását leíró ábra alapján Kepler első és második törvényét!
2. Ahogy tankönyvünk 3. leckéjében olvashattuk, a Föld felszíne felett 20 200 km-es magasságban keringő műholdak keringési ideje 12 óra. Kepler harmadik törvénye segítségével számold ki, mennyi idő alatt kerüli meg a Földet a Hubble-űrtávcső, ami 560 km magasan kering a Föld felett! Ne feledd, Kepler harmadik törvénye a keringési időre és a pálya sugarára vonatkozik!
3. Kepler harmadik törvénye alapján bizonyítsd be, hogy a Naptól távolabbi bolygók pályamenti sebessége kisebb, mint a Naphoz közelebbi bolygóké!
4. Fejezd ki az ellipszis kis- és nagytengelyének arányát az ellipszis excentricitása (e) segítségével! Használd az ellipszis definícióját, a tankönyv jelöléseit és a Pitagorasz-tételt.
5. Hogyan változik azonos nagytengely mellett az ellipszis fókuszpontjainak távolsága (excentricitása), ha az ellipszis lapultabb?
6. Mit állíthatunk a kör mint ellipszis nagytengelyéről, kistengelyéről és excentricitásáról?
7. Egy testet a Föld felszínéről úgy lövünk fel függőlegesen, hogy a felszíntől 1 000 000 km-re emelkedik, majd visszaesik. Becsüld meg, mennyi ideig tartott az útja! Használd Kepler harmadik törvényét! A test pályáját tekintsd végtelenül lapult ellipszisnek, és használd a 20 200 km magasan keringő GPS-műholdak keringési adatait! A levegő ellenállásától és a Föld egyéb mozgásaitól tekintsünk el.

# 51. | A Föld, a Hold és a Nap mérése

*Évszázadok óta az emberiség alapvető törekvése, hogy megmérje bolygónkat, meghatározza a Nap és a Hold távolságát, ismerje a Föld és a Hold keringési idejét, forgási periódusát. A cél megvalósítása érdekében számos ötletes eljárás született.*

## Mit tudunk a Földről?

Földrajzból már megtanultuk, hogy a Föld a Naprendszer harmadik bolygója, a Naphoz kellően közel, hogy energiája táplálja a földi életet, de elég távol tőle, hogy csillagunk ne égessen fel minket. **Bolygónk közelítőleg 365,24 nap alatt tesz egy fordulatot a Nap körül.** Így egy év 365 napig tart, és az ennél kissé nagyobb keringési idő miatt négyévenként egy szökőévet iktatunk be, amely a 29 napos február révén 366 napos. A Föld forgási periódusa 1 nap, amit 24 órára bontunk. **1 nap idő telik el a Nap két egymást követő delelése között.** Deleléskor van a Nap legmagasabban az égbolton. A Föld tengelye ferde, és keringése során a tengely keringési síkkal bezárt szöge (66,56°) lényegében nem változik. (Egy év alatt észrevehetetlen a változás.) Ennek következtében a napsugarak félévenként hol az egyik, hol a másik félgömb felületét érik nagyobb szögben. Ez az eltérés, vagyis az egységnyi felületre jutó energia különbsége okozza az évszakok váltakozását.

**A Föld a gravitációs vonzás következtében közelítőleg gömb alakú.** A gömb pontjait, a városok, hegyek, folyók helyzetét, a hosszúsági és szélességi körök rendszerének segítségével határozzuk meg. A leghosszabb szélességi kör az Egyenlítő, erre merőlegesek a hosszúsági körök. A hosszúsági és szélességi körök fokhálózatot adnak, és a helyeket a Föld gömbjén ezekkel a fokokkal határozhatjuk meg.

## Honnan tudható, hogy a Föld gömbölyű?

Manapság már bárki körbeutazhatja a Földet vagy megtekintheti az űrből készült képét. A Föld alakjára legegyszerűbb közvetlen bizonyítékot a holdfogyatkozás adhat. Mivel a Föld árnyékának pereme a Holdon kör alakú, a Föld gömbölyű.

Holdfogyatkozáskor a Föld árnyékának széle közelítőleg kör

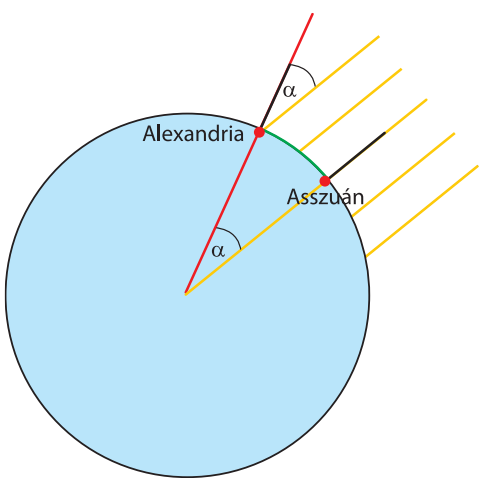
## Mekkora a Föld kerülete?

A hellén Eratoszthenész a következő módszert alkalmazta a Kr. e. III. században a Föld sugarának megmérésére:

A nyári napforduló idején (június 21.) a Ráktérítő közelében fekvő Asszuán városában a déli nap nem vet árnyékot, pont felülről süt, azaz a legmélyebb kút aljára is lehatol. Eratoszthenész megmérte ekkor Alexandriában egy pózna árnyékát, és ebből meghatározta a Nap beesésének szögét. Úgy találta, hogy ez 7,2°-kal tér el a függőlegestől. Asszuán és Alexandria nagyjából azonos hosszúsági körön helyezkedik el, így távolságuk ismeretében a Föld kerülete meghatározhatóvá vált.

$$\frac{\text{A két város távolsága}}{\text{A Föld kerülete}} = \frac{\text{a mért } \alpha \text{ szög}}{360°}.$$

Eratoszthenész 5000 stadionnak becsülte a két város távolságát, így a Föld kerülete 250 000 stadionnak adódott. A mérés pontosságát erősen befolyásolja, hogy nehezen eldönthető, mekkora lehetett a stadion mértékegység. Ebben az időben többféle stadionegység is létezett. A 185 méteres olümpiai stadion



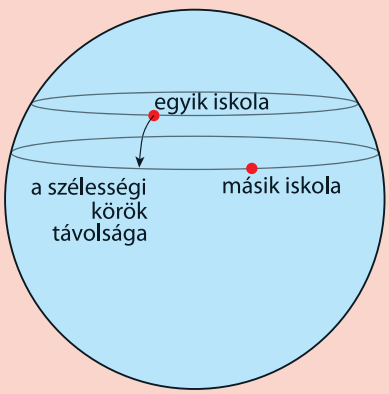

Eratoszthenész Pentatlosz Föld-méretmérési módszerének elvi vázlata

## KÍSÉRLETEZZ!

A Föld kerületét magad is meghatározhatod Eratoszthenész módszerével. Fizikatanárod vagy szüleid segítségével az interneten keresztül keress valakit, aki tőled eltérő szélességi körön él, és részt venne a mérésedben. Határozd meg egy atlasz vagy a Google Earth program segítségével a két szélességi kör távolságát egy tetszés szerinti hosszúsági kör mentén.

Mindketten mérjétek meg például egy 1 méteres rúd árnyékának hosszát, amikor a Nap legmagasabban jár, és számítsátok ki a napsugarak hajlásszögét! Ha azonos féltekén laktok, a Föld kerületét a következő eljárással kaphatjátok meg:

A két város szélességi köreinek távolsága úgy aránylik a Föld kerületéhez, mint a mért szögek különbsége a 360°-hoz.




Rajzos segítség a Föld méretének meghatározásához

## SZÁMOLD KI!

A Föld egyenlítője kb. 40 000 km. Mekkora egy egyenlítői pont sebessége a Föld tengelyéhez képest?

A Föld közel körpályán kering a Nap körül, melynek sugara kb. 150 millió kilométer (1 csillagászati egység = = 1 CSE). Mekkora a Föld Nap körüli átlagsebessége?

hosszegységet használva 15%-kal túlmérte a Föld kerületét, de a 157 méteres egyiptomi stadionegységet alkalmazva majdnem pontos értéket (2%-kal kevesebbet) kapott.

## SZÁMOLD KI!

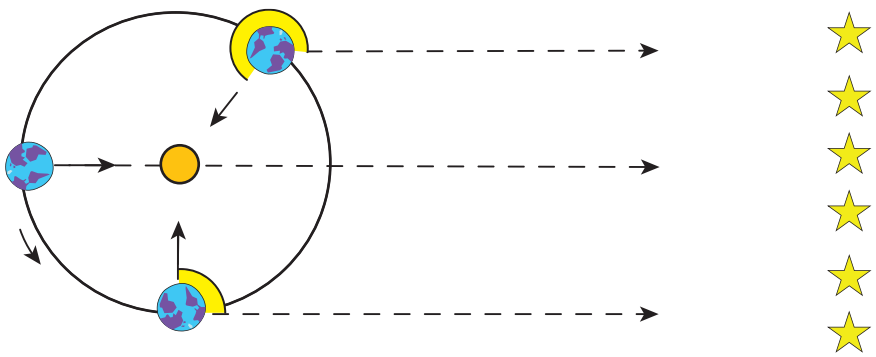
Mekkorának adódik a Föld kerülete az olümpiai, illetve az egyiptomi stadionegységet használva?

### Mennyi idő alatt fordul meg a Föld a tengelye körül?

A Föld tengely körüli forgásának periódusideje már korántsem olyan egyszerűen meghatározható. Felmerül ugyanis a kérdés, mikor beszélhetünk egy tengely körüli teljes elfordulásról. A Nap két delelése közötti időt egy földi napnak, átlagosan 24 órának tekintjük. Csakhogy a delelő Napot a Föld pályájának kismértékben eltérő pontjából figyelhetjük meg két egymást követő napon.

24 óra alatt a Föld a távoli állócsillagokhoz képest egy kicsivel több mint egy fordulatot tesz meg, Nap körüli pályáján való előrehaladása miatt. Az ábra ezt az eltérést negyedévre és kb. 8 hónapra vetítve mutatja.

Az ábrából megállapítható, hogy a Föld tengely körüli forgásának periódusa a végtelen távoli állócsillagokhoz (állni látszó csillagokhoz) képest kevesebb mint 24 óra. A pontos érték 23 óra 56 perc 4,1 másodperc. Miközben a Föld a Naphoz képest 365,24 fordulatot tesz, addig a távoli állócsillagokhoz képest a fordulatok száma ennél eggyel több.

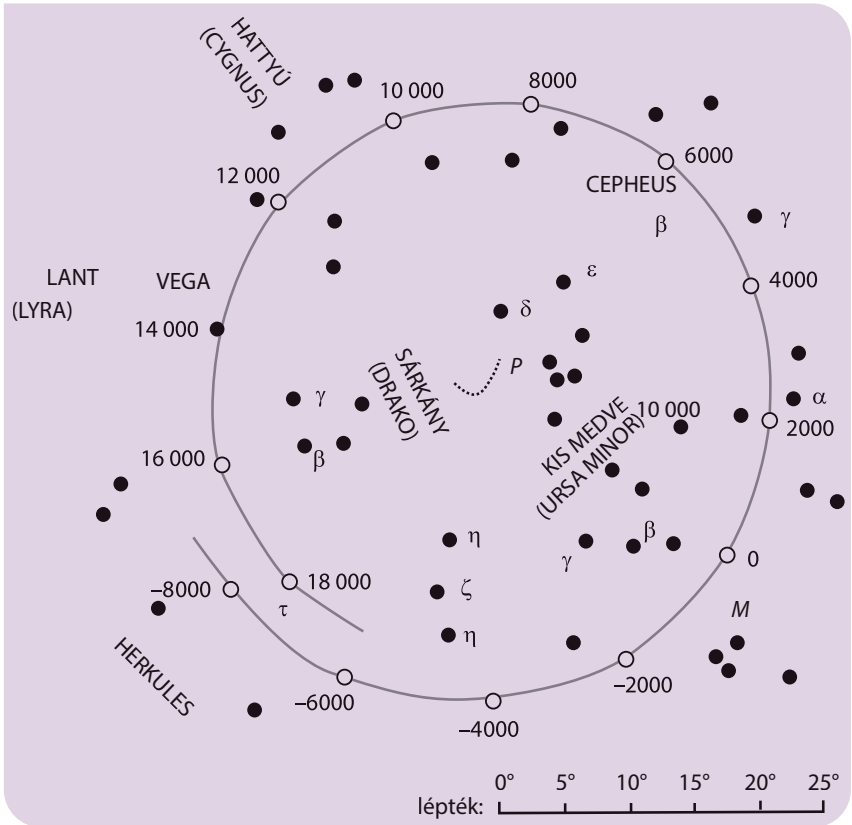


Kétféleképpen is értelmezhetjük a Föld egy teljes fordulatát (az állócsillagokhoz képest vagy a Nap deleléséhez képest)

Ezt úgy is megfogalmazhatjuk, hogy a Földnek az állócsillagokhoz képest naponta 360°/365,24 nap ≈ 1°-kal kell kevesebbet forognia a teljes fordulat megtételéhez. Tehát a Föld forgásideje az állócsillagokhoz képest: (360/361) · 24 óra = 23,93 óra ≈ 23 óra 56 perc.

## Hallottál róla?

**A Föld tengelye jelenleg a Sarkcsillag irányába mutat.** De ez nem volt mindig így, és nem is marad így örökre. A Föld tengelyének billegése (tudományos nevén precessziója) miatt a tengely iránya 26 000 éves periódusidővel változik. A rajz a tengely irányának változását mutatja Kr. e. 8000 és Kr. u. 18 000 között.




### A Hold méretének meghatározása

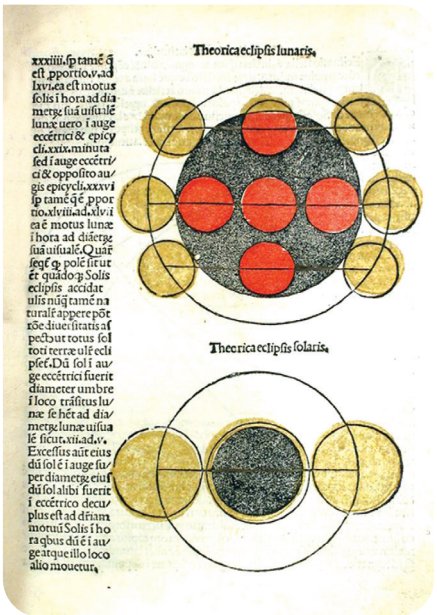
Amikor a Hold a Föld árnyékának közepén halad át, akkor tart a holdfogyatkozás a leghosszabb ideig. Ilyenkor a teljes idő, attól kezdve, hogy a Hold eléri a Föld árnyékkúpját, addig, amíg a Holdat egészen eltakarja a Föld, körülbelül 50 perc. A Hold a földárnyék másik oldalára körülbelül 200 perc alatt ér. Így (amennyiben feltételezzük, hogy a Nap olyan messze van, hogy sugarai lényegében párhuzamosak) a Föld árnyéka négyszerese a Hold méretének (200 : 50 = 4), azaz a Föld sugara a Hold sugarának négyszerese. Ezt a számítást már Eratoszthenész is elvégezte, vagyis az ember már több mint 2200 éve tudja, hogy mekkora a Hold.

### A Hold távolságának meghatározása

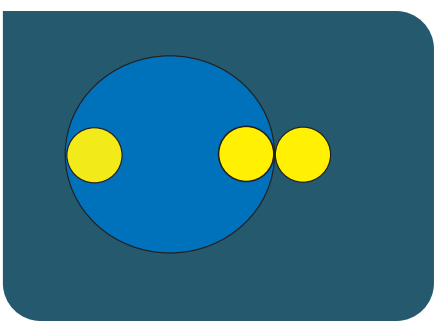
Az első méréseket a görögök végezték háromszögeléses módszerrel. Ennek lényege az volt, hogy a Hold távolságát abból a szögeltérésből számították ki, melyből a Hold két egymástól ismert távolságra lévő földi pontból látszott. Pontos eredményt a Hold nagy távolsága és a mérési eszközök kezdetlegessége miatt nem kaptak. (Ha az előző pont szerint tudjuk Hold méretét, valamint fél fokos látószögét, akkor egyszerű geometriai számítással is meghatározhatjuk a Föld–Hold-távolságot.)

### SZÁMOLD KI!

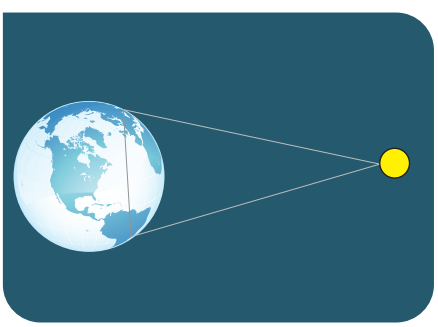
13 000 év múlva a Föld tengelye nem a Sarkcsillag felé fog mutatni, hanem ettől 46°-ban (2·23°) eltérő irányba. Ha a naptárunk nem venné figyelembe a földtengely irányváltozását, milyen évszak lesz Magyarországon 13 000 év múlva februárban? Válaszodat indokold!




Holdfogyatkozás és napfogyatkozás Sacrobosco 1491-ben megjelent könyvéből



Holdfogyatkozás: a Hold „áthalad” a Föld árnyékkúpján

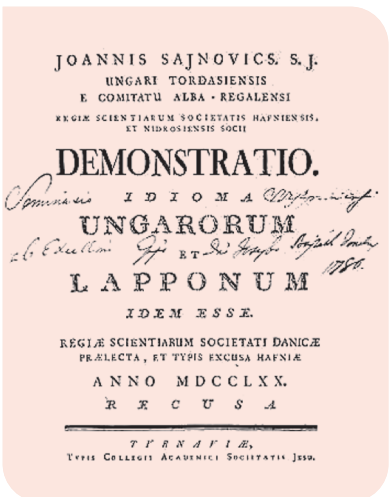


A Hold távolsága elvileg háromszögeléssel meghatározható

## Hogyan volt régen?

A Nap és a Föld távolságának pontos meghatározása érdekében a XVII–XVIII. században a Vénusz bolygó átvonulását figyelték meg a Nap előtt. Egy ilyen megfigyelő expedícióra indult a magyar Hell Miksa és Sajnovics János a jelenleg Norvégiában található Vardö szigetére. A Vénusz Nap előtti átvonulása 1769. június 3-án történt. A Vénusz átvonulásának idejéből és egyéb csillagászati mérésekből meghatározták a Nap–Föld-távolságot. A kapott eredmény 151,2 millió kilométernek adódott, ami csak kismértékben tér el a ma ismert átlagértéktől (149,6 millió kilométer), és az adott kor legpontosabb mérési eredménye volt. Az expedíció több mint két évet vett igénybe (1768. április 28–1770. augusztus 12.), és ezalatt volt lehetősége Sajnovics Jánosnak a környező lapp népek nyelvét tanulmányozni. Ennek eredményeként született meg a finnugor nyelvrokonság elméletét alátámasztó munkája, mellyel Sajnovics János megalapozta az összehasonlító nyelvészetet.

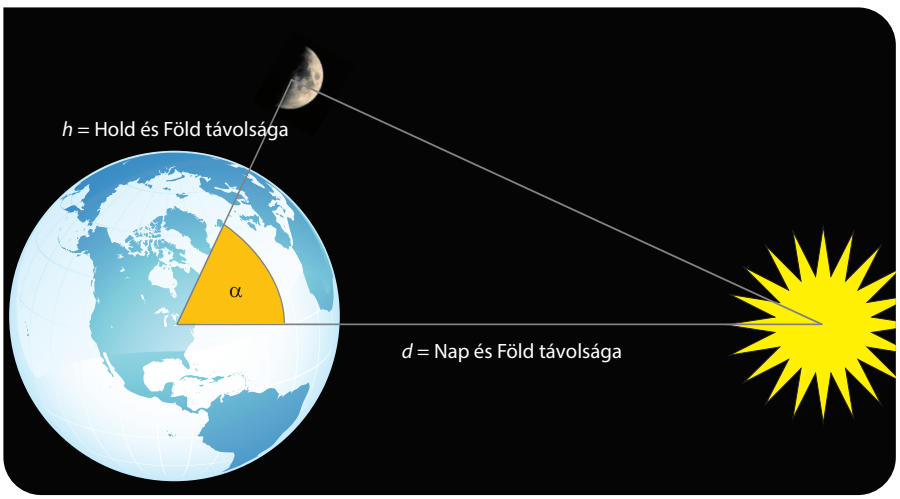
A két legutóbbi Vénusz-átvonulás 2004-ben és 2012-ben volt, a következő kettő viszont a nagyon távoli jövőben lesz, 2117-ben és 2125-ben.


JOANNIS SAJNOVICS, S. J.
UNGARI TORDASIENSIS
E COMITATU ALBA-REGALENSI
REGIÆ SCIENTIARUM SOCIETATIS HAFNIENSIS,
ET NIDROSIENSIS SOCII
DEMONSTRATIO.
IDIOMA
UNGARORUM
ET
LAPPONUM
IDEM ESSE.
REGIÆ SCIENTIARUM SOCIETATI DANICÆ
PRÆLECTA, ET TYPIS EXCUSA HAFNIÆ
ANNO MDCCLXX.
R E C U S A
TYRNAVIÆ,
Typis Collegii Academici Societatis Jesu.

Sajnovics János könyve a lappokról. Ez a mű alapozta meg a finnugor nyelvrokonság tényét

## A Nap és a Hold távolságának aránya

A Nap–Föld-távolság, valamint a Föld–Hold-távolság arányát már az ókori görög filozófusok is ismerték. Arisztarkhosz (Kr. e. 320–250) helyesen ismerte fel a holdfázisok okát, és így az alábbi mérést tervezte meg:




Arisztarkhosz mérési elve

Arisztarkhosz a derékszögű háromszög $\alpha$ szögét 87°-nak mérte, s így a Nap–Föld-távolságot mindössze húsz szor tartotta nagyobbnak, mint a Föld–Hold-távolságot. A pontos szög 89,95°, és a távolságok aránya több mint négyszázszoros. A Nap–Föld-távolság közel 150 millió kilométer.

## A Nap átmérője

Egyszerű szögméréssel, de akár a mégoly ritka teljes napfogyatkozás megfigyelésével is felismerhetjük, hogy a Nap és a Hold látszólagos átmérője a Földről nézve lényegében azonos. Ebből következik, hogy a Nap átmérője annyiszor nagyobb a Hold átmérőjénél, ahányszor messzebb van a Nap a Holdnál.

### SZÁMOLD KI!

A leckében megismert adatok alapján határozd meg a Nap átmérőjét számítással!

## Miért érezzük melegebbnek a Napot délben, mint délután?

Ha a Nap laposabban süt, ugyanaz az energiamennyiség nagyobb felületen oszlik el. Ezt a legkönnyebben úgy értheted meg, ha megfigyeled a napsugarakra merőlegesen tartott papírlap árnyékát. Egy felületre súrlódva beeső napsugárzás alig ad át valamennyi energiát, viszont merőleges beeséskor maximális energiát kap a felület. Ezt a hatást csökkenti a légkör energiaelnyelése. Mivel délután a laposabban beeső sugarak vastagabb légrétegen haladnak át, még merőleges beesés esetén is kevésbé melegít a Nap délután, mint délben.

## Gondold meg!

Ha a fény sebessége 300 000 km/s, mennyi idő alatt ér a fény a Napból a Földre?

## Tőled függ!

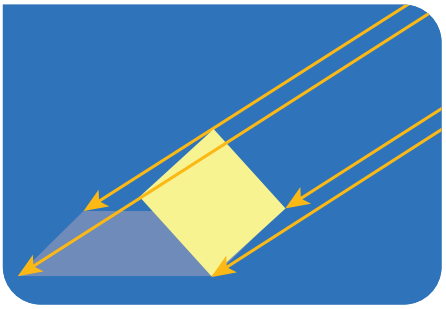
A Nap megfigyelésekor nagyon kell vigyázni arra, hogy ne nézz közvetlenül a Napba. A napfogyatkozást NEM lehet kormozott üveggel megfigyelni, hanem megfelelő védőszemüvegre van szükség, amit távcsőboltokban lehet beszerezni. Egyébként az ember könnyen úgy járhat, mint Petőfi Sándor, aki 1842-ben, pápai diákként szabad szemmel figyelte meg a teljes napfogyatkozást, és majdnem szeme világának elvesztésével fizetett vigyázatlanságáért.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Miből következtethetünk arra, hogy a Föld gömbölyű?
2. Milyen messze van Magyarország az Északi sarktól a Föld felszínén haladva?
3. Mekkora sebességgel mozog a Hold a Földhöz képest földkörüli keringése során?
4. Vajon milyen évszakban lehet éjféli napot látni az északi sarkkörön túl?
5. Melyik városon halad keresztül a nulla hosszúsági kör?
6. Vardö szigete, a Hell–Sajnovics-expedíció színtere az északi szélesség 70°-a felett helyezkedik el. Miért ide mentek kutatóink megfigyelni az ekkor egyébként Európából megfigyelhetetlen jelenséget? Nézz utána, milyen napszakban lehetett a Vénusz átvonulás Vardö szigetén!
7. Keress az interneten szabálytalan alakú égitesteket! Mi lehet az oka szabálytalan alakjuknak?
8. A Mars két holdja a Phobos és a Deimos. Keresd meg a képüket az interneten, és helyezd el azokat méretarányosan Magyarország térképén!
9. Keresd meg Alexandriát és Asszuánt a Google Earth program segítségével vagy más módon! Tényleg közel azonos hosszúsági körön fekszenek?
10. Lehet-e Magyarországon közvetlenül fejünk felett a Nap? Válaszodat indokold!

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Nézz utána, mikor voltak és mikor lesznek Földről megfigyelhető Vénusz-átvonulások!
2. Mi a magyarázata annak, hogy a Föld keringési ideje egy távoli állócsillaghoz képest más, mint a Naphoz képest? Értelmezd a különbség mértékét! Mennyi idő alatt tesz meg a Föld 365,24 fordulatot a tengelye körül a távoli állócsillagokhoz képest?
3. A Merkúr Nap körüli keringési ideje 88 földi nap. A tengely körüli forgásának periódusideje a távoli állócsillagokhoz képest kb. 59 földi nap. Körülbelül hány merkúri nap lesz egy merkúri év?
4. A Föld egy év alatt nagyon sokszor megfordul a tengelye körül. A Merkúr sokkal ritkábban. Mi a következménye a hőmérsékletviszonyok, az időjárás szempontjából, ha egy bolygó éve kevés bolygónapból áll, azaz egy keringés ideje alatt kevés tengelykörüli forgás zajlik le?
5. Ha a Föld és a Vénusz pontosan ugyanabban a síkban keringene a Nap körül, milyen gyakran kerülne a Vénusz a Nap és a Föld közé? (A Vénusz keringési idejét az interneten megtalálhatod.)
6. Földtörténeti korokkal ezelőtt a földi nap hossza rövidebb volt, mint ma. A Föld tengely körüli forgását az apály-dagály jelenséghez köthető belső súrlódás lassítja. Hány napig tartott egy év 400 millió évvel ezelőtt, amikor egy nap hossza 21,8 óra volt, feltételezve, hogy az év hossza nem változott? Hány óra volt ekkor a Föld tengely körüli forgásának periódusa a távoli állócsillagokhoz képest?



Adott felületen a napsugárzás által leadott energia nagysága függ a beesés szögétől

## SZÁMOLD KI!

Mérés alapján becsüld meg, hogy körülbelül mekkora szögben kell sütnie a Napnak ahhoz, hogy fele akkora legyen a felületegységre jutó energiája, mint amikor közvetlenül a fejünk felett van! (A légkör energiaelnyelésétől tekintsünk el!)

## Gondold meg!

Milyen kapcsolata van az előző mérésnek az évszakok váltakozásához?

A Mars tengelye hegyes szöget zár be a bolygó keringési síkjával, akárcsak a Föld tengelye. Vajon vannak a Marson évszakok?

## NE FELEDD!

**A Föld közelítőleg négyszer akkora átmérőjű, mint a Hold.**

**A Nap közelítőleg 150 millió kilométerre van a Földtől.**

**A Föld–Hold-távolság ennek kb. 400-ad része.**

**A Föld Egyenlítője kb. 40 000 km. A Föld átlagos sugara 6371 km.**

**A Föld keringési ideje 365,24 nap, forgási periódusa a Naphoz képest 1 nap. Mivel az év hossza nem fejezhető ki egész számú nappal, szökőéveket kell naptárunkba illeszteni.**

**A tengelyferdeség következménye az évszakok váltakozása.**

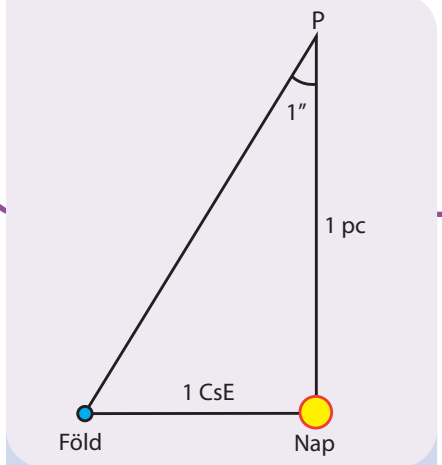
# 52. | A világegyetem méretei

*„Mert végre is mi az ember a természetben? Semmi a végtelenséghez, minden a semmihez viszonyítva, közép a semmi és a minden között” – írja Blaise Pascal a XVII. századi természettudós, matematikus és filozófus. A kicsinységünket akkor értjük meg igazán, ha kísérletet teszünk a világegyetem méreteinek felfogására.*

**EMLÉKEZTETŐ**

Csillagászatról már földrajzórákon is, sőt korábbi fizikaórákon is tanultunk. A következő négy fejezetben az eddigieknél magasabb szinten ismerkedhetünk meg ezzel az izgalmas tudományterülettel.

A Föld Nap körüli pályájához kötött mértékegység a csillagászati egység (CsE). Ez a Föld Naptól vett átlagos távolsága, és nagysága 149,6 millió kilométer. A fény légüres térben 300 000 km/s sebességgel halad. Ezzel a sebességgel 7,5-szer lehet megkerülni egyetlen másodperc alatt Földünket. Mivel a világegyetem méretei hatalmasok, ezért ennek kifejezésére a hétköznapitól eltérő egységek szükségesek. Ezek egyike a fényév, az a távolság, amit a fény 1 év alatt tesz meg.



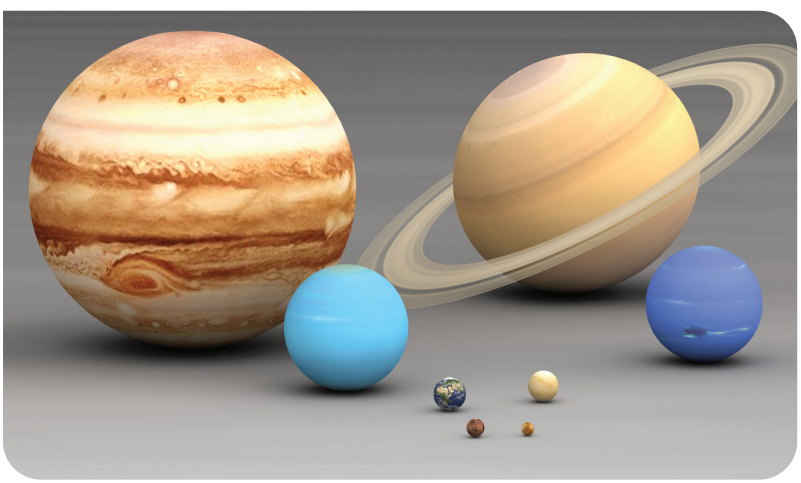

A parszek definíciója

## Hallottál róla?

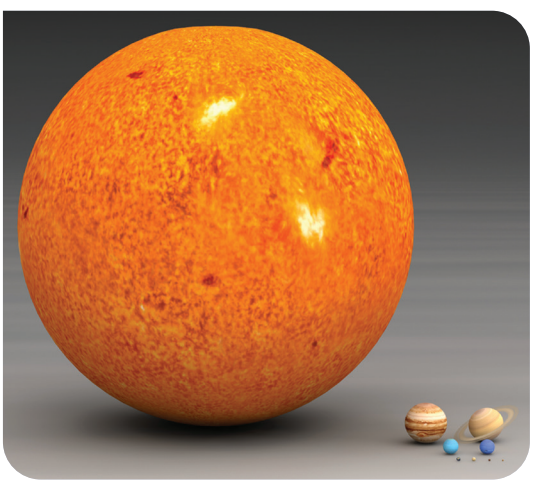
A csillagászatban használatos távolságegység a parszek (parallaxisszekundum). 1 parszek a távolsága a Földtől annak a csillagnak (P), amelyikről merőlegesen nézve a Nap irányához képest a földpálya átlagos sugarának látószöge 1 fok 3600-ad része (1 szögmásodperc). 1 parszek ~ $3{,}086 \cdot 10^{13}$ km ~ 3,26 fényév.

### Méretek és távolságok a Naprendszerben

Ha a Napot gondolatban 10 000 000 000-od (tízmilliárdod) részére kicsinyítjük, akkor átmérője nagyjából akkora lesz, mint egy méretes narancs (14 cm). Ekkor a 0,5 mm átmérőjű Merkúr 5,8 méterre keringene tőle. Az 1,2 mm-es Vénusz 10,8 méterre lenne, az 1,3 mm átmérőjű Föld 15 méterre keringene. A Mars 0,7 mm-es lenne ilyen kicsinyítéskor, és Naptól vett távolsága 22,8 méter. A Jupiter 1,43 cm, és a távolsága 77,8 méter. A Szaturnusz esetében az átmérő 1,2 cm, és a távolság 142,7 méter. Az alig több mint 0,5 cm-es Uránusz 287,1 m-re keringene a Naptól, és végül a 0,5 cm-es Neptunusz 449,7 méter távolságban helyezkedne el.



A Naprendszer bolygóinak mérete egymáshoz viszonyítva…



…és a Naphoz viszonyítva

## Hallottál róla?

Szegeden átadtak egy méretarányos Naprendszer-modellt 2011-ben. A Móra Ferenc Múzeum előtt álló 110 cm átmérőjű Naptól több mint 3,5 km-re található a 3,6 cm-es Neptunusz. Az út során természetesen a többi bolygó is felkereshető. Hasonló arányos modell található Kecskeméten, ahol a bolygómodellek bronzból készült köztéri szobrok, és a Tápió vidékén, ahol a Sülysápi Csillagvizsgáló 4 méter átmérőjű kupolája a Nap, így a bolygók majdnem négyszer távolabb vannak tőle, mint Szegeden.

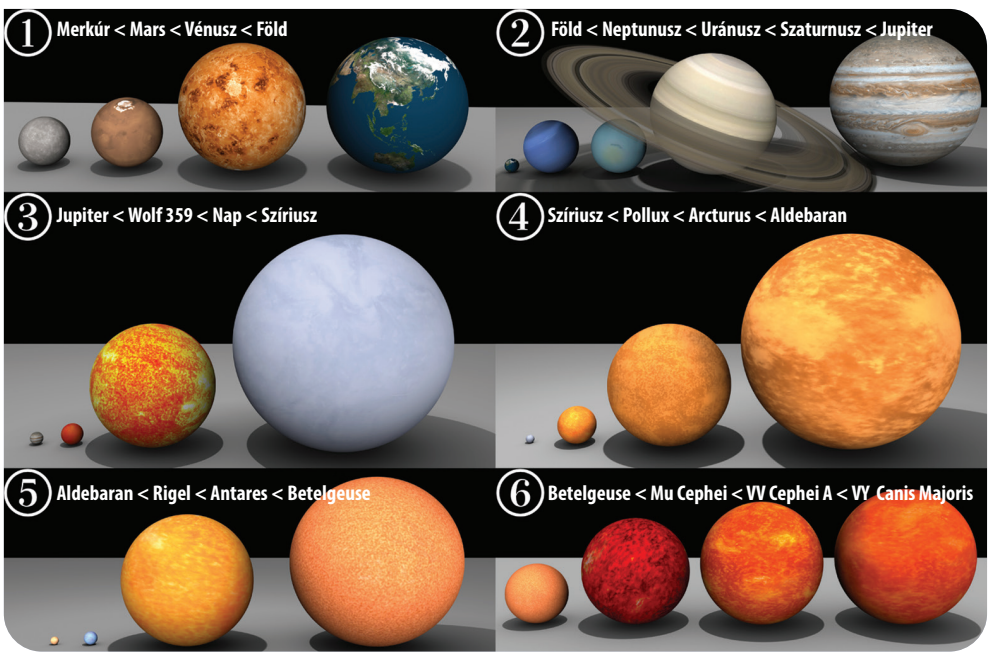
A sülysápi csillagvizsgáló

### A csillagok mérete és távolsága

A Nap egy átlagos csillagnak tekinthető. Ha képzeletben kicsinyítéssel átmérőjét 14 cm-re csökkentjük, akkor a Pollux, a téli égbolt fényes csillaga az Ikrek csillagképből, 1,1 méteres lenne. Ekkor az Aldebaran, a Bika csillagkép narancsszínű csillaga 5,5 méteres, az Antares nevű narancsvörös szuperóriás csillag 60 méter átmérőjű, azaz ha az Antares állna a Nap helyén, széle túlnyúlna a Mars pályáján. Az univerzum jelenleg ismert legnagyobb csillaga, a Nagy Kutya csillagképben található VY Canis Majoris az alkalmazott kicsinyítés mellett 294 méter átmérőjű lenne, azaz a Nap helyére állítva még az Uránusz pályáját is magában foglalná.
A Napból a Földre a fény alig több mint 8 perc alatt érkezik. A második legközelebbi csillag azonban a Földtől már 4,36 fényévre esik. A Pollux távolsága

## Gondold meg!

Hány kilométer az 1 fényév távolság?




A Naprendszer bolygói és néhány ismert csillag mérete egymáshoz viszonyítva. Ennek animált változata például itt megtekinthető: https://www.youtube.com/watch?v=jY_0U3e-Az0

## Hallottál róla?

A Föld tömege a Nap tömegének hárommilliomod része. A Jupiter tömege 317,8-szor nagyobb a Földnél. A legnagyobb tömegű ismert csillagok 100–150-szer nagyobb tömegűek a Napnál.

## Hallottál róla?

Az Androméda-köd tiszta időben, a lakott településektől távol szabad szemmel is látható. Az a halovány folt, amit ekkor megfigyelhetünk, az Adroméda-köd kétmillió évvel ezelőtt keletkezett fénye, és a galaxis kétmillió évvel ezelőtti állapotáról árulkodik.

Az Androméda-köd

33,7 fényév, az Aldebaran 65 fényévre található, az Antares ~ 600 fényév távolságban van, a VY Canis Majoris pedig 4900 fényévre.

### A galaxisok mérete, távolsága

A példáinkban ismertetett csillagok mind a mi galaxisunk („csillagvárosunk"), a Tejútrendszer csillagai. Tehát példáink azon 300 milliárd csillag közül valók, melyek 100 000 fényév átmérőjű galaxisunkban találhatók. A galaxisokban jellemzően 10 millió és 1000 milliárd közötti csillag található, a galaxisok átmérője több ezertől több százezer fényévig terjed, távolságuk fényévmilliókban mérhető. A galaxisok csoportosulását galaxishalmaznak nevezik. „Ikergalaxisunk", a velünk egy galaxishalmazba tartozó Androméda-köd kétmillió fényévre van tőlünk. A két galaxis közeledik egymáshoz, és „hamarosan", néhány milliárd év múlva összeütközünk.

### Távlatok az időben

Jelenlegi ismereteink alapján a világegyetem nagyjából 13,7 milliárd évvel ezelőtt jött létre. A Föld 4,5 milliárd éves. A Föld történetét leíró 4500 oldalas könyvnek a modern ember megjelenéséről szóló része az utolsó sora, és az emberiség írott történelme mindössze egyetlen szó.

**NE FELEDD!**

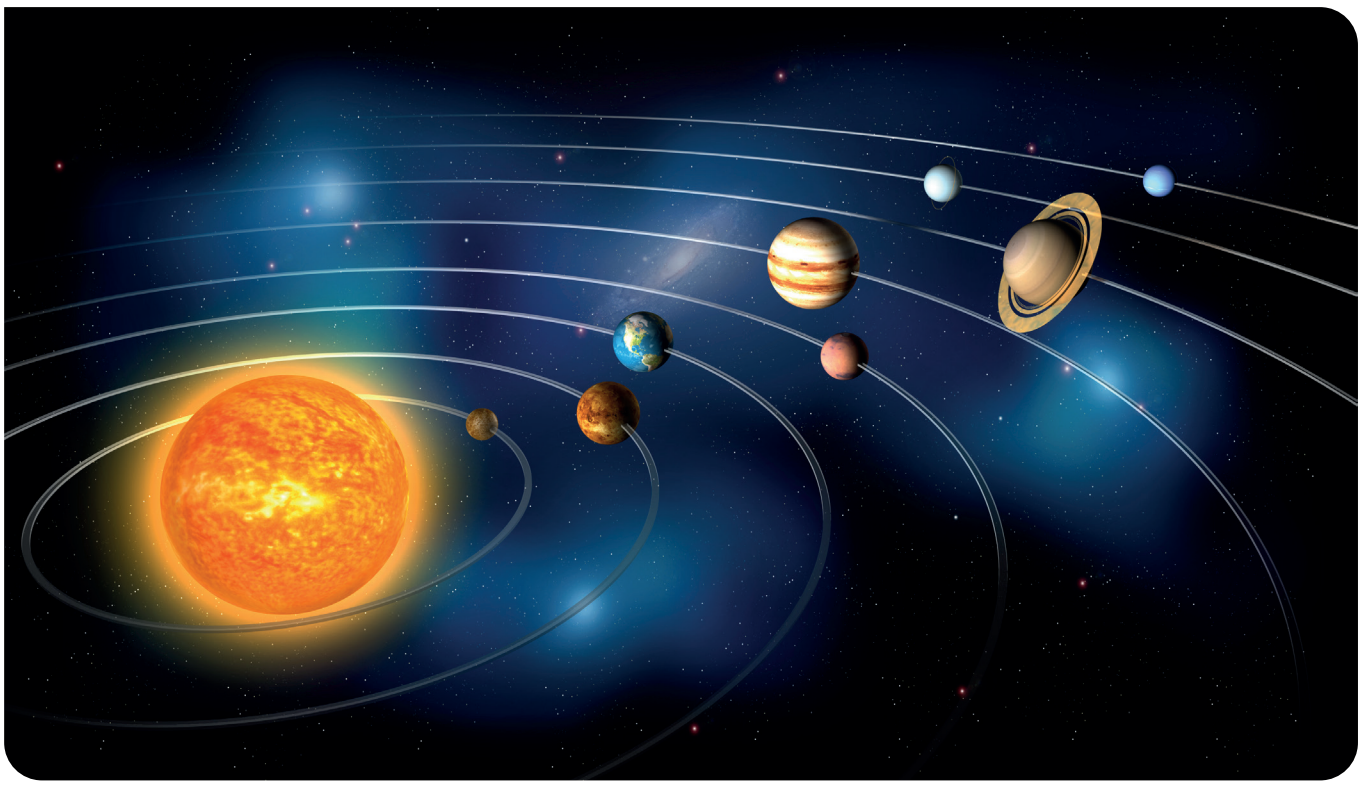
**Univerzumunkat, mely jelenlegi tudásunk szerint közelítőleg 13,7 milliárd évvel ezelőtt jött létre, galaxisok milliárdjai népesítik be. A galaxisok milliárd és milliárd csillagot tartalmaznak, melyek környezetében felbecsülhetetlen számú bolygó kering. A galaxisok mérete fényévszázezrekben mérhető, a közöttük lévő távolság pedig fényévmilliókban. Hogy mi van a galaxisok közötti térben, üres, esetleg sötét, tehát szemmel nem látható anyag tölti-e ki, ma még nem tudjuk biztosan. Bolygórendszerünk, a Naprendszer határait nem ismerjük pontosan. Földünk 150 millió kilométerre van a Naptól, míg a legtávolabbi ismert bolygó, a Neptunusz harmincszor messzebb, 4,5 milliárd kilométerre kering. Ezek a távolságok elenyészően kicsinek tűnnek fényévben kifejezve, a Neptunusz a Naptól alig több mint 0,0005 fényévre van, míg az Androméda-köd távolsága 2 millió fényév. Napunk egy közepes méretű csillag. Sokkal nagyobbak is találhatók galaxisunkban.**

**EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK**

1. Mi a fényév és a csillagászati egység definíciója? Miért volt érdemes ezeket a mértékegységeket bevezetni?
2. Állítsd sorba a bolygókat először méretük, majd a Naptól vett távolságuk szerint!
3. Mekkora lenne egy „marslakónak" a marsi csillagászati egység?
4. Látható-e szabad szemmel a Földről a Mars, illetve a Vénusz?
5. Add meg a Mars minimális és maximális távolságát a Naptól fénymásodpercben!
6. Milyen messze van a Föld a Vénusztól, ha legközelebb esnek egymáshoz?
7. Milyen messze van a Föld a Vénusztól, ha legtávolabb kerülnek egymástól?
8. Mekkora a legnagyobb távolság a Mars és a Vénusz között?
9. A Földről nézve eshet-e egy irányba a Mars és a Vénusz? Megfigyelhető-e ez szabad szemmel?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mekkora lenne egy „marslakónak” a marsi parszek?
2. Hányszor férne rá a Szaturnusz a Nap és Szaturnusz közötti távolságra, azaz ez a távolság hány Szaturnusz-átmérő?
3. Helyezz el egy gombostűt egy asztalon. A gombostű fejét tekintsd a Napnak. Hol helyezkednek el a bolygók az így meghatározott arány alapján?
4. Rutherford feltételezte, hogy az atom közepén az atommag helyezkedik el, és körülötte keringenek az elektronok. Így Rutherford modelljében az atommag és elektronjai egyfajta „bolygórendszernek” tekinthetőek. Bohr modelljében az elektronok atomon belüli helye is meghatározhatóvá vált. Nagyítsd gondolatban a hidrogén atommagját (átmérője $1{,}6 \cdot 10^{-15}$ m) Nap méretűre (a Nap átmérője 1 392 700 km). Ekkor mekkora sugarú pályán kering a hidrogénatom esetében a legbelső pályán lévő elektron, ha a Bohr-modell szerint a hidrogén elektronjának legmélyebb energiaszintjéhez 0,0529 nm-es pályasugár tartozik? Hasonlítsd össze a pálya sugarát a Naprendszer bolygóira kapott eredménnyel!
5. Melyik félgömbről figyelhető meg az Androméda-köd?



Tejútrendszer

# 53. | A csillagfény üzenete

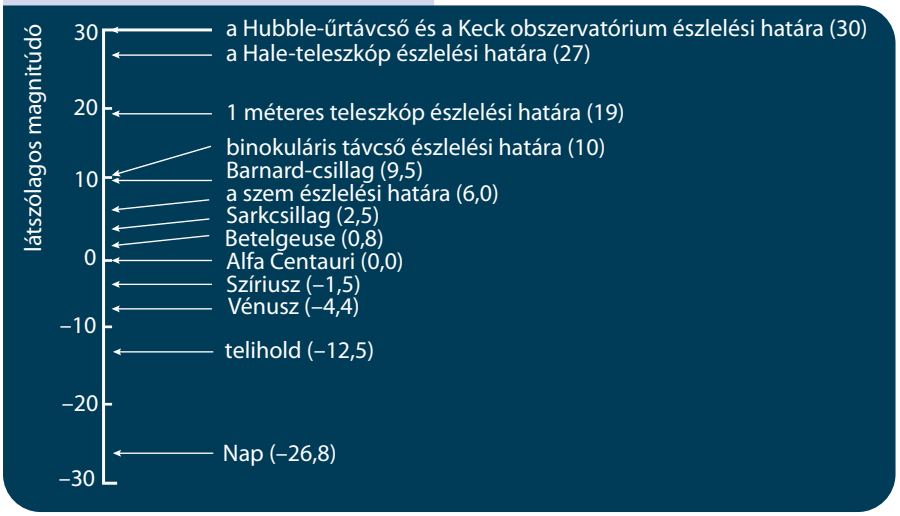
*A csillagok fényes pontok az éjszakai égbolton. Nehéz elképzelni, hogy bármit megtudhatunk róluk a látványuk alapján. De műszereink és találékonyságunk révén a csillagfényből rengeteg információt nyerhetünk forrásukról, a csillagokról.*

**EMLÉKEZTETŐ**

A csillagok által kibocsátott elektromágneses sugárzás sok mindent elárul ezekről az égitestekről. A csillagászat történetének kezdetén az észleléseket szabad szemmel végezték, és ebből fakadóan csak a csillagfény látható összetevőjéről szerezhettek tudomást. A modern távcsövek nemcsak a csillagfény összegyűjtésében segítettek, hanem a szemmel nem látható összetevők észlelését is lehetővé tették.

## A csillagok fényessége

A csillagok látszólagos fényességét magnitúdóban mérik. Minél fényesebbnek látszik egy csillag, annál kisebb magnitúdójú. A Nap –26,86 magnitúdójú, a telihold –12,6, a Vénusz –4,6 magnitúdós, az égbolt legfényesebb csillaga, a Szíriusz –1,45 magnitúdós. Szabad szemmel egy 6 magnitúdós csillagot tudunk még észlelni, a legnagyobb földi távcsövek 25 magnitúdóig, a Hubble-űrtávcső 30 magnitúdóig észlel. A fényességi skála érdekessége, hogy a fényesség nem egyenesen arányos a magnitúdóértékkel. Egy magnitúdókülönbség a fényességben 2,512-szeres változást jelent, tehát ez logaritmikus skála. Mivel a látszólagos fényesség azon is múlik, milyen messze van a csillag, bevezették az abszolút fényesség fogalmát. Egy csillag abszolút fényessége akkora, mint amekkora a látszólagos fényessége 10 parszek (32,6 fényév) távolságból lenne.




Egyes égitestek fényessége

### Gondold meg!

Melyik égitestnek nagyobb az abszolút fényessége, a Vénusznak vagy a Szíriusznak?

A Földtől 65 fényévre található az Aldebaran nevű csillag. A látszó fényessége vagy az abszolút fényessége nagyobb?

**SZÁMOLJUK KI!**

Közelítőleg hányszor fényesebb a telihold, mint a Vénusz?

Hipparkhosz

### Hallottál róla?

A fényességi skálát elsőként a görög tudós Hipparkhosz (Kr. e. ~160–125) használta, ő a csillagokat fényesség szerint hat csoportba osztotta, és a ezeket 1–6-ig számozással jelölte.

Az 1. csoportba kerültek a legfényesebbek csillagok, a 6.-ba a szabad szemmel látható leghalványabb csillagok.

Ezt a skálát máig megtartottuk, csak pozitív és negatív irányba kibővítettük.

Mivel a fényesség mérése szabad szemmel történt, nem volt kellően megbízható. A műszeres fényességmérés módszerét **Friederich Zöllner** (1834–1882) német fizikus és csillagász dolgozta ki. Az általa 1861-ben megalkotott fotométerben a csillagok fényét egy prizmán átvezetve a prizma elforgatásával addig csökkentette, amíg azonos nem lett a műszerben elhelyezett mesterséges fényforrásával. A prizma elfordításának mértéke alapján pontosan meg lehetett állapítani, hogy a csillag fényessége hányszorosa a mesterséges forrásénak. Ma már CCD-érzékelővel (a fényt elektromos jelekké alakító eszköz) mérik a csillagok fényességét.

## A csillagok színe

Egy távcső segítségével könnyen megtapasztalható, hogy a csillagok színe meglehetősen változatos, a kékestől a vörösig a sárgán át többféle színt megfigyelhetünk. A csillagok színe hőmérsékletükről árulkodik. A prizmával felbontott csillagfényben fellelhető elnyelési és kibocsátási színképvonalak alapján azonosítani lehet a csillagok kémiai összetételét, következtetni lehet légkörükre, egyéb fizikai jellemzőikre. A színképvonalak kiszélesedése a csillag forgásáról árulkodhat. A csillagok színe felső rétegeik hőmérsékletéről is tanúskodik, ugyanis a csillagok által kisugárzott elektromágneses hullámok frekvenciája jellemző a csillagok hőmérsékletére.

| Szín | Hőmérséklet | Példa |
|---|---|---|
| | 33 000 vagy több | Zeta Ophiuchi |
| | 10 500 – 31 000 | Rigel |
| | 7 500 – 10 000 | Altair |
| | 6 000 – 7 200 | Procyon A |
| | 5 500 – 6 000 | Nap |
| | 4 000 – 5 250 | Epsilon Indi |
| | 2 600 – 3 850 | Proxima Centauri |

A csillagok színképei

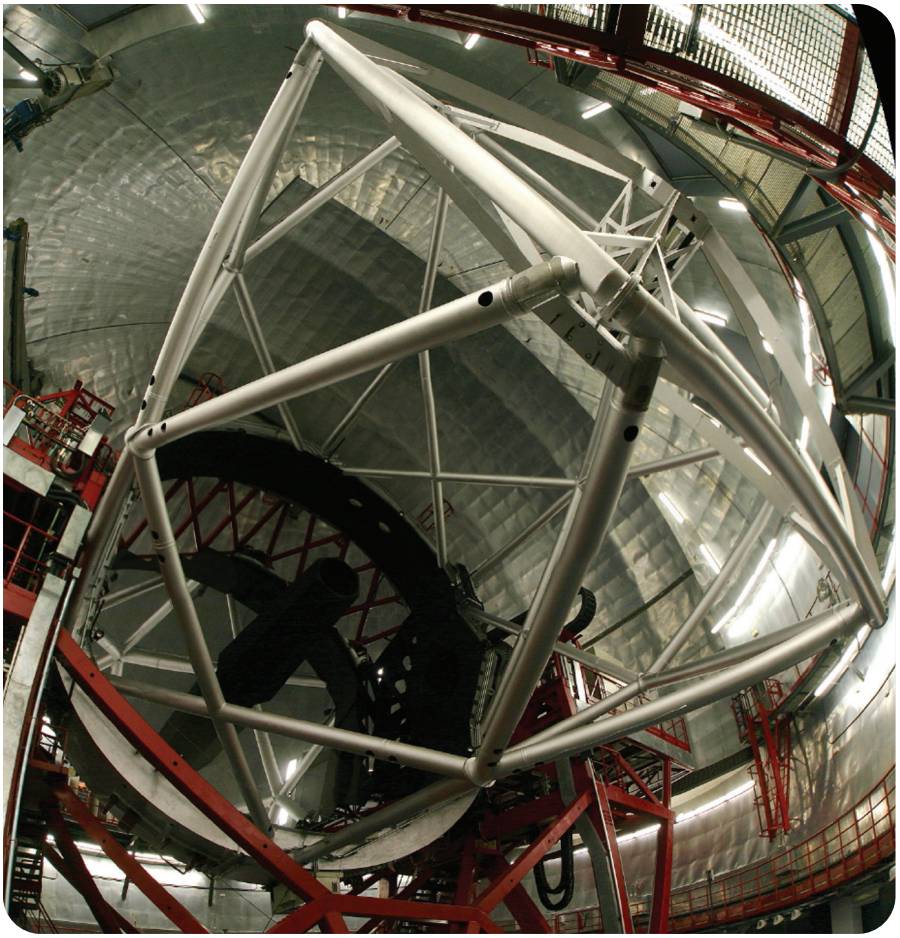
Színes csillagok

## A legnagyobb távcsövek

A távcsövek elsődleges szerepe, hogy összegyűjtsék a csillagfényt. Minél nagyobb egy távcső átmérője, annál több fényt tud összegyűjteni. Ha a távcső átmérőjét a pupillánkéhoz hasonlítjuk, jól érzékelhető, mennyivel több információt nyerhetünk a távcsővel, mint szabad szemmel. A legnagyobb tükrös távcsövek tükrének átmérője meghaladja a 10 métert, a jelenleg legnagyobb optikai távcső a Kanári-szigetek egyik hegyén található, és átmérője 10,4 méter.

**SZÁMOLJUK KI!**

Hányszor több fény érkezik egy távoli objektumról a 10,4 méteres átmérőjű tükrös távcső tükrére, mint tágult pupillánkra, melynek átmérője 7 milliméter?

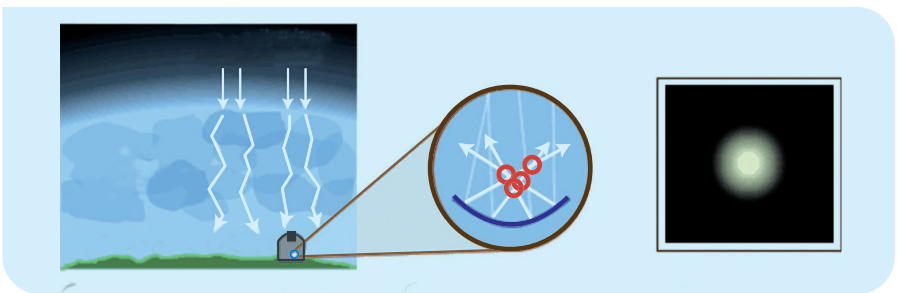


Óriástávcső a Kanári-szigetek egyikén

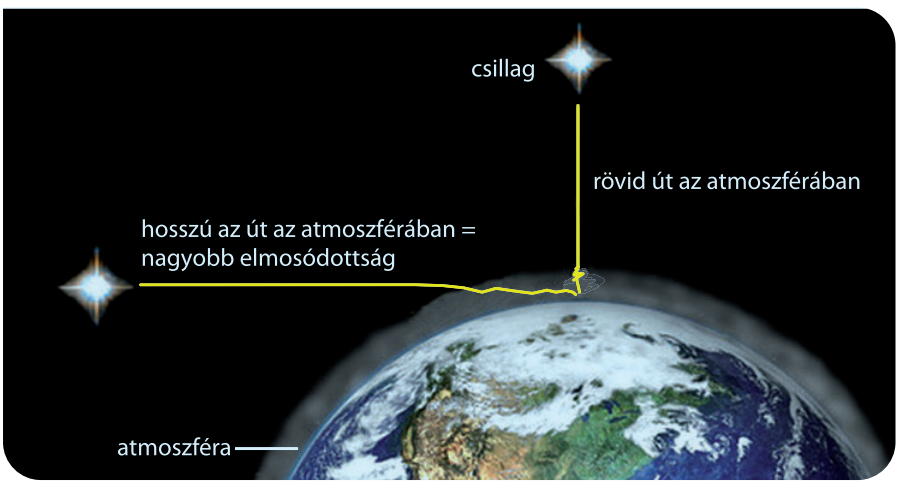
## Miért remegnek a csillagok?

A csillagok észlelését nagymértékben zavarhatja a Föld légköre. A légkör átlátszósága és a légkörben fellépő áramlások, hullámok egyaránt befolyásolják a csillagok észlelését. A csillagokról érkező lényegében párhuzamos fénysugarak a légkör inhomogenitása miatt nem maradnak párhuzamosak, így a távcsövekben a képük elmosódottá válik.

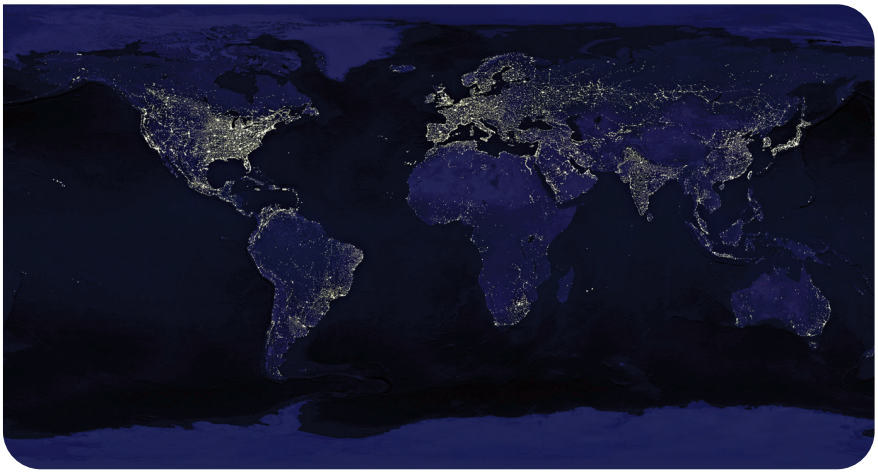
A horizont közelében észlelt csillagok esetében a légkör torzító hatása nagyobb. A nagyobb távcsöveket azért telepítik hegycsúcsokra, mert a megfelelően megválasztott hegycsúcsok a lakott településektől távol esnek (kicsi a fényszennyezés), és a légkör torzító hatása is kevésbé befolyásolja az észlelést. A legjobb észlelési eredményeket a légkör hatásának teljes kiküszöbölésével lehet elérni. Ezért telepítenek távcsöveket az űrbe. Ugyanakkor tudnunk kell, hogy a légkör torzítása hullámhosszfüggő, ezért például a rádiótávcsöveket nem zavarja a légkör jelenléte.



Az eredetileg párhuzamos fénysugarak a légkörön áthaladva különböző szögben érik a távcső tükrét, így visszaverődve nem pontosan egy fókuszpontban metszik egymást, ami elmosódott képet eredményez




A horizont közelében észlelt csillagok esetében a légkör torzító hatása nagyobb (az ábra erősen túloz)



A világ éjszaka

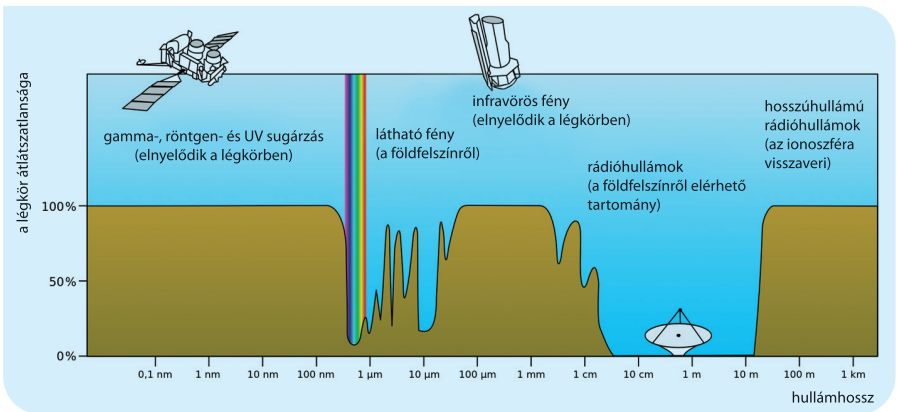
## Tőled függ!

2007 óta minden évben általában március utolsó szombatján 20.30-kor egy órára lekapcsolják a közvilágítást. A kampány kezdete óta egyre több nemzet csatlakozik a Föld órája akcióhoz. 2014-ben Magyarországgal együtt már 162 ország vett részt benne.

Ilyenkor megnézhetjük a csillagos eget a városokból is, mert lecsökkentjük a világűr „díszkivilágítását”, és legalább egy órára visszaszorítjuk a fényszennyezést.

### Rádióablak

A Föld légköre tiszta időben nagymértékben áteresztí a csillagokból érkező látható fényt. De vajon hogyan viselkedik a szemmel nem látható hullámhosszú sugárzásokkal szemben? A grafikonon jól látszik, hogy a légkör a rádióhullámok tartományában is áteresztő.




A Föld atmoszférájának elektromágneses áteresztőképessége a hullámhossz függvényében százalékban

### Rádiótávcsövek

Szemben a szabad szemes észleléssel, a műszerek a látható tartományon kívüli elektromágneses hullámtartományban is tudják észlelni a csillagfényt. A csillagok által kibocsátott rádióhullámok lényegében akadálymentesen érik el a Földet, és a csillagokról fontos információkat hordoznak. A rádióhullámok összegyűjtése parabolaantennák segítségével lehetséges. Az antenna olyan „fémhálózat”, mely a rá eső rádióhullámokat az antenna fókuszába veri vissza. Rádióhullámok felfogására alkalmas parabolaantennákból jóval nagyobb átmérőjűeket tudunk készíteni, mint tükrökből vagy lencsékből. A legnagyobb magányos rádiótávcső Puerto Ricóban, a Karib-

## Hallottál róla?

2020-ban kezdték meg az észlelést a SKA (Square Kilometre Array) projekt keretében. A program olyan összehangolt rádiótávcső-rendszer kifejlesztését tűzi ki célul, mely 1 km$^2$ területen közel 3000 rádiótávcsőből fog állni. A parabolaantennák rendszerét Afrikában vagy Ausztrália–Új-Zéland területén építik ki, és ötvenszer érzékenyebb lesz a jelenleg legjobb rádiótávcsőnél, az észlelés pedig tízezerszer válik gyorsabbá. A megaprojektben húsz ország mérnökei és tudósai vesznek részt.

Az arecibói rádiótávcső óriási parabolaantennája egy vulkán kráterében épült

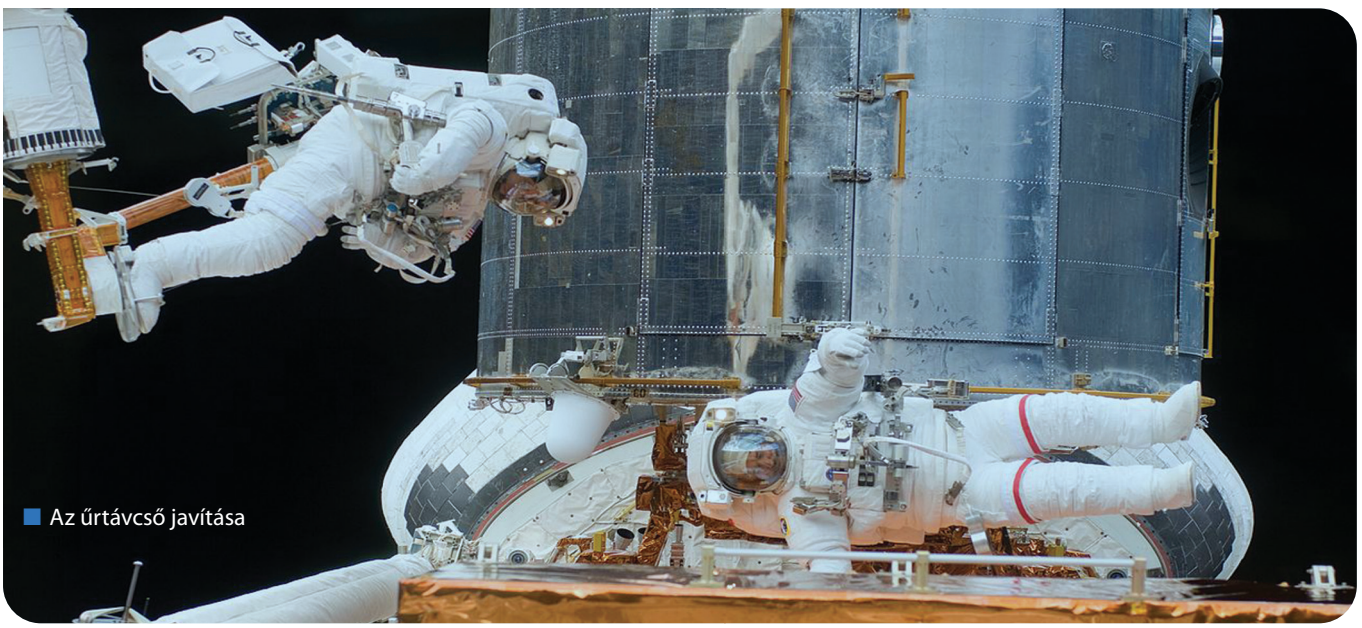
## Hallottál róla?

A NASA (Amerikai Űrkutatási Hivatal) komoly hangsúlyt fektetett az űrtávcső programjának népszerűsítésére. Az űrtávcső képeinek megújuló gyűjteményét a http://hubblesite.org/gallery/ címen érheted el.

tenger egyik szigetén található egy természetes völgykatlanban. Az arecibói parabolaantenna átmérője 340 méter. A rádiótávcső által összegyűjtött információk mennyiségét növelni lehet hálózatban elhelyezett és egymással összekötött rádiótávcsövek jeleinek kiértékelésével is, amikor az egyes antennák egyetlen nagy átmérőjű óriásantenna részeiként működnek.

### Hubble Space Telescope (HST) – az űrtávcső

A Hubble-űrtávcső 1990 áprilisa óta kering 559 km magasan a Föld felett. A távcső tömege 11,1 tonna, főtükre 2,4 méter átmérőjű, és Föld körüli pályáját alig több, mint 1,5 óra alatt futja be. Energiáját napelemekkel nyeri. Az űrtávcső a légkör zavaraitól mentes környezetben, a földi fényektől távol, rendkívül éles képeket készít a világűr különböző tartományairól.
A távcső működése korántsem volt zavartalan. 1993 és 2002 között négy űrexpedíciót küldtek a távcsőhöz, ahol az asztronauták javításokat végeztek a rendszeren. A HST szerepét átvevő James Webb-űrtávcső indítását 2014-re tervezték, de költségvetési szigorítás miatt ez elmaradt, és a jelenlegi tervek szerint 2021-re tolódik. A JWST tömege a HST-nek alig több



Az űrtávcső javítása

mint fele, de főtükrének átmérője több mint kétszerese lesz. A Hubble-űrtávcsövet előbb-utóbb megsemmisítik, a Csendes-óceánba irányítják.

A JWST honlapja a könyv írásakor a következő: http://jwst.nasa.gov/recentaccomplish.html

## Gondold meg!

Az űrtávcső fontos előnye a földi távcsövekhez képest, hogy nemcsak a látható és a rádiótartományban tudja észlelni a csillagok sugárzását. Mi ennek a magyarázata?

## NE FELEDD!

**A csillagokat fényességük szerint csoportosíthatjuk. Fényerejüket magnitúdóban mérjük. A csillagok abszolút fényessége lehetővé teszi fényességük összehasonlítását. A csillagfény árulkodik többek között a csillag kémiai összetételéről, mozgásáról, hőmérsékletéről. Műszereink segítségével jóval több információt gyűjthetünk össze a csillagokról, mint szabad szemmel. A legfontosabb eszközeink az optikai távcsövek és a rádiótávcsövek, de használunk infratávcsöveket és röntgentávcsöveket is. Az optikai, infra- és röntgentávcsövek esetében a légkör zavaró hatását is ki kell küszöbölnünk. Ezért telepítjük távcsöveinket hegycsúcsokra, illetve állítjuk Föld körüli pályára.**

**A Pismis 24 az NGC 6357-ben**

Rolf Olsen, 2012
10"-os Newton-tükrös távcső (f/5)

ESO La Silla Obszervatórium, 2010
1,5 m-es Danish teleszkóp

Hubble-távcső, 2002

Képek földi távcsővel, és ugyanaz a Hubble-űrtávcsővel

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mit jelent a csillag fényessége? Mi az abszolút fényesség?
2. Melyek a csillag fényéből nyerhető legfontosabb információk?
3. Miért telepítik a távcsöveket lakatlan területeken magasodó hegycsúcsokra?
4. Melyek az űrtávcső előnyei a földi műszerekhez képest?
5. Mit jelent, hogy egy csillagnak negatív a magnitúdója? Mi a nulla magnitúdó jelentése?
6. Nevezz meg egy olyan csillagot, melynek fényessége a Földről figyelve nagyobb, mint az abszolút fényessége, és olyat is, amelynek a fényessége kisebb az abszolút fényességénél!
7. Miért látjuk remegni a csillagokat?
8. Mekkora a legnagyobb magyarországi távcső, és hol található?
9. Milyen elektromágneses hullámtartományban fürkészhető leghatékonyabban a világegyetem a Föld felszínéről?
10. Az elektromágneses hullámok melyik tartományát nem ereszti át (szűri) a légkör?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Két csillag abszolút fényessége azonos. Az egyik 5 parszekre van, és 2 magnitúdóval fényesebbnek látszik a másiknál. Milyen messze van a másik csillag?
2. Ha egy vasrudat fokozatosan hevítünk, kellően magas hőmérsékleten a színe is változni kezd. Ha láttál ilyen folyamatot filmen, vagy akár a valóságban, meg tudod állapítani, hogy egy kék vagy egy vörös fényű csillag a melegebb. Válaszodat indokold!
3. Mi köze van az üvegházhatásnak a csillagok Földről való megfigyelhetőségéhez?
4. Milyen hullámhossztartományban működik az arecibói obszervatórium távcsöve? Hogyan befolyásolja ez a tény a távcsőtükör (antenna) méretét?
5. Mi az akadálya annak, hogy kozmikus röntgenforrásokat a Föld felszínéről hatékonyan megfigyeljünk?
6. Hogyan utal egy csillag fényében megfigyelhető színképvonalak eltolódása a csillag haladó mozgására?
7. Mi a magyarázata annak az állításnak, hogy a csillagok fényében megfigyelhető színképvonalak elmosódottsága a csillagok forgásáról árulkodik?

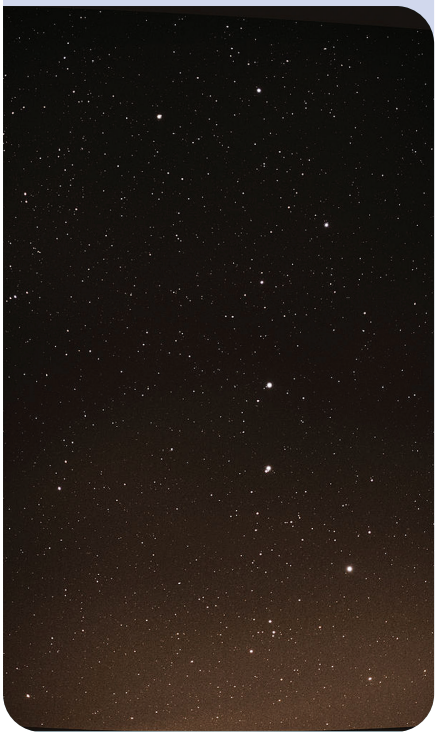
# 54. | Aki távolba néz, a múltba néz

*A fény terjedésének véges sebessége és a világegyetem hatalmas méretei arra késztetnek minket, hogy újraértékeljük, amit az időről gondoltunk eddig. A múlt, a jelen és a jövő fogalmak jelentése nyilvánvalónak tűnik mindenki számára. De tényleg olyan nyilvánvaló?*

**EMLÉKEZTETŐ**

A fény sebessége légüres térben, és így az űrben is 300 000 km/s. A Nap valamivel több mint 8 fénypercre van a Földtől, azaz a Nap fénye jó 8 perc alatt éri el a Földet. A legközelebbi csillag (leszámítva a Napot) az alfa Centauri, ami 4,36 fényévre található, míg ikergalaxisunk, az Andromeda-köd fénye kétmillió év alatt érkezik meg a Földre.

## Bevezető gondolatok

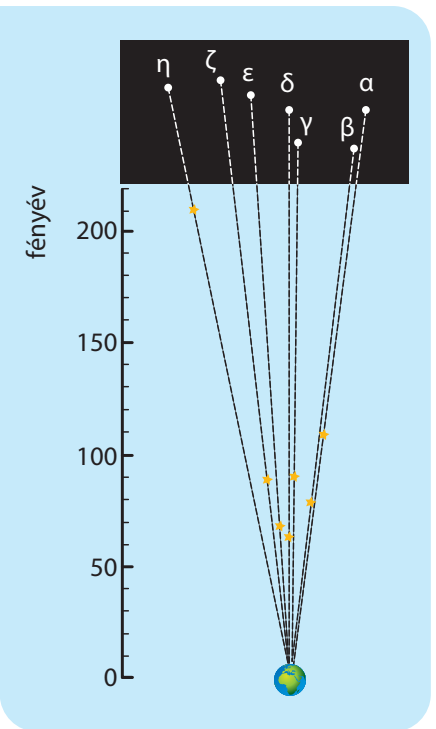


A Göncölszekér az égbolton

Az Einstein által megfogalmazott relativitáselmélet kimondja, hogy semmilyen fizikai hatás, anyagi részecske nem terjedhet gyorsabban, mint a fény légüres térben. Egymástól térben elkülönülő dolgok között információátadás fizikai hatással (pl. fényjellel vagy elektromos áramlökéssel) történik, így az információ terjedése is mindig időt igényel. Az információterjedés sebessége a relativitáselmélet szerint nem lehet nagyobb, mint a légüres térbeli fénysebesség.

## A „hamis" csillagképek

Ha pillantást vetünk az égbolt csillagaira, azt gondolhatjuk, hogy a csillagok most az égen így helyezkednek el. De vajon helytálló ez a kép? Válasszuk ki a Göncölszekér csillagképet. A csillagkép csillagai egymástól eltérő távolságban vannak a Földtől. A Göncölszekér rúdjának végén található η jelű csillag több mint 200 fényévre, míg a δ jelű csillag 60 fényévre van a tőlünk. Mindez azt jelenti, hogy az η csillag 200 évvel ezelőtti állapotát látjuk egyszerre a δ csillag 60 évvel ezelőtti állapotával. Mivel a csillagok mozognak, kijelenthetjük, hogy a Göncölszekér csillagainak jelenlegi helyzetéről egy pillanatfelvétellel nem nyerhetünk biztos tudást. Amikor a csillagképet nézzük, az idő és tér különböző tartományait szemléljük egyszerre.




A Göncölszekér csillagainak helyzete a térben

**Hallottál róla?**

A világegyetem múltjának kutatása egyet jelent a műszereink tökéletesítésével. A jelenleg megfigyelhető legtávolabbi objektum több mint 13 milliárd fényévre van a Földtől. Mivel a világegyetem ismert kora nagyjából 13,7 milliárd év, az univerzum egy korai állapotát tükröző, meglehetősen ősi objektumról van szó, mely aligha létezik most.

A múlt tanulmányozása mindig izgalmas feladat. A történészek nem kis erőfeszítést tesznek annak érdekében, hogy kiderítsék, mi történt pontosan évszázadokkal ezelőtt. A csillagászoknak „könnyebb” a helyzete. Ők látják a múltat. Minél távolabbi tartományait vizsgálják egyre jobb felbontású műszereikkel a világegyetemnek, annál korábbi állapotáról kapnak képet.

## Múlt, jelen és jövő

Hagyományos gondolkodásunk számára a múlt, jelen és jövő fogalma az idővel van összekötve. A jelen, ami éppen most, ebben az időpillanatban történik. A múlt a megelőző időpillanatok összessége, a jövő pedig a jelent követő időpillanatok sokasága. De másképpen is beszélhetünk a múltról. A múlt mindaz, ami biztosan megtörtént, és a jövő, ami még biztosan nem. De vajon a két megfogalmazás azonos tartalmat takar?

**Gondold meg!**

Mutasd meg, hogy a két megfogalmazás nem egyenértékű!

## Az oksági elv

A világ leírása során azt a meggyőződést alakítottuk ki, hogy a történéseknek oka van, az okoknak pedig következménye. A múltunk befolyásolja a jelent. Amiről biztosan tudhatjuk, hogy megtörtént, az hatással lehet ránk, ami biztosan nem történt meg, az nem lehet ránk hatással. A jelen történéseinek oka csak múltbeli esemény lehet.

A múlt és jövő XXI. századi meghatározása a fizikában a XIX. század vége óta következetesen használt oksági elvhez köthető. A múlt az, ami befolyásolhatja a jelent, a jövő az, amit a jelen befolyásolni tud. Ebben az értelemben nem lehet az a múltunk, ami négy perccel ezelőtt a Napon történt, hiszen nem befolyásolja a földi jelent, csak a földi események jövőjére lehet hatással, és ami négy perc múlva fog történni a Napon, azt legfeljebb egy múltbeli cselekedetünk befolyásolhatja, a jelen pillanata nem.

Minél távolabbi tartományokat vizsgálunk, annál szélesebb a múltat a jövőtől elválasztó idősáv. Míg ott, ahol vagyunk, a múltat a jövőtől egy pillanat választja el, addig az Androméda-ködön az általunk észlelt és esetleg befolyásolható eseményeket elválasztó idősáv négymillió év.

**Gondold meg!**

Magyarázd meg, hogy ami a kétmillió fényévre lévő Androméda-ködön 1,9 millió évvel ezelőtt történt, az nem a mi múltunk, és ami 1,9 millió év múlva fog történni, az nem a mi jövőnk a jelen pillanatához viszonyítva!

Miért lesz négymillió év széles az idősáv az Androméda-ködön, mely a múltunkat a jövőnktől elválasztja?

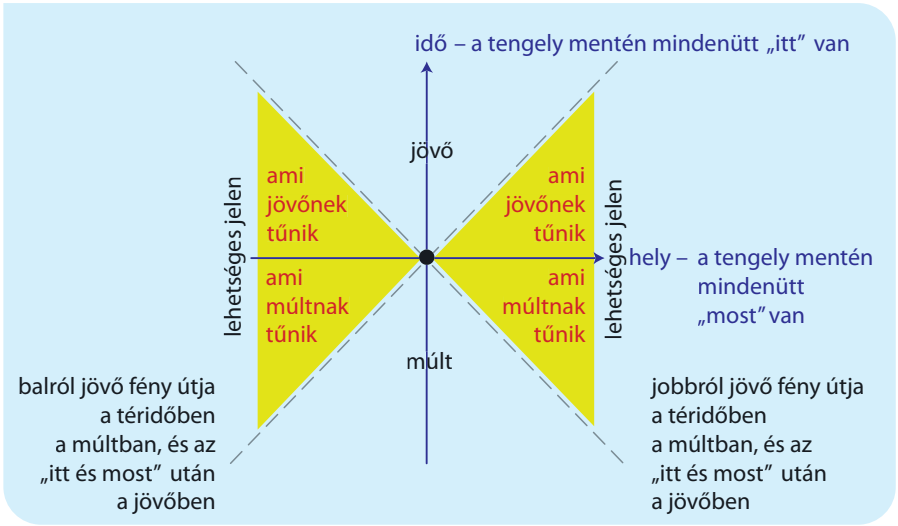
Jelentik-e a fentiek azt, hogy az Androméda-ködön a múltat a jövőtől nem egy pillanat választja el?

## Mi a jelen?

Mit értünk azon, hogy most? Hogyan értelmezhetjük a jelen fogalmát? Most itt állok a tisztás szélén, és te is itt állsz mellettem. Odébb egy madár felrebben, még távolabb a fákat ringatja a szél. A hegyoldal felett éppen most füst száll fel. A most ellentmondásos fogalom, mert azt értem bele, amit egy adott pillanatban látok. A jelen fogalmát egy olyan világról mintáztuk, ahol nem kell idő a fény terjedéséhez. Mivel a fénysebesség nagyon nagy, világunk ilyennek tűnik, ha nem nézünk túl messzire.

Mivel a fény sebessége véges, a jelen nagyobb távlatokban nem jelentheti az egyszerre látott dolgok összességét. De akkor mi a jelen? Az egyszerre történt dolgok összessége. De hogyan dönthető el, hogy a dolgok egyszerre történtek? Ha nem lennének órák, azt mondanánk, talán sehogy sem. Azonban órák segítségével azt mondhatjuk: ha a dolgok egy időben történtek, azaz a pontos órák a különböző helyeken ugyanazt az időt mutatják, akkor mind ugyanazon jelenhez tartoznak. A speciális relativitáselmélet szerint az egyidejűség viszonylagos. Ami a földlakók számára egyidejű, nem lesz egyidejű a földlakókhoz képest mozgó rendszerekben. A földlakók egymással szinkronizált pontos órái nem lesznek szinkronizáltak egy, a Földhöz képest mozgó

megfigyelő szerint. Azaz a jelen maga is viszonylagos. Csak a jövő és a múlt a biztos bármilyen megfigyelő mozgásától függetlenül, amennyiben az oksági elv alapján határozzuk meg.




„A fénykúp” függőleges metszete

## Hallottál róla?

A hagyományos gondolkodás szerint, ami nem része a múltnak vagy a jövőnek, az most van, az a jelen. Eszerint a logika szerint a jelenbe tartozik az is, ami az Androméda-ködön egymillió éve történt, és az is, ami egymillió év múlva fog történni. Mindez ellentmond annak a képzetünknek, hogy a jelen a tér minden pontjában csak egy, a mi „most”-unkkal egyidejű pillanat. De a múlt és a jövő közötti időszakadék tőlünk távolodva mind nagyobbnak tűnik. A relativitáselmélet úgy oldja fel ezt az ellentmondást, hogy bebizonyítja, mindig van olyan, hozzánk képest mozgó megfigyelő, aki számára a mi mostunk egyidejű lesz a tér bármely pontjában végbemenő olyan eseményekkel, melyek nem tartoznak sem a múltunkba, sem a jövőnkbe. (Ezt a tartományt jelöltük a fenti ábrán lehetséges jelenként.)

A speciális relativitáselmélet értelmében az egyidejűség relatív, ami azt jelenti, hogy azok az eseménypárok, melyek között nem állhat fenn ok-okozati kapcsolat, egyidejűek is lehetnek, de akár megelőzhetik egymást, időrendjük tetszőleges lehet. Mindez a megfigyelők mozgásának függvénye.

Mindebből nagyon szokatlan következtetések fakadnak.

Maga az idő is a megfigyelő mozgásától függ. Hiszen ha két esemény egyszerre történik az egyik megfigyelő szerint, de nem egyszerre egy hozzá képest mozgó másik szerint, akkor nem lehet eldönteni, hogy a két esemény között mennyi idő telt el valójában. Azaz a két esemény között eltelt idő relatív, a megfigyelők mozgásától függ.

De relatívvá válik a távolság is. Egy rúd hossza, azaz a két vége közötti távolság azon múlik, meg tudunk-e állapodni abban, hol van a rúd két vége egy időben. Ha ugyanis nem egy időben vizsgáljuk a rúd két végét, akkor azok távolsága csak akkor lesz egyenlő a rúd hosszával, ha a rúd áll. Egy hozzánk képest mozgó megfigyelő számára a rúd mozog, és a mi két egyidejű pillanatunk sem lesz egyidejű. Így a rúd hosszát is másnak fogja tartani.

Egy hozzánk képest 0,86 fénysebességgel mozgó űrhajóban az idő feleolyan gyorsan telik a mi óránkkal mérve, mint nálunk, itt a Földön, és egy, az űrhajóval együtt mozgó méterrúd hosszát mindössze 0,5 méternek mérnénk a Földről mérve.

A relativitáselmélet legnagyobb nehézsége nem az idő és távolság szokatlan „viselkedésének” megértésében rejlik, hanem abban, hogy az eredmények viszonylagosak, a megfigyelőtől függőek. A távozó űrhajóhoz képest a Föld, azaz mi mozgunk nagy sebességgel, vagyis az űrhajósok szerint a mi óráink lassultak le, és a mi méterrudunk rövidült a felére. Mi a saját vonatkoztatási rendszerünkben meg tudjuk mérni a saját (álló) méterrudunkat és a hozzánk képest mozgó méterrudat is, és a két eredmény nem lesz azonos. Az űrhajósok is ugyanezt tapasztalják méréseik során a saját vonatkoztatási rendszerükben. Hogyan dönthetjük el, hogy a földi megfigyelőnek vagy az űrhajósnak van igaza? Erre az izgalmas kérdésre a későbbiekben keressük a választ.

A speciális relativitáselmélet abból a meglepő tényből indul ki, hogy a légüres térben terjedő fény sebességét az egymáshoz képest mozgó megfigyelők azonosnak tapasztalják. Ezt a tényt mérésekből szűrték le. A térre és időre vonatkozó szokatlan következtetések lényegében ennek az állításnak a következményei.

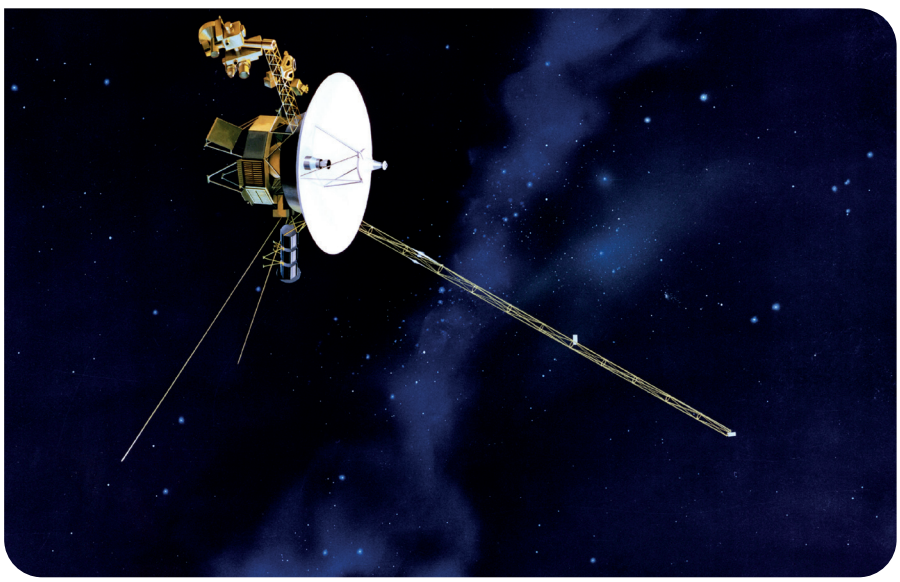
## NE FELEDD!

**Az információk terjedéséhez idő kell. Amikor az információ, például a fényjelbe kódolva, egy távoli objektumról érkezik, akkor az a távoli objektum egy korábbi állapotáról tanúskodik, arról az állapotról, ami akkor jellemezte az objektumot, amikor a fény elindult. Ilyen értelemben a „távolság idővé válik", minél távolabbra nézünk, annál korábbi állapotát ismerjük meg a dolgoknak. A tér és idő fent említett összekapcsolódása arra késztet minket, hogy az egymásutániságot az ok és okozat fogalmával közelítsük meg. Ha egy esemény egy másik oka, akkor biztosan megelőzte a másikat, tehát ahhoz képest a múltban volt.**

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Az Androméda-köd kétmillió fényévre van tőlünk. Mikor szerezhetünk tudomást arról az esetleges robbanásról, mely egymillió év múlva történik az Androméda-ködön? Vegyük figyelembe, hogy az Androméda-köd 270 km/s-os sebességgel száguld felénk! Képzeld el, hogy a robbanást egy olyan bomba okozza, amit távolról küldött fényjellel lehet hatástalanítani. Tudjuk-e hatástalanítani a bombát az elkövetkező egymillió évben?
2. Milyen mérési eljárással lehetne megállapítani, hogy két térben távoli esemény egyszerre történt? Használd a fényt a módszerhez!
3. Milyen korlátokat jelenthet a Földről irányítható űrjárművek szempontjából a fény véges sebessége?
4. Mondj egy olyan helyet a világegyetemben, ahol arról, ha egy órával ezelőtt történt valami, még biztosan nem tudhatunk most!
5. „Egy kozmikus eseményt, például a Jupiter Európa nevű holdjának a Jupiter takarásába való kerülésének időpontját másodpercre pontosan meg lehet adni."

   Elemezd ezt az állítást! Milyen alapon jelenthetjük ki, hogy éppen most került az Európa a Jupiter fedésébe? Mikor tudhatom, hogy az esemény biztosan bekövetkezett? Mire lehet következtetni a két válasz különbségéből, és hogyan?
6. Tételezzük fel, hogy egy tér-idő grafikonon a teret fényévekben mérjük. Milyen egységekben kell mérni az időt, hogy a fény útja a tér–idő grafikonon 45°-os dőlésű egyenes legyen (lásd a fénykúp ábráját a 120. oldalon )?



Voyager űrszonda

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Nevezz meg egy olyan eseményt az életedben, ami a múltban volt, és egy olyat, amelyik a jövőben lesz!
2. Mondj példát olyan eseményre, mely a jelen pillanata előtt volt, de csak a jövőben szerezhetünk róla tudomást!
3. Nevezz meg egy olyan eseményt, mely a jelen pillanatot követően történik (ha történik), de mi már semmilyen módon nem lehetünk befolyással rá!
4. Gondold végig, mi lenne, ha a fény sebessége csak néhány centiméter lenne percenként! Találj ki egy különleges példát erre az esetre!
5. Mikor született Albert Einstein speciális relativitáselmélete? Kapott-e Einstein ezért a munkájáért Nobel-díjat?
6. Ha egy tükör előtt állunk a tükörtől 2 méterre, közelítőleg mennyivel korábbi állapotban látjuk a tükörben a lábunkat?
7. Mi az oka annak, hogy az új év a Föld különböző pontjain máskor kezdődik? Lehetne-e ezen változtatni rendeleti úton?

# 55. | Fekete lyukak és más csillagsorsok

*A világegyetemben minden, ami létrejön, elpusztul valamikor. Csillagok születnek, és különböző csillagsorsot „megélve" elpusztulnak, ezzel új csillagok születésének teremtve lehetőséget. A csillagok életével ismerkedünk ebben a fejezetben.*

**EMLÉKEZTETŐ**

A csillagokból kisugárzott energia az atommagok egyesülése, a magfúzió során keletkezik. A fúzióban először a könnyebb atommagok vesznek részt, majd fokozatosan a nehezebbek is. A csillagok energiatermelését elsődlegesen a hidrogén és a hélium fúziója eredményezi.

## A csillagok születése

Az újszülött csillag a kozmikus gázokból sűrűsödik. Először nagy átmérőjű és hideg, de azután saját gravitációs terében összehúzódik, közben felforrósodik. Az összehúzódás egészen addig tart, míg a magfúziós folyamatok meg nem indulnak benne. Amíg kezdetben az energiatermelés nem egyenletes, változó csillagként figyelhetjük meg, majd ha stabillá válik, a csillag egyenletesen sugározni kezd, minél nagyobb a tömege, annál fényesebben. Mikor a csillag belsejében elfogyott a hidrogén, külső rétegeinek készletét emészti fel, és így a külső részekre kiterjedt magreakciókkal a csillag mind fényesebbé válik, és mind gyorsabban fogy a maradék hidrogénkészlete.

A Lófej-köd képe infravörös és látható fényben. A Lófej-köd olyan anyaghalmaz, mely leárnyékolja a mögötte lévő világító gázfelhő fényének egy részét, és ezért észrevehető. A köd anyagában jelenleg is csillagok születnek

## Hogyan keletkezik a vörös óriáscsillag?

A magreakció során a hidrogén héliummá alakul át, és ha a csillag anyagának zöme már hélium, a csillag összezsugorodik és tovább forrósodik. Ekkor megkezdődik a héliumatommagok fúziója. A héliumból nagyobb atommagok épülhetnek fel, egészen a vasig, és a csillag még jobban kifényesedik, majd felfúvódik, és vörös óriáscsillag lesz belőle. A vörös óriás méreteit érzékelteti az a tény, hogy a Nap, ha majd egyszer vörös óriás lesz, túlnyúlik a Mars pályáján is, és elnyelné a belső bolygókat, ha azokat nem fújná el a mind jobban felerősödő napszél, azaz a Napból jövő ionizált részecskék, főleg nagy energiájú elektronok és protonok tömege.

A fúziós reakciók lezajlása után a csillagok sorsa – kezdeti tömegüktől függően – különbözőképpen alakul:

## Fehér és fekete törpék

A **8 naptömegnél kisebb** csillagok annyi anyagot veszítenek a **vörös-óriás-állapot** végére, hogy tömegük az úgynevezett **Chandrasekhar-határ (1,4 naptömeg)** alá kerül. Ez azt jelenti, hogy az összehúzódó és felmelegedő csillag belsejében egy újabb egyensúlyi helyzet alakul ki. A gravitációs össze-

húzódást a csillag anyagának (szabad elektronoknak) nyomása egyenlíti ki. Ez a **fehértörpe-állapot**. Ha a csillag magányos, folyamatos kihűlése során az elmélet szerint idővel **fekete törpe**csillaggá alakul. Fekete törpecsillagot még nem figyeltek meg, mert a világegyetem kora eddig még nem volt elegendő ahhoz, hogy fekete törpe létrejöjjön.

### Szupernóva-robbanás

Ha a csillag tömege **meghaladja a Nap tömegének 8-szorosát**, akkor a vörös-óriás-állapot után is a **Chandrasekhar-határ fölött marad a tömege**. Ekkor a csillag összeomlik, és a felszabaduló gravitációs energia a belsejét felhevíti, ez újból beindítja a fúziót és a csillag erősen felfénylik, külső burka lerobban. Ez a **szupernóva-robbanás** egyik típusa. Ezután a belső rész hirtelen összetömörödik, majd fokozatosan lehűl és összehúzódik. A csillag belső magja lényegében atommagsűrűségűvé alakul ($2{,}7 \cdot 10^{14}\,\mathrm{g/cm^3}$), és létrejöhet például egy nagyjából 1,4 naptömegű, közel 30 km átmérőjű neutroncsillag, amelyben a gravitációs erőhatással a neutronfolyadék nyomása tart egyensúlyt. A szupernóva-robbanás során ledobott anyag elegendően forró ahhoz, hogy benne energiaigényes („exoterm") magreakciókkal a vasnál nehezebb elemek atommagjai is létrejöhessenek.

**SZÁMOLJUK KI!**

Mekkora lenne a Föld sugara, ha sűrűsége neutroncsillag sűrűségű lenne?

### A fekete lyuk

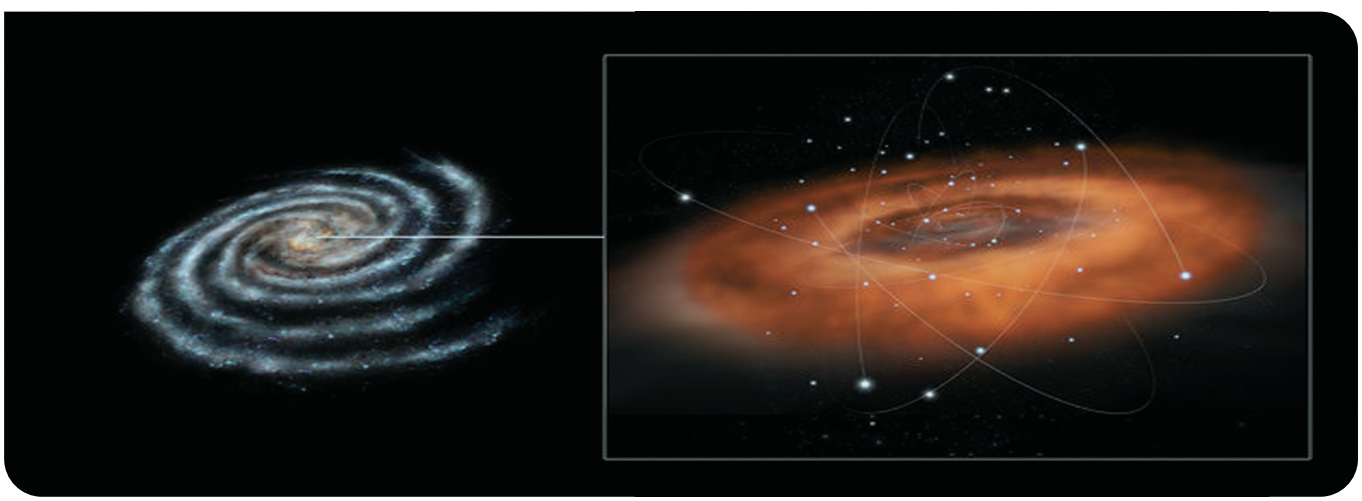
Ha a keletkező neutroncsillag tömege meghaladja a közel 3 naptömeget (ekkor a csillag eredeti tömege kb. 40 naptömeg lehetett), a neutroncsillag sem maradhat stabil állapotban, fekete lyuk keletkezik belőle. A fekete lyuk minden anyagot magába nyel, és semmit sem ereszt el. A fekete lyukat még a fény sem hagyhatja el, így azt látni sem lehet.

Jelenlegi elképzelésünk szerint fekete lyukakat kereshetünk a galaxisok magjában. Mi több, a spirálgalaxisok spirálkarjainak kialakulása is összefügghet a galaxismagokban meghúzódó több millió naptömegnyi fekete lyukakkal.

A Tejút centrumához legközelebbi csillagok pályáját másfél évtizeden át elemezve 2012-ben egy német–amerikai kutatócsoport arra szolgáltatott bizonyítékot, hogy a Tejút középpontjában is fekete lyuk van.

### Hallottál róla?

Amikor a neutroncsillag összehúzódása során annak gravitációs tere elér egy kritikus értéket, kialakul a fekete lyuk. A fekete lyuk a téridő olyan tartománya, melyből semmi, így a fény sem tud távozni. A fekete lyukat az eseményhorizont határolja, ez adja meg virtuális térfogatát. Ez a térfogat azért látszólagos, mert a csillag összehúzódása az eseményhorizonton belül is folytatódik, de információ innen már nem távozhat. Ha a fekete lyukba anyag hull, az eseményhorizont kifelé tolódik. A fekete lyuk létezéséről annak gravitációs hatása révén kaphatunk képet. Például ha egy kettős csillag egyik tagja fekete lyuk, és a közös tömegközéppont körül keringenek, a látható csillagtárs pályája árulkodik a láthatatlan fekete lyukról. Kettős csillagok esetében a fekete lyuk anyagot szív magába a másik csillagról. A fekete lyuk felé áramló és a belső súrlódás miatt felhevülő anyag röntgentartományban sugároz, amit szintén észlelhetünk. A fekete lyukak azonosításának legelterjedtebb módja a gravitációs lencsehatás észlelése, mely lényegében a fekete lyuk mögött lévő csillaghátter képének optikai torzulása annak következtében, hogy a fekete lyuk meggörbíti a közelében elhaladó fénysugarakat.



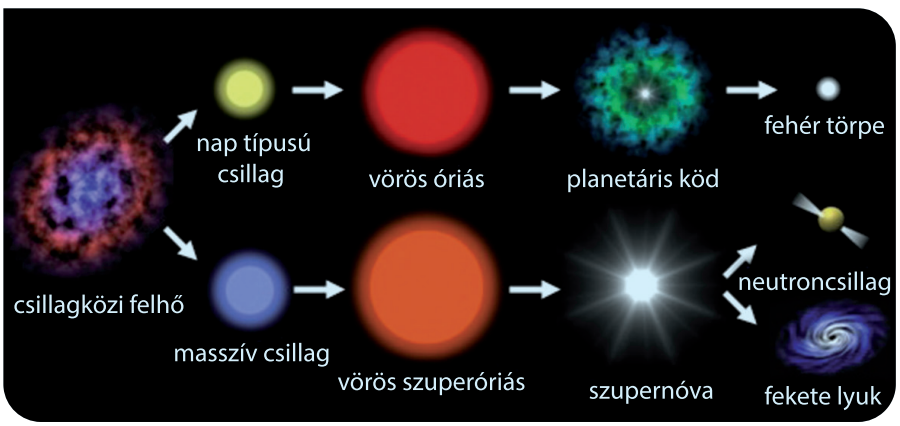
A Tejútrendszer közepében egy fekete lyuk található

**NE FELEDD!**

**A csillagok kozmikus porfelhőből születnek. A por a gravitációs vonzás hatására tömörödik össze, közben felmelegszik, megindulnak benne a fúziós folyamatok. A fúzió következtében felszabaduló energia elektromágneses (fény)sugárzás révén távozik, egyensúlyt tartva a gravitációs összehúzódással. A hidrogén fúzióját fokozatosan a nagyobb tömegszámú atomok egyesülése követi, és közben a csillag kiterjedése megváltozik. Előbb vörös óriássá fúvódik, később kezdeti méretétől függően vagy kihűl, és fokozatosan fehér, majd fekete törpecsillag lesz belőle, vagy szupernóvaként felrobban, külső burkát levetve. A robbanás során összetömörödött belső rész tömege határozza meg, hogy a szupernóva-maradványból neutroncsillag vagy fekete lyuk keletkezik. A fekete lyukak gravitációja annyira erős, hogy még a fény sem juthat ki belőlük.**

## A fekete lyuk lefényképezése

A fekete lyukakról számos fantáziakép készült, mely a fekete lyukak fizikai elméletére alapozott. Természetesen ezeket az objektumokat nem lehet látni, hiszen minden anyagot elnyelnek, így a fényt is. A sötét rész határa az eseményhorizont. Az eseményhorizont környezetében a lyukba zuhanó izzó anyag korongot alkot, s az általa kibocsájtott rádióhullámok észlelése révén lehet azonosítani a fekete lyuk környezetét, s ezáltal a határát. Az észlelésre használt Esemény Horizont Teleszkóp tulajdonképpen egy, az egész Földet behálózó rádiótávcső rendszer, mely a rendkívül gyenge és nagyon nagy hullámhosszúságú jeleket észlelni tudta. A forgó Föld felszínén elszórt, de egymással összekapcsolt rádiótávcsövek töredék információit olyan képelemző algoritmusokkal dolgozták fel, mely a távcsőrendszer „méretét" Föld átmérőjűvé tette, s a felbontás megfelelt annak, mintha egy Holdon elhelyezett narancsot figyelnénk meg a Földről. Az adatelemzés végül elvezetett a tőlünk 55 millió fényévre lévő M87-es galaxis magjában lévő fekete lyuk képéhez, ami meglehetősen hasonlított a kozmológusok által számítógépes szimulációk segítségével megalkotott elméleti képhez, alátámasztva ezzel kozmológiai ismereteink helyességét.




A csillagok tömegüktől függően többféle fejlődési utat járhatnak be életük során

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Értelmezd a következő állítást: Kozmikus eredetű porból vagyunk valamennyien.
2. Magyarázd meg a következő fogalmakat: vörös óriáscsillag, szupernóva-robbanás, neutroncsillag, fekete lyuk.
3. Milyen csillagsors vár Napunkra?
4. Keress az interneten minden csillagtípusra néhány példát!
5. Milyen típusba sorolható a Földhöz legközelebb található két csillag?
6. Milyen anyagok fúziója játszódik le elsődlegesen a Napban?
7. Ki volt Chandrasekhar?
8. Miért sugároz a fekete lyukba belehulló anyag?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Meddig fog kiterjedni a vörös óriássá váló Nap, és mikor várható mindez?
2. Mely fantasztikus filmek foglalkoznak fekete lyukakkal? Mennyire hitelesek a leírásaik?
3. Hogyan lehet azonosítani egy fekete lyukat, ha még a fény sem tudja elhagyni?
4. A neutron adatai alapján ellenőrizd a neutroncsillag sűrűségére kapott adatot ($2{,}7 \cdot 10^{14}$ g/cm$^3$)!
5. Miért tömörödik össze egy csillag belseje, ha a külső fele lerobban? A csillag melyik tartományában zajlik ilyenkor a robbanás?
6. A következő kép a Csillagok között (Interstellar) című 2014-es film alapján készült, és egy fekete lyuk környezetét mutatja. A film fizikus szakértője (Kip Throne) az aktuális tudományos álláspontnak megfelelő képet alkotott. Milyen, a fekete lyukak környezetében megfigyelhető sajátságát látod a képen a fénynek? Hol van a képen a fekete lyuk?

7. Keress az interneten képeket a gravitációs lencsehatásról!

# 56. | A mindenség keletkezése

*A gondolkodó ember egyik alapvető kérdése: vajon mikor jött létre a világegyetem? Létrejött-e egyáltalán, vagy mindig is létezett? Ha létrejött valamikor, mi volt előtte? Ezekre a kérdésekre sokféle válasz lehetséges. Ebben a fejezetben a tudomány válaszát ismertetjük.*

**EMLÉKEZTETŐ**

A világ közvetlen tapasztalásunk szintjén minden irányban végtelen kiterjedésűnek tűnik. Ezt a világot a Descartes-féle három merőleges tengelyből álló koordináta-rendszer „feszíti ki". Ha világunkat képzeletben a benne lévő tárgyaktól, dolgoktól megfosztjuk, akkor üresen is leginkább csak így tudjuk elképzelni. Ekkor tehát egy változatlan és mozdulatlan, a dolgok lététől független „descartes-i tér" képzetét használjuk, melyben elhelyezhetők a dolgok, a tárgyak.

## „Olbers-paradoxon", avagy nem végtelen a világ?

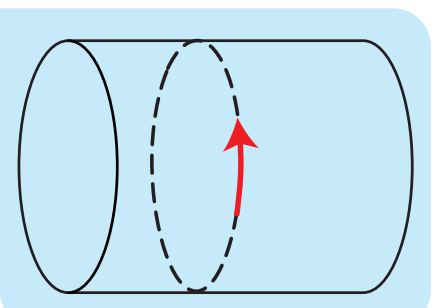
Heinrich Wilheim Olbers német fizikus 1826-ban matematikailag bizonyított állítása szerint, ha azt feltételezzük, hogy a csillagok a világegyetemben nagy átlagban egyenletesen oszlanak el, továbbá a tér minden irányban végtelen, és nincsenek kitüntetett helyei a mindenségnek, akkor éjszaka is nappali világosság kellene hogy legyen a csillagok fényétől. Ezt az elképzelést korábban Kepler és Halley is felvetette.

Az **Olbers-paradoxon** feloldására a következő feltevéseket fogalmazhatjuk meg az univerzum fényes objektumairól:

- a világító testek (csillagok vagy galaxisok) száma véges;
- bár a világító testek száma végtelen, de az univerzum csak egy véges $t$ idő óta létezik, és a távoli testek fénye még nem ért el hozzánk a fénysebesség véges volta miatt;
- véges számú és véges ideig világító test alkotja az univerzumot.

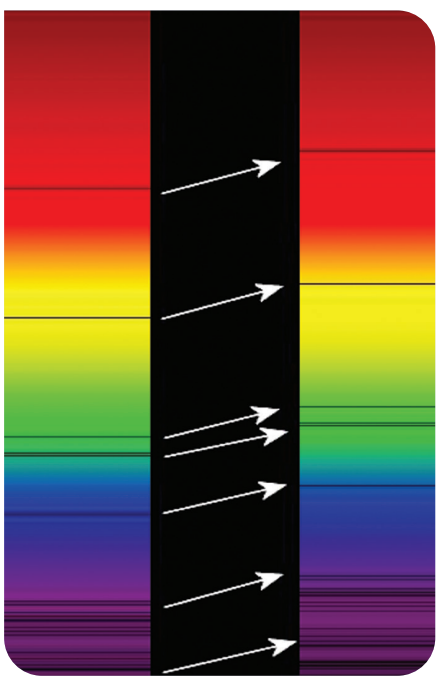
## A görbült tér

A térben és időben véges univerzum megértéséhez a görbült tér fogalmával kell megbarátkoznunk. A görbült teret nehéz elképzelni, ezért egy kétdimenziós példát hívunk segítségül. Képzeljünk el egy sík világot, melyen sík lények élnek. Mivel számukra nem létezik a harmadik dimenzió, aligha tudják elképzelni, hogy a világuk görbült (például ha a sík lapot hengerré hajlítjuk, és távol vagyunk a széleitől). Persze rájöhetnek közvetett jelekből arra, hogy világuk görbült. Például abból, hogy ha sokáig egy irányba mennek, előbb-utóbb visszaérnek oda, ahonnan indultak. Ha elfogadjuk, hogy terünk görbült, elképzelni akkor sem tudjuk, mert nem tudjuk azt a 4. dimenziót érzékelni, amelybe „bele kell, hogy görbüljön". De közvetett tapasztalatokat szerezhetünk terünk szerkezetéről, akár a hengeren lakó kétdimenziós lények előző példánkban.



## Az „ősrobbanás” elmélete

A galaxisok (galaxishalmazok) fénye Edwin Hubble vizsgálata szerint (1929) vöröseltolódást szenved (lásd alább), ami távolodó mozgásuknak köszönhető. Hubble vizsgálataiból kiderült, hogy a távoli galaxisok, galaxishalmazok mindegyike a mi galaxisunktól távolodik, mégpedig annál nagyobb sebességgel, minél messzebb van tőlünk. Hubble eredményeit úgy értelmezhetjük, hogy a galaxisok régebben közelebb voltak egymáshoz. Ez a távolodás véges idővel ezelőtt, kb. 13,7 milliárd éve kezdődött. A távolodás megkezdődésének pillanatát szokták ősrobbanásnak (Big Bang) nevezni. Az elnevezés félrevezető, hiszen a robbanás képzetéhez a térben szétrepülő tárgyak kapcsolódnak, míg az univerzum keletkezésének pillanata a tér keletkezésének pillanata is volt. A világegyetem tágulásának elmélete a térről kialakított képünk megváltoztatására késztet. Nincs értelme ott térről beszélni, ahol nincs anyag, és így a világ anyagának kiterjedése egyben a tér kiterjedését is jelenti. Az idő születésével hasonló a helyzet, a világegyetem keletkezése egyben az idő születése is volt. Ahogy ezt Szent Ágoston megfogalmazta 1600 éve: *Isten a világot nem az időben, hanem az idővel együtt teremtette.*



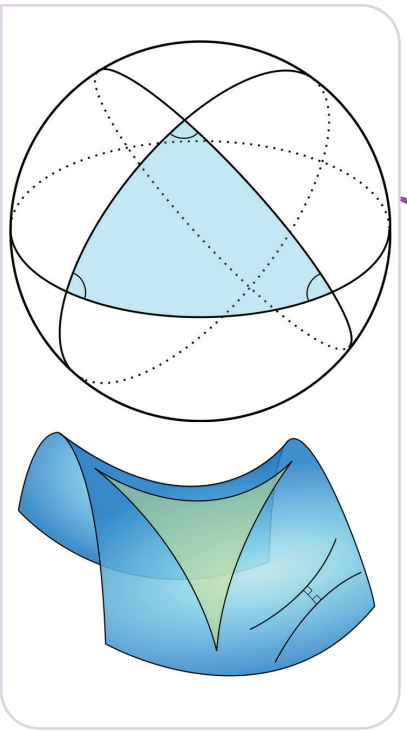
Egy távoli galaxis fényének vöröseltolódása

### Hallottál róla?

Egy vadász elejtett egy medvét, és ott hagyta a tetemét, ahol elejtette. Ezután 5 kilométert délre ment, majd 5 kilométert keletre, végül 5 kilométert északra. Így éppen visszaért a tetemhez. Milyen színű a medve?

A találós kérdés megoldása, hogy a medve fehér, mivel csak az északi sarkponton ejthette el a vadász. Csak ebben az esetben lehetséges ugyanis, hogy hosszúsági és szélességi körök mentén, a megadott égtájakat követve visszaér a kiindulási pontba. (Érdekességként megjegyezzük, hogy – ha eltekintünk a medvétől – létezik más, szellemes megoldás is. Ekkor a déli sarkponthoz olyan közel indul a vadász, hogy 5 km-t délre menve pont egy olyan szélességi körhöz ér, aminek hossza, mondjuk, mindössze 1 km, így 5 km-t folyamatosan keletre haladva 5 „kör” után visszaér oda, ahol elérte ezt a szélességi kört, így innen északra 5 km-re visszaér a kiindulási pontba.) Ha a vadász dél felé az Egyenlítőig ment volna, és ugyanekkora távolságot keletre, majd ismét északra, akkor egy háromszor derékszögű gömbi háromszöget írt volna le! (A gömbi háromszög minden oldalának főkörnek kell lennie, és a szélességi körök közül csak az Egyenlítő az.) A gömbön tehát van olyan háromszög, amiben a szögek összege nem a síkon megszokott 180°.

A gömbi háromszög szögeinek összege 180° és 540° között változhat. Más görbült felületen (például nyeregfelületen) pedig megint más értékhatárokat kapunk. Ha tudósok egyenes vonalban terjedő fénynyel kijelölnek egy háromszöget, és meggyőződnek arról, hogy szögeinek összege nem 180°, akkor ebből felismerhetik, hogy világuk görbült.



Háromszög gömbön és nyeregfelületen

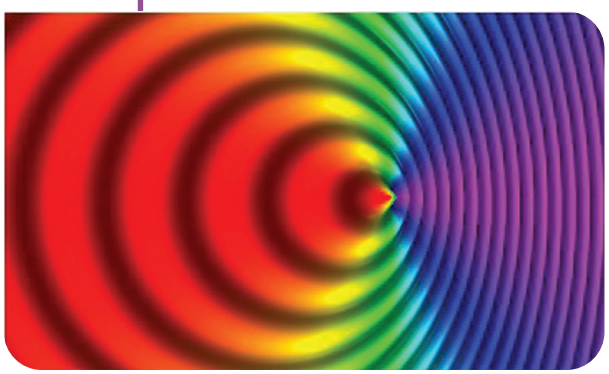
A mindennapi közvetlen tapasztalataink alapján megélt tér nem görbült, geometriája az euklideszi geometria. Ez az a geometria, mellyel az iskolában foglalkozunk, amikor füzetünk sík lapjaira geometriai ábrákat rajzolunk. A klasszikus fizika a teret euklideszi geometriájúnak tekintette. De vajon milyen más geometriák léteznek?

Bár a matematika történetében már korábban is itt-ott felmerült a nemeuklideszi geometria lehetősége, annak létét először egyértelműen Carl Friedrich Gauss, a nagy német matematikus fogalmazta meg. Elsőnek azonban minden bizonnyal Bolyai János erdélyi matematikus írt le matematikai formulákkal nemeuklideszi geometriát az 1820-as évek elején, és elsőként Nyikolaj Lobacsevszkij ismertetett, majd publikált erről szóló cikket 1826-ot követően. Biztosra vehető mindenesetre, hogy Gauss, Bolyai és Lobacsevszkij egymástól függetlenül jutottak forradalmian új gondolataikra. A Bolyai és Lobacsevszkij által felismert hiperbolikus geometriát Bolyai–Lobacsevszkij-geometriának is nevezik.

## Hallottál róla?

**A Doppler-eltolódás**

Ma már három különböző okkal magyarázható vöröseltolódásról beszélhetünk. A legrégebbi ezek közül a Doppler-eltolódással kapcsolatos, ami azon a jelenségen alapszik, hogy ha a hullámforrás és a megfigyelő közeledik egymáshoz, akkor a hullámok összetorlódnak, vagyis az észlelhető hullámhossz kisebb lesz, ha viszont távolodnak egymástól, akkor a hullámok megnyúlnak, a hullámhossz megnő. A fény Doppler-eltolódása csak a forrás és megfigyelő egymáshoz képesti relatív sebességétől függ. Ha a forrás és a megfigyelő közeledik egymáshoz, akkor a hullámhossz a rövidebb hullámhosszúságú kék fény felé tolódik el, ezért ezt kékeltolódásnak nevezzük, ha viszont a forrás és a megfigyelő távolodik, akkor a hosszabb hullámhosszúságú vörös fény felé történik az eltolódás, és ez indokolja a vöröseltolódás elnevezést. A jelenséget Christian Doppler fedezte fel, amikor közeledő és távolodó vonatok füttyét megfigyelve azt észlelte, hogy a közeledő vonat magasabb frekvenciájú füttye mélyebbé válik, amikor a vonat távolodik az állomásról. A jelenségről szóló első, 1842-ből származó publikációjában kiterjesztette az effektust a fényre, azt állítva, hogy a Tejútrendszerben megfigyelhető kettős csillagok fényében észlelhető kék és vörös színárnyalatot ez a jelenség okozza, hiszen az egymás körül keringő és éppen felénk közeledő csillag fénye kékebbnek, a tőlünk távolodó vörösebbnek látszik. Azóta nagyon sok ehhez hasonló jelenséget figyeltek meg, és ez igen sok értékes adathoz juttatta a csillagászokat a Tejútrendszerhez tartozó csillagok mozgásáról.



A fényforrás balról jobbra mozog, tehát a könyvlap jobb széle felé közeledik (kékeltolódás), a bal szélétől távolodik (vöröseltolódás)

## Galaxisok fényének vöröseltolódása

A galaxishalmazok fényének vöröseltolódása azt jelenti, hogy a beérkező fényt nagyobb hullámhosszúnak látjuk, mint amilyen kibocsátásakor volt. De honnan tudható, hogy más volt a kibocsátott fény hullámhossza, mint az észlelt? Erre a fényben fellelhető színképvonal-mintázat elhelyezkedéséből következtethetünk. A csillagok anyagának jellegzetes színképvonalait megtaláljuk az észlelt fény színképében, de a nagyobb hullámhosszak felé tolódva (lásd előző oldali ábra).

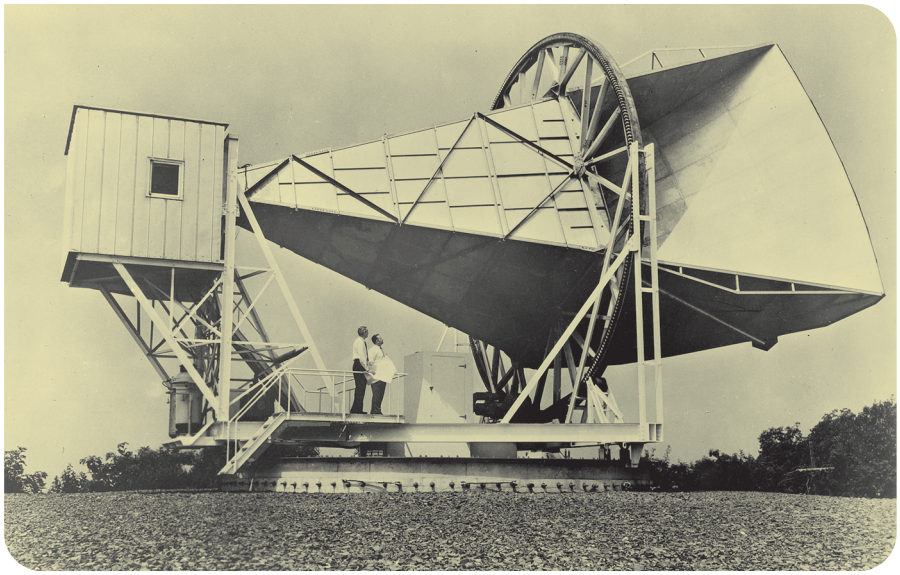
## Robbanás vagy tágulás?

Hubble különböző távolságokban lévő galaxisok színképét vizsgálta, és ahogy az előzőekben már leírtuk, azt találta, hogy a vöröseltolódásukból számítható távolodási sebességük egyenesen arányos a távolságukkal. Mind a mai napig szokás ezt úgy értelmezni, mintha a galaxisok egy pontból repülnének szét különböző sebességgel, tehát ha visszafelé játszanánk le az erről készült filmet, akkor a galaxisok ugyanabba a pontba futnának be. Ezzel a szemléletes, ámde hibás képpel könnyen értelmezhetjük a 13,7 milliárd évvel ezelőtt bekövetkezett ősrobbanást. Ez a leírás azért is hibás, mert nem lehet kijelölni a térben egy pontot, ahol megtörtént az ősrobbanás. Megmutatható, hogy nem lehet meghúzni a galaxisok sebességvektorát az abszolút térben (hiszen nincs is ilyen), hogy ezeknek a vektoroknak a közös metszéspontja kijelölje számunkra az ősrobbanás helyét. Ahogy a kvantumfizika megmutatta, hogy a mikrovilágban a hely és a sebesség fogalma nem írható le úgy, mint ahogy azt az emberi léptékű mindennapi világunkban megtanultuk, ugyanígy az univerzum nagy léptékű leírásakor sem használhatjuk minden további nélkül az általunk megszokott hely és sebesség fogalmakat.

A kozmológusok mai elképzelése szerint a távoli galaxisok vöröseltolódása nem nagy sebességű távolodó mozgásuk következménye, hanem maga a tér tágul, és így a fény hullámhossza megnövekszik (megnyúlik) a tér tágulásával, ami a fény vörösebbé válásaként figyelhető meg. Ha a világegyetem az összehúzódás állapotában lenne, akkor a távoli galaxisok fénye a kék felé tolódna. A távoli galaxisok vöröseltolódása teljesen úgy látszik, mintha a távoli galaxisok távolodnának, az általános relativitáselmélet szerint viszont a távolodás és a tér tágulása két különböző dolog. A távoli galaxisokra ne úgy tekintsünk, mint amelyek távolodnak tőlünk, hanem úgy, hogy a közöttünk lévő tér tágul. Ennek ellenére néha a hivatásos csillagászok is kissé pongyolán „távolodási sebességről” beszélnek a vöröseltolódás esetében. A vöröseltolódásnak ezt a távoli galaxisokra megfigyelhető formáját tehát nem a Doppler-eltolódás okozza, hanem a tér tágulása, és ezt **kozmológiai vöröseltolódás**nak nevezzük.

## Kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás

Az ősrobbanás-elmélet alapján 1948-ban az elméleti fizikusok egy csoportja megjósolta, hogy az univerzumot minden irányból **mikrohullámú kozmikus háttérsugárzás** kell, hogy kitöltse. A háttérsugárzást 1965-ben

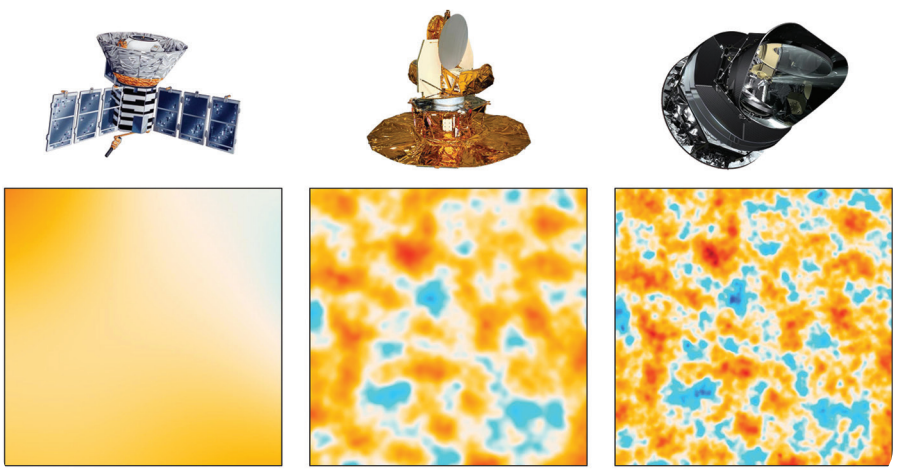


A BELL Telefontársaság 15 méteres antennája, amellyel felfedezték a háttérsugárzást

a Bell Telefontársaság két munkatársa, Arno Penzias és Robert Wilson fedezte fel, miközben műholdas kommunikáció céljaira fejlesztett antennát próbáltak ki. 1978-ban Nobel-díjat kaptak felfedezésükért.

A kozmikus háttérsugárzás pontos térbeli eloszlását a COBE műhold segítségével 1989 és 1996 között térképezték fel, és kimutatták, hogy a sugárzás nagymértékben egyenletes, annak az elképzelésnek megfelelően, hogy a sugárzás akkor keletkezett, amikor az univerzumot nagyjából 3000 K hőmérsékletű hidrogéngáz egyenletesen töltötte ki. A tér tágulásának következtében a sugárzás hullámhossza jelentősen megnőtt (lásd kozmológiai vöröseltolódás). Ez a nagyobb hullámhosszú sugárzás a korai hidrogéngáz hőmérsékleténél jóval alacsonyabb, 2,725 K hőmérsékletű anyag sugárzásának felel meg. Ilyen értelemben beszélhetünk a sugárzás hőmérsékletéről, s ezért mondhatjuk azt, hogy a világűr hőmérséklete jelenleg 2,725 K. Fontos hangsúlyozni, hogy az univerzum lehűlése nem olyan, mint amikor a forró tea kihűl a téli hidegben, nem történik hőátadás a környezet számára. A sugárzás hőmérsékletének csökkenése a tér tágulásának következménye.

A COBE-vel mért százezredrésznyi ingadozások a különböző irányból észlelt sugárzás hőmérsékletében a világegyetem keletkezésének időszakában létezett tömegsűrűség-ingadozások nagyságáról adnak felvilágosítást. A mikrohullámú háttérsugárzással kapcsolatos mérések és elméleti következtetések összehangolásáért két amerikai fizikus, John C. Mather és George F. Smoot kapott 2006-ban Nobel-díjat. A kutatást 2001–2010 között a NASA által felküldött **WMAP**, majd 2009–2010 az ESA (Európai Űrügynökség) által felküldött **Planck-szonda** folytatta, egyre jobb felbontást elérve. Az adatok 2014 óta nyilvánosak.

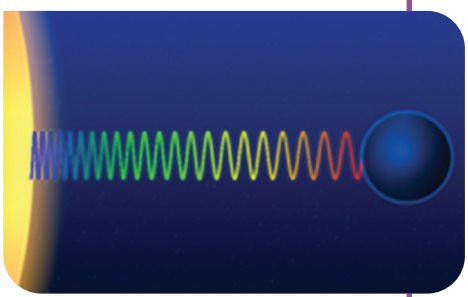



A felbontás fejlődése

## Hallottál róla?

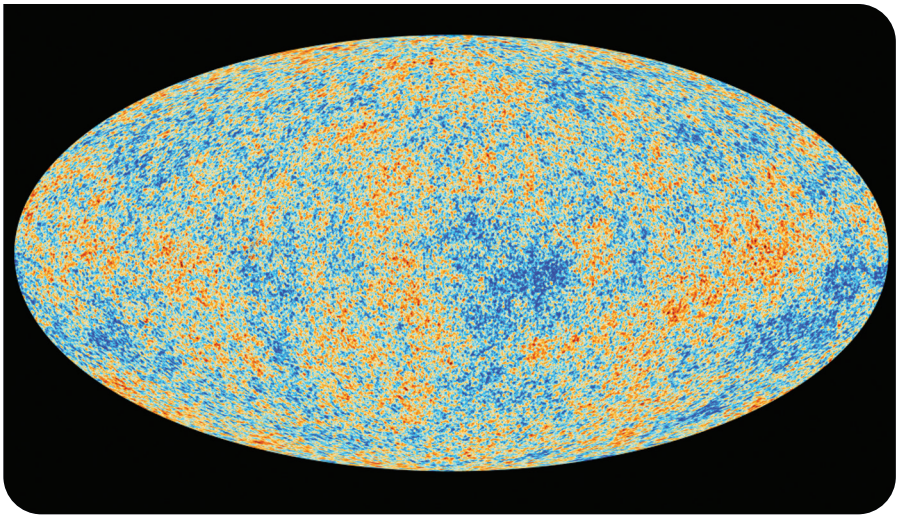
**Gravitációs vöröseltolódás**

Létezik még egy harmadik formája is a vöröseltolódásnak, amit gravitációs vöröseltolódásnak neveznek. Az általános relativitáselmélet szerint az erős gravitációs téren keresztülhaladó fény vörös- vagy kékeltolódást szenvedhet, mivel a fotonok helyzeti energiájának változása a gravitációs térben – a fotonelmélettel és az energiamegmaradással összhangban – a hullámhosszuk változásával jár együtt. Ezt Einstein-eltolódásként ismeri a szakirodalom.



Egy test felszínéről elinduló fény gravitációs vöröseltolódást szenved

Ez a hatás a Földön nagyon kicsi (mert a földi gravitációs tér gyenge, de rafinált méréstechnikával kimérhető). Azonban a fekete lyukak környezetében nagyon jelentős: azoknak a testeknek, melyek elérik az eseményhorizontot, a vöröseltolódása végtelenné válik.



Az univerzumról eddig készült legjobb térkép – a Planck-szonda adataiból összeállított kép a legősibb fényt mutatja a világegyetemben, a kozmikus háttérsugárzást

## A tér és az idő a modern természettudomány értelmezésében

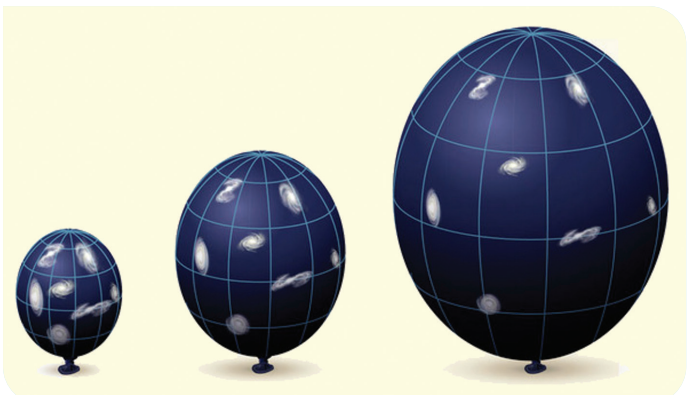
A térről és az időről vallott modern természettudományos ismereteinket az alábbiakban foglalhatjuk össze:

1. A tér és az idő együtt létezik az anyaggal. Nincs anyag tér és idő nélkül, de tér és idő sincs anyag nélkül. Az anyag és a téridő megfigyelt tartományának történetét az egyre nagyobb hőmérsékletek, egyre nagyobb anyagsűrűségek korszakáig tudjuk visszakövetni. Ezen történet elméleti meghosszabbítása, egyfajta „kezdete", egy végtelen anyagsűrűséggel és végtelen térbeli görbülettel jellemzett „pillanat", amelyet ősrobbanásnak neveznek. A kozmológiai kutatások fő kérdése, hogy mennyire esik közel a világegyetem valóságos korai története ehhez az idealizált pillanathoz.
2. A tér szerkezetét helyi szinten (lokálisan) meghatározza a benne lévő anyag, az anyag maga körül deformálja, meggörbíti a teret. Így az anyag környezetében az általános relativitáselmélet szerint a tér görbült.
3. A világegyetem terének egésze vagy görbült, vagy nem görbült. Ha görbült a tér, lehet végtelen vagy véges, de határtalan. A végesség és végtelenség, a görbültség és görbületlenség kérdéseit a világegyetem legnagyobb méretskálán észlelt tömegeloszlásának ismeretében, fokozatosan növekvő pontossággal, a kozmikus háttérsugárzás elemzésével válaszolják meg a kutatók. A térbeli görbület értéke nagyon nagy pontossággal nulla, tehát e tér euklideszi.

### Hallottál róla?

**Hogyan mozognak a galaxisok?**

A galaxisok mozgása a tágulóuniverzum-modellben csak látszólagos. Ha a galaxisokat a tér egy adott pontjához rögzítenénk erős horgonnyal, akkor a horgonykötél a tér tágulása során sosem feszülne meg, ahogy a léggömb felületére tett pöttyök sem vándorolnak sehová. A galaxisok tehát az univerzum tágulását leíró modellben valójában nem mozognak, a tér tágul. Ez persze nem jelenti azt, hogy a galaxisok nem mozoghatnak a térben. Például az Andromédaköd és Tejútrendszerünk közeledése nem függ össze az univerzum tágulásával.



## A tér tágulásának szemléletes képe

Ha egy léggömb felületét egyenletesen bepöttyözzük, majd a léggömböt felfújjuk, a fújás közben a felületén lévő pontok távolodnak egymástól. A távolodás sebessége annál nagyobb lesz, minél messzebb van egymástól a vizsgált két pont. A pontok egyike sem tekinthető a távolodás középpontjának. A hasonlat segítségével jól értelmezhetők az univerzum tágulásának egyes jellegzetességei, de a megértést nehezíti, hogy a léggömb tágulása térben történik. Az ősrobbanás elmélete szerint maga a tér tágul.

## A gravitációs hullámok

A 2015-ös év legnagyobb tudományos szenzációja az Einstein által megjósolt gravitációs hullámok felfedezése volt. Például fekete lyukak összeolvadása során a gravitációs térben nagymértékű változások lépnek fel. Ez azt jelenti, hogy a tér görbülete megváltozik, s ez a változás hullámot indít el a térben. Az így létrejövő gravitációs hullám fénysebességgel terjed, de mivel nagyon gyenge hatásról van szó, csak különlegesen érzékeny műszer érzékelheti. Az 1992 óta fejlesztett gravitációs hullám detektor, a LIGO 4 km-es, egymásra merőleges karjaiban lévő tükrök között 400-szor fut végig egy nyalábosztóval kettébontott fénysugár, mire ismét egyesül (interferenciára lép) egymással. A gravitációs hullám okozta minimális tértorzulás ezt az interferenciaképet befolyásolja. Hogy a hullám hatása biztosan elkülöníthető legyen a környezeti „zajoktól", két ilyen berendezés is készült az egyik Hanfordban, Washington államban, a másik Livingstonban, Louisiana államban. A két detektor között 3000 km távolság van. A LIGO azóta többízben észlelt gravitációs hullámokat, s azóta egyes mérésekben együttműködik európai társával, a 3 km-es karokkal rendelkező, Pisa melletti Virgo detektorral. Az ötletért és kivitelezésért 2017-ben hárman kaptak Nobel-díjat, de az első gravitációs hullám észlelés 600 tudós együttműködésével valósult meg, köztük Budapesten és az Egyesült Államokban magyar kutatókkal.

### Hallottál róla?

A pontosabb mérések kimutatták, hogy az ismert tulajdonságú anyagfajtákkal (elektromágneses sugárzás, elemi részecskék) nem értelmezhető az univerzum mai állapota. A probléma feloldását az a feltételezés jelentette, hogy az univerzum korai szakaszában, a $t = 10^{-32}$ s előtt egy különleges állapotú anyagfajta (inflaton) hatására egy kis ideig az univerzum méretskálája rendkívül gyorsan tágult. Az univerzumbeli távolságok ebben a korszakban az inflációt megelőző méretek $10^{20}$–$10^{30}$-szorosára fúvódtak fel. Az inflációs folyamat az inflaton kvantummechanikai tulajdonságaival értelmezi az univerzum megfigyelt anyagának szinte tökéletesen egyenletes eloszlását az első galaxisok kialakulása előtt, továbbá a legnagyobb távolságokon tapasztalt térbeli görbületmentességet.

A hipotetikus inflaton szerepét játszó anyagfajta megtalálása a jövő feladata. Az inflációs „felfúvódási szakasz" tényét ma már elfogadják a fizikusok, de pontos mechanizmusát még vizsgálják.

### Gondold meg!

**A szegény emberek részecskegyorsítója**

A korai univerzumban lezajló folyamatokat a részecskefizikai standard modell alapján lehet tanulmányozni. Ezekről az állapotokról mind pontosabb betekintést adnak az egyre távolabbra néző távcsöveink. Hiszen a milliárd fényév távolságra lévő objektumok univerzumunk évmilliárdokkal ezelőtti állapotáról számolnak be.

Az univerzum korai szakaszának vizsgálata alkalmas lehet a standard modell ellenőrzésére mindaddig, amíg erre a mind nagyobb teljesítményű részecskegyorsítók alkalmasak nem lesznek. (Jelenleg még körülbelül 10 nagyságrend a lemaradás.) Erre a lehetőségre hívta fel a figyelmet ironikusan Jayant Narlikar indiai kozmológus, amikor a korai univerzumot a szegények részecskegyorsítójának nevezte. Ugyanakkor az univerzum korai szakaszára vonatkozó elképzelések hatékonyan ellenőrizhetők megfelelő részecskegyorsítók segítségével. Ebben a tekintetben a 2009-ben a CERN által üzembe helyezett LHC-től is komoly eredményeket várnak. Ezen eredmények egyik legfontosabbika, a standard modell Higgs-bozonjának felfedezése volt 2012-ben.

## AZ UNIVERZUM TÁGULÁSA ÉS A SÖTÉT ENERGIA *(Olvasmány)*

Az univerzum, amennyiben zömében gravitáló anyag alkotja, lassulva kellene, hogy táguljon, hiszen a gravitációs vonzás a galaxisok, galaxishalmazok között azok egymástól való távolodása, az univerzum tágulása ellen hat. Ezzel szemben a mérésekre alapított tapasztalataink szerint a világmindenség távolságléptéke gyorsulva nő, azaz a galaxishalmazok egymástól való távolodásának üteme az időben növekszik. A gyorsuló tágulásra magyarázatul szolgálhat az úgynevezett sötét energia, ami képes kompenzálni a hagyomá-

nyos anyagban ébredő gravitációs vonzást. Jelenlegi ismereteink szerint az univerzum anyag-energia eloszlásának 68–72%-át teszi ki a sötét energia. Hogy mi van a jelenség hátterében, és mi okozza a világegyetem gyorsuló tágulását, azaz milyen a csak gravitációs hatása révén azonosítható sötét energia természete, a jelen kor kozmikus kutatásainak egyik legfontosabb kérdése, melynek megválaszolása a gravitáció természetének megértéséhez vezethet közelebb. Az univerzumunk anyagának mindössze 4%-át tudjuk közvetlenül megfigyelni. A további jelentős rész az úgynevezett sötét anyag, mely szintén csak gravitációs hatása alapján azonosítható, de a szokásos newtoni gravitációs erőhatást fejti ki.

## NE FELEDD!

**A világegyetem 13,7 milliárd évvel ezelőtti feltételezett keletkezését ősrobbanásnak nevezzük. Az elnevezés annyiban megtévesztő, hogy nem robbant fel semmi, hanem az anyag és a tér tágulni kezdett. Ennek következtében a később létrejött galaxisok (galaxishalmazok) egymástól mért távolsága ma is folyamatosan növekszik. A tér tágulása egyben azt is jelenti, hogy minden galaxis minden galaxistól távolodik, és annál nagyobb sebességgel, minél messzebb vannak egymástól. Nincs középpont, vagy ha úgy tetszik, a világegyetem minden pontja 13,7 milliárd évvel ezelőtt középpont volt. Az elméletet Hubble megfigyelései alapozták meg a galaxisok fényének vöröseltolódásáról, amit később a minden irányból érkező kozmikus háttérsugárzás ténye megerősített.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hogyan nyerhetünk információt az univerzum korai állapotairól?
2. Mik voltak Edwin Hubble életének legfontosabb állomásai?
3. Mit jelent a vöröseltolódás fogalma?
4. Milyen vöröseltolódáshoz hasonló jelenség figyelhető meg a hangok birodalmában?
5. Milyen következtetéseket vont le Hubble a galaxisok fényének vöröseltolódásából?
6. A vöröseltolódáshoz hasonlóan létezik a színképvonalak kékeltolódása is. Vajon hogyan mozognak hozzánk képest azok az objektumok, melyek színképvonalai kékeltolódást szenvednek?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mekkora a tágulás ütemét leíró Hubble-állandó, és jelenlegi tudásunk szerint hogyan változik értéke az időben?
2. Mi volt a világegyetem születése előtt, azaz például 14 milliárd éve? Miért hibás a kérdésfeltevés?
3. Hol van jelenleg az a hely, ahonnan a tágulás kiindult? Miért hibás a kérdésfeltevés?
4. Hogyan lehetséges, hogy a galaxisok távolodnak egymástól, de nem mozognak?
5. Mit jelent a következő állítás? Az univerzum nem térben tágul, hanem az univerzum tere tágul.
6. Mi a jelentősége a mikrohullámú háttérsugárzás felfedezésének az ősrobbanás-elmélet szempontjából?
7. Van-e abszolút vonatkoztatási rendszer az univerzumban?
8. Távolodhatnak-e a galaxisok egymástól fénysebességnél gyorsabban?
9. Nézz utána, hogy mekkora hányada belátható a jelenlegi univerzumnak!
10. Bolyai János erdélyi matematikus milyen alapvető felfedezést tett, melyről így emlékezett meg: „A semmiből egy más, új világot teremtettem”? Mi Bolyai János felfedezésének jelentősége az ősrobbanás-elmélet megértése szempontjából?

# 57. | Utazhatunk-e az időben?

**EMLÉKEZTETŐ**

Mikor a kozmosz távolabbi rétegeit vizsgáljuk, akkor a fény véges sebessége miatt a múltat látjuk. Ilyen értelemben közvetlen információkat szerezhetünk a múltról. Aki a távolba néz, az a múltba néz. Az így szerzett tapasztalatok egyúttal meggyőzően szemléltetik a tér és idő szétválaszthatatlanságát. Téridőben élünk!

*Mindnyájunk fejében megfordult már, hogy milyen jó lenne visszaforgatni az idő kerekét, és meg nem történtté tenni valamit, ami megtörtént. Számos film és irodalmi alkotás dolgozta fel ezt a lehetőséget és következményeit. De vajon az időutazás csak technikai fejlettség kérdése, és a jövőben valósággá válhat?*

## Utazás a jövőbe

A speciális relativitáselmélet az űrutazással kapcsolatban sajátos problémát vet fel. Mivel a mozgó vonatkoztatási rendszerekben (például egy a Földtől nagy sebességgel távolodó vagy ahhoz közeledő űrhajóban) lassabban telik az idő, mint a Földön, azért ha egy ilyen űrhajóval elhagyjuk a Földet, és később visszatérünk, előrébb juthatunk a Föld jövőjében, mint amennyi időt az utazások alatt éltünk, vagy másképpen, amennyi idő az utazásaink során eltelt. Mindez nem jelenti azt, hogy ilyen módon visszafelé is mozoghatnánk az időben. Mindössze arról van szó, hogy indulásunk és érkezésünk, e két téridőbeli esemény között eltelt idő nem ugyanannyi mindenki számára, hanem függ a megfigyelők mozgásállapotától. Ha az űrhajós sebessége az oda- és visszaútban is a fénysebesség 86%-a, akkor feleannyit öregedett az űrutazás során, mint a Földön maradt társa.

## Kinek hosszabb az élete?

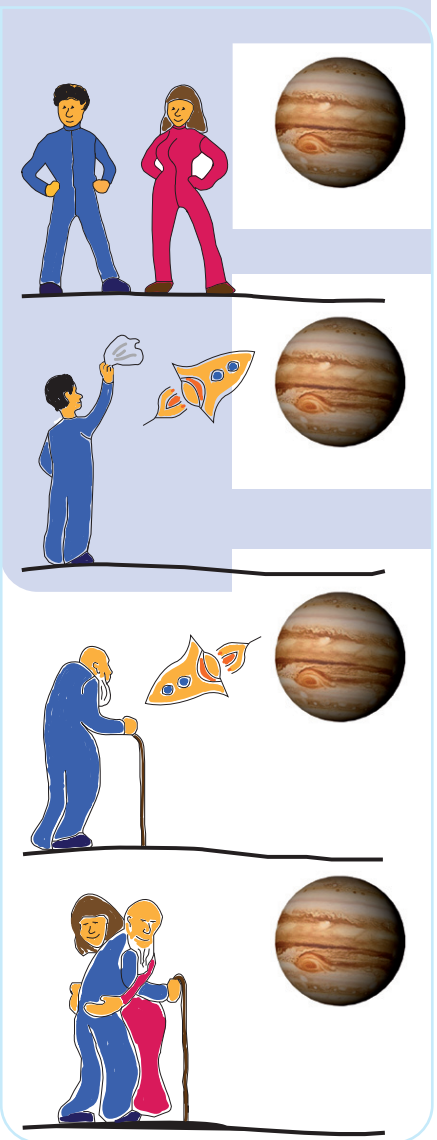
Tegyük fel, hogy a példánkban szereplő emberek ikrek. Egyszerre születtek, de egyikük nagy sebességű űrutazását követően már nem egykorúak lesznek. Mindez nem jelenti azt, hogy eltérő módon öregedtek, a nagy sebességű űrutazás nem egyfajta életelixír. Az öregedés biológiai folyamat, és mértéke arányos az eltelt idővel. Az ikerpár űrhajósa testvérével való újbóli találkozásáig kevesebbet élt, mint idősebb testvére, ezért maradt fiatalabb. Egy kicsit olyan ez a helyzet, mintha az indulás és érkezés között az űrhajós életének filmje lassabban pergett volna.

## Mit állítunk tehát az időről?

Az elmondottak alapján az idő nem abszolút, azaz nem ugyanannyi telik el két esemény között egymáshoz képest mozgó megfigyelők számára. A dolog ahhoz hasonlítható, mintha Miskolcról Szegedre különböző utakon jut el két ember. Egyáltalán nem meglepő, hogy nem azonos hosszúságú utat tesznek meg.

## Meddig él egy müon?

A Föld légkörének felső rétegeiben a kozmikus sugárzás hatására müonok jönnek létre, melyek a Föld felszíne felé tartanak. Mivel a müonok könnyen elbomlanak, ezért – bár közel fénysebességgel haladnak – a klasszikus fizika szerint nem érhetik el a Föld felszínét. Csakhogy a földi megfigyelők szerint a



Az űrutas fiatalabban tér vissza az ikertestvérénél

müonok élettartama meghosszabbodik (dilatálódik) a nyugalmi rendszerükben mérhetőhöz képest (nagy sebességüknek köszönhetően), azaz egy részük eléri a földfelszínt, és észlelhetővé válik. De hogy néz ki mindez a müonok „szemszögéből”? Ebből a nézőpontból a Föld–müon-távolság fog a „összezsugorodni” (kontrahálódni), és így a müonbomlásig eltelt, a müon nyugalmi rendszerében átlagosan rövidebb idő elegendő lehet a zsugorodott távolság megtételéhez. Azaz mindkét magyarázat lehetőséget teremt arra, hogy megvalósuljon az, amit a klasszikus fizika tiltana, azaz hogy a müonok egy része elérje a földfelszínt. A relativitás lényege, hogy egyik magyarázat sem jobb a másiknál, így nézőpont (vonatkoztatási rendszer) kérdése, viszonylagos („relatív”), hogy a bekövetkező eseménysort a tér vagy az idő mérésének sajátosságával értelmezzük. Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy mindkét egyenértékű leírásban azonos mennyiségű müon éri el a Földet, azaz nem a valóság a viszonylagos („relatív”), hanem annak leírása.

## Az idő és a sebesség kapcsolata

Ha hozzánk képest mozog valaki $v$ sebességgel, akkor megítélésünk szerint az ideje $k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$-szer lassabban telik, ahol c a fény sebessége. A képlet alapján, ha valaki fénysebességhez közeli sebességgel halad, ideje nagymértékben lelassul. A hozzánk képest mozgó megfigyelő szerint az ő ideje telik normálisan, és azt feltételezi joggal, hogy a miénk lassult le. Álló időt nem kaphatunk, mivel semmit sem lehet fénysebességre felgyorsítani.

## A relativitáselmélet paradoxonjai (látszólagos ellentmondásai) – az ikerparadoxon

A relativitáselmélet legismertebb paradoxonja az ikerparadoxon. Nem az a paradoxon, hogy találkozáskor az ikerpár tagjai nem egykorúak. A probléma az, hogy az űrhajós vonatkoztatási rendszeréből nézve a Föld távolodott el, majd fordult meg és közeledett az űrhajó felé, s az űrhajó maradt nyugalomban. Ennek alapján pedig azt feltételezheti űrhajósunk, hogy a Földön maradt ikertestvérének kellene fiatalabbnak lennie a találkozáskor, hiszen ő mozgott. A paradoxon feloldása azon alapszik, hogy aszimmetriát fedezhetünk fel az ikerpár otthon maradt és űrhajóra szállt tagjával történt eseményekben. A különbség a két megfigyelővel történtek vonatkozásában az, hogy míg az otthon maradó testvér nem változtatta meg a mozgásállapotát (nem gyorsult valójában), hiszen a Földön tartózkodott, addig űrhajós testvérének induláskor gyorsítania, a visszafordulásnál lassítania kellett, majd ugyanezt kellett tennie a visszaút során is, űrhajójának hajtóműveit bekapcsolva.

Az 1985-ös *Vissza a jövőbe* című film ihlette londoni graffiti

## Vissza a múltba?

Első példánk mindkét szereplője előre ment az időben, de nem azonos ütemben tették ezt. Számos kísérlet bizonyította ennek a példának a realitását. De vajon lehet-e visszafelé menni az időben? A relativitáselmélettel nincs ellentmondásban az az elképzelés, hogy a görbült téridőben „hidak”, „alagutak” keletkeznek, melyeken áthaladva a téridő más tartományaiba juthatunk. Az időre a gravitációs tér is hatással van. A fekete lyukak környezetében erősen megggörbülő téridő képezhet egyes elméletek szerint ilyen alagutat. Az ötletet a fantasztikus irodalomban és a filmekben gyakorta kihasználják. Az a tény,

hogy ez az ötlet nincs ellentmondásban egy sikeres elmélettel, nem feltétlen jelenti azt, hogy féreglyukak valóban léteznek a természetben.

### Milyen érvek, érveink lehetnek az időutazással szemben?

Ha vissza lehetne térni a múltba, akkor meg lehetne változtatni azt. A változtatás pedig átírhatná azt a jelent, ahonnan elindultunk. Ebben az esetben „megsérülhetne" az oksági elv logikája, azaz az okok és következmények láncolata, amelyre tudományos megismerésünk eljárásrendszere épül.
Ha a múltba való visszatérés nem változtatná meg a jelent, akkor az időutazó saját megsokszorozódásával kell, hogy számoljon. Hiszen ha visszaér a múltba, magát is ott találja, mi több, akár számtalan példányban. Ugyanis a visszatérés pillanata újból és újból eljön, és a visszatérő újból és újból visszatér. Az idő ezen furcsa ciklusai igencsak próbára teszik a józan észt.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mutasd meg, hogy az idő lassulásának képlete értelmetlen fénysebességgel való mozgás esetén!
2. Hogyan használnád ki az idő most megismert természetét, ha megfelelő technikai lehetőségek állnának rendelkezésedre?
3. Óvatosan kell megfogalmaznunk minden állításunkat a relativitáselmélettel kapcsolatban. Miért hibás az az állítás, hogy ha egy óra mozgásban van, akkor lassabban jár?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy ikerpár születésnapja február 28-án van. Megünneplik a 20.-at együtt, majd egyikük 40. születésnapját is együtt töltik. Mit jelent az, hogy a két születésnap között nem feltétlen ugyanannyit öregedtek?
2. Hétköznapi szóhasználatban mit értünk azon, hogy valaki lassabban öregszik? Mennyiben van ennek köze a relativitáselmélet időképéhez? Mit jelent ez a kijelentés a speciális relativitáselméletben?
3. Egy utasszállító repülő sebessége elérheti a 300 m/s sebességet. A géppel 15 000 km messzire utazunk. Mennyivel kevesebb idő telik el érkezésünkig a mi óráink szerint, mint a Földön maradottak órái szerint?
4. A klasszikus fizika elvei alapján mennyi idő alatt lehetne a fénysebesség tizedrészére felgyorsulni 1,5 g gyorsulás mellett?
5. A fénysebesség tizedével haladva 10 évig, majd visszatérve a Földre mennyivel lennénk fiatalabbak, mint Földön maradt ikertestvérünk?
6. Az ikrek közül az, aki a Földön maradt, 40 évet öregedett. Mennyit öregedett űrutas ikertestvére, ha 86%-os fénysebességgel haladt az űrhajója?
7. Két űrhajó távolodik a Földtől egyaránt 0,86 fénysebességgel, ellentétes irányban. Egyszerre indultak el, majd 10 földi év múlva egyszerre visszafordulnak, és egyszerre érnek vissza a Földre. Kinek mennyi ideje telt el az indulás és visszatérés között?
8. Mit jelent az az állítás, hogy a múltba való utazás lehetősége kérdésessé teheti az oksági elv érvényességét? Mondj egy példát!
9. Milyen ellentmondásokra vezetne, ha lehetséges volna visszatérnünk a múltba?
10. Keress példákat ilyen, fel nem oldott ellentmondásokra az általad ismert filmek valamelyikében!

## NE FELEDD!

**Az idő egy irányban zajló folyamat. Mindnyájan időutasok vagyunk, és az időben előre, a múlt felől a jövő felé haladunk. A speciális relativitáselmélet szerint két téridőbeli pillanat, két esemény között eltelt idő hossza nem abszolút, azaz nem független a megfigyelők mozgásától, hanem relatív, a megfigyelők mozgásától függő. Ez az állítás nem jelenti azt, hogy a különböző megfigyelők másképpen öregednek, másképpen élik meg az idő múlását. Ugyanakkor a természet ezen tulajdonsága révén értelmezhetővé válnak olyan jelenségek, melyeket a newtoni fizika nem tud értelmezni. A relativitáselmélet nem azt jelenti, hogy a természetről nem tudunk megfigyelőktől független állításokat megfogalmazni. Pusztán annyit jelenthetünk ki, hogy míg például az idő megfigyelőktől független mennyiség a newtoni fizikában, addig megfigyelőtől függő mennyiség, azaz nem abszolút a relativitáselméletben.**

# 58. | Van-e élet a Földön kívül?

*Vajon a hozzánk hasonló értelmes lények a hatalmas világegyetemben a Földön kívül is előfordulnak? Az élet gyakori jelenség az univerzum milliárdnyi bolygóján, vagy kivételes dolog, ami csak a Földön jöhetett létre? Ha kivételes, miért az emberiség a „kiválasztott”?*

**EMLÉKEZTETŐ**

Galaxisunkat, a Tejútrendszert csillagok milliárdjai népesítik be. Az univerzumban galaxisok milliárdjait találhatjuk. A hozzánk legközelebbi galaxis, az Androméda-köd kétmillió fényévre található tőlünk.

A Titán légköre valódi színekben – a Cassini-űrszonda 2005-ös felvétele 9500 km távolságból

## Élet a Földön kívül?

A Földön kívüli élet gondolata egyidős azzal a tapasztalattal, hogy a Földön kívül is vannak égitestek. Minél jobban megismerjük a világegyetemet, annál több helyszínét ismerhetjük meg a lehetséges életnek. Ezzel egy időben egyre pontosabb képet nyerünk közvetlen bolygókörnyezetünknek, a Naprendszernek a bolygóin és holdjain uralkodó mégoly kezdetleges élet lehetőségeiről.

## A Földön kívüli élet létezésének esélye

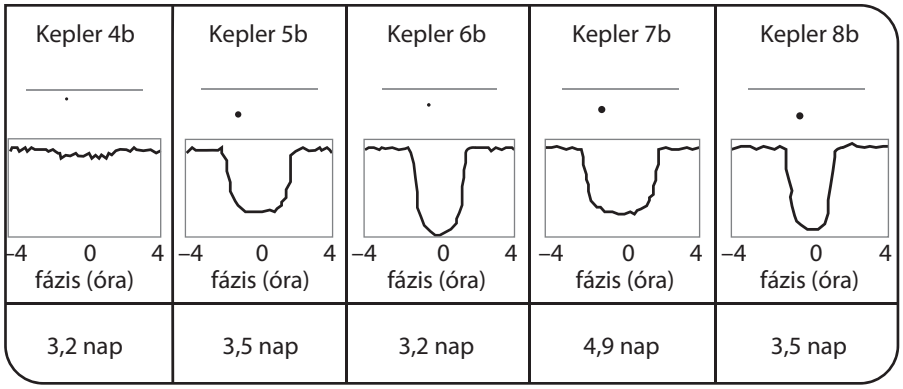
Mivel galaxisok milliárdjai, és azokban csillagok milliárdjai népesítik be univerzumunkat, a tudósok egy része meg van győződve arról, hogy az univerzum számos helyén létrejött az élet valamilyen formája. Vannak viszont, akik az élet egyediségében hisznek. Tudományos bizonyíték egyik elképzelés mellett sincs. Az élet egyediségének elve tudományos szempontból nehezebben elfogadható és bizonyítható állítás, mint az élet sokfelé való elterjedésének gondolata. Persze, ez önmagában nem bizonyít semmit.

## Hol lehet élet a Naprendszerben?

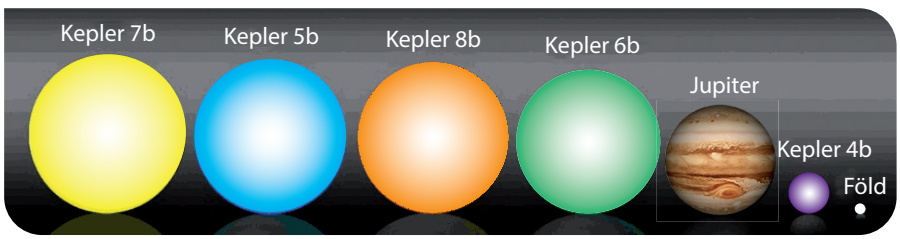
A tudósok az egysejtű élet nyomait keresik a Mars felszínén, a Földre hulló meteoritokban, a Jupiter, a Szaturnusz egyes holdjain. A földihez hasonló élet létrejöttének esélye ott tűnik nagyobbnak, ahol van folyékony halmazállapotú víz, illetve vannak szénalapú összetett molekulák is. Ezenkívül a földihez hasonló élet fontos összetevői a nitrogén-, a kén- és a foszfortartalmú vegyületek. A Mars felszínén egykor folyók hömpölyögtek, és a felszíne alatt minden bizonnyal folyékony víz található; légkörében metán van, így a bakteriális szintű élet egyik potenciális színtere lehet. Folyékony víz jelenlétére számítanak még a csillagászok a Jupiter Európa nevű holdjának jégrétege alatt, illetve a Szaturnusz Titán nevű holdján, melynek légköre is van. A vizet itt is a felszín alatt várhatjuk, mert a Naptól vett nagy távolság miatt a felszíni hőmérséklet nagyon alacsony.

## Élet a Naprendszeren kívül

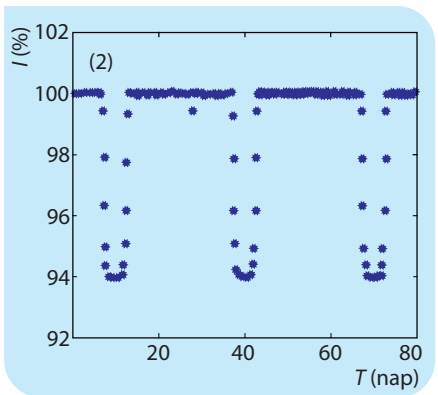
Mai tudásunk szerint számtalan csillag körül keringenek bolygók. A Naphoz hasonló csillagok legalább 10%-a bolygórendszerrel rendelkezik. Azokat a bolygókat, melyek nem a Nap, hanem egy másik csillag körül keringenek, exobolygóknak nevezzük. Az exobolygók kutatása napjainkban felgyorsult. Az első exobolygót 1989-ben találták. Az exobolygók felfedezésére fejlesztett Kepler-űrtávcső 2014 végéig több mint 1700 exobolygót fedezett fel. Az exobolygók azonosításának legegyszerűbb módja a csillagok fényességingadozásainak vizsgálata. Ennek ugyanis oka lehet az, hogy a csillag előtt elvonuló bolygó ideiglenesen takarja annak egy részét (részleges csillagfogyatkozást idéz elő). A magyar csillagászok aktívan vesznek részt az exobolygók kutatásában.



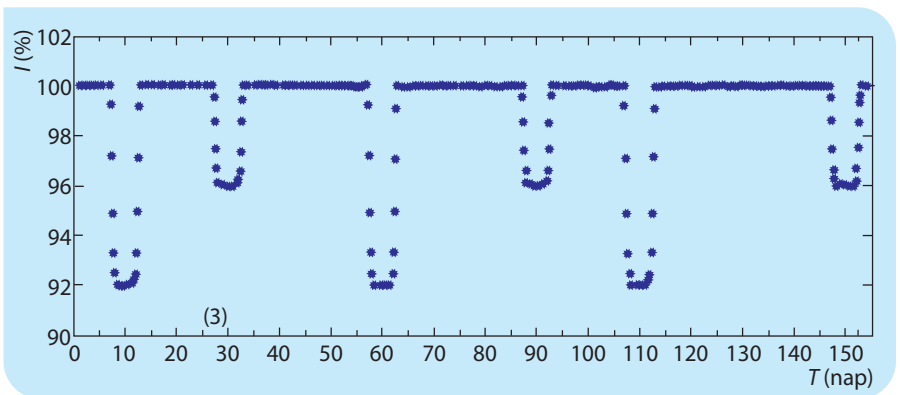

A grafikonok a csillag bolygótakarás következtében bekövetkező fényerősség-csökkenését mutatják. A grafikonokról leolvasható, hogy mennyi ideig tart egy-egy fényerősség-csökkenés. Az alsó sorban lévő számok az egyes bolygók keringési idejét mutatják földi napban mérve




A felfedezett exobolygók mérete a Naprendszer bolygóival összehasonlítva




Exobolygó takarása okozta fényességváltozás




Ennek a csillagnak két exobolygója van

## Hallottál róla?

Mivel az exobolygók rendkívül nagy távolságra vannak, légkörük megismerése összetett feladat. A csillagok bolygófedésének vizsgálata erre is lehetőséget teremt. Ilyenkor ugyanis a csillagfény az előtte elvonuló bolygó légkörén áthatolva jut a Földünkre. A fény spektrumának vizsgálata nemcsak a csillag anyagi összetételéről, hanem az előtte elvonuló bolygó légkörében lévő anyagokról is árulkodik.

## Az intelligens élet lehetősége

A Földön rengeteg faj él. Gondolkodásával, intelligenciájával a fajok közül kiemelkedik az emberi faj. De vajon létezik-e az emberhez hasonló intelligens élet a Földön kívül? Akik az élet általános elterjedésében hisznek, azok feltételezik, hogy kell lennie. De akkor miért nem szerzünk róla tudomást?

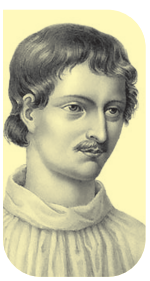
## A tér és az idő szakadéka

Egy lehetséges elmélet szerint az emberiséget a tér és az idő szakadéka választja el más intelligens lényektől. Amennyiben az élet nem tud kozmológiai értelemben sokáig fennmaradni, akkor az intelligens élőlények találkozását meghiúsíthatja, hogy nem akkor éri el őket a másik rádióüzenete, amikor ezt észlelni és értelmezni tudják. Az információk észlelésének másik akadálya a nagy térbeli távolság lehet.

## Hogyan volt régen?

**Máglyahalál a földönkívüliek miatt**

Az arisztotelészi világképet magáévá tevő katolikus egyház számára nem volt elfogadható a más világokon való értelmes élet feltételezése, mert az ellentmondott a Bibliának. Ezért Giordano Brunót, aki hitt a más világokban élő értelmes lények sokaságában, 1600-ban megégették.

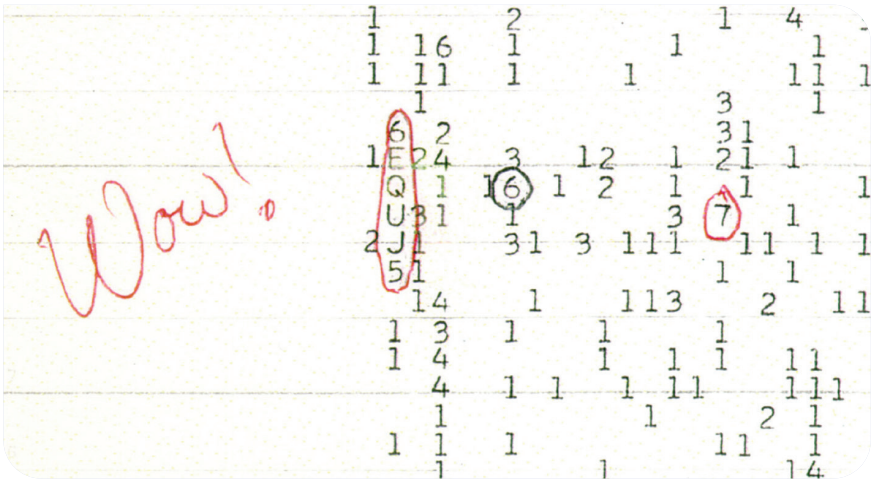


## SETI program

Az elmúlt évtizedekben, a számítógépek elterjedésével megnyílt a lehetőség az űrből érkező kozmikus zajok vizsgálatára. A SETI program keretében ezeket a jeleket futtatták a résztvevők számítógépein, azt vizsgálva, kivehető-e értelmes üzenetre utaló jelsorozat a kozmikus zajból. Az eddigiekben ilyen egyértelműen azonosítható jelsorozatot nem észleltek.

### Hallottál róla?

1977. augusztus 15-én a Big Ear (Nagy Fül) nevű rádióteleszkóp jeleit fürkészve egy 72 másodperc hosszú jelsorozatra bukkantak, amely látszólag megfelelt egy távoli értelmes civilizáció üzenetének. A jelet észlelő Jerry Ehman ráírta a jelet rögzítő papírra, hogy „hűha". A jel neve azóta „hűha"-jel, angolul „wow"-signal, a jel azóta sem ismétlődött meg, forrását nem ismerjük.




Az eredeti leporelló képe a rádiójelekről. A függőleges tengely az idő (soronként 12 s), a vízszintes tengely a rádióspektrum egymást követő hullámsávjai (10 kHz-enként). A karakterek a rádiósugárzás és a háttérzaj arányának egész részét mutatják (10 felett betűkkel: A = 10, B = 11 stb.). A 0 nincs kiírva (ekkor az arány kisebb, mint 1, csak háttérzaj van). A jelsorozatból kiugrik az összefüggő „6EQUJ5" rész.

## Milyenek a földönkívüliek?

Alien – földönkívüli, ahogy az ember elképzeli

Az ember gazdag fantáziája révén sokszor elképzelte a földönkívülieket, a velük való találkozást. A fantáziánknak mégis korlátot állítanak tapasztalataink. A földönkívüliek elképzeléseinkben csupa olyan sajátossággal rendelkeznek, melynek megfelelőjét már láttuk. Ők a modern kor különleges fantázialényei, olyanok, mint az ókorban a szellemek, démonok, istenek. Ha létezik földönkívüli élet, miért kellene, hogy bármiben is hasonlítson ahhoz, amit mi el tudunk képzelni? Akár az is lehetséges, hogy nem észlelhetőek számunkra.

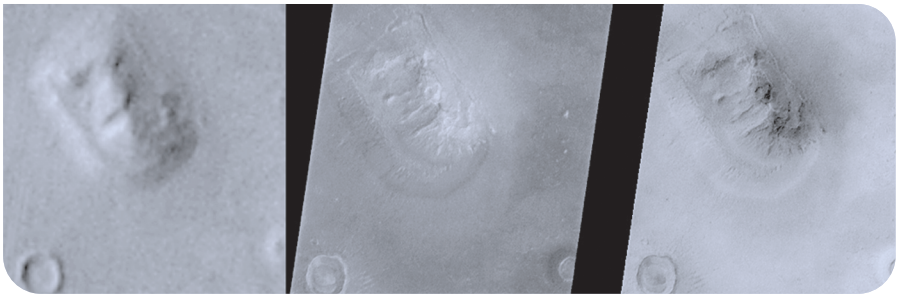
### NE HIBÁZZ!

**Ufókutatás**

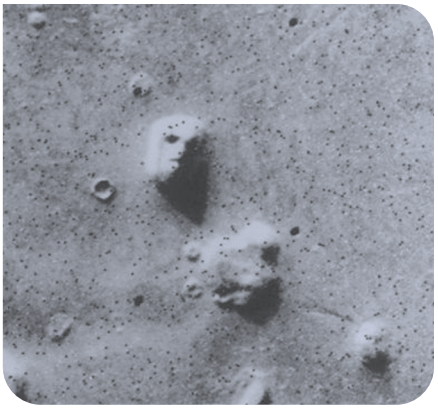
Az ufó kifejezés rövidítés, jelentése azonosítatlan repülő tárgy. Sokan hisznek abban, hogy az égbolt azonosítatlan repülő tárgyai egy intelligens civilizáció küldöttjeit hozták földközelbe. Az esetek jelentős részében kiderült, milyen égi vagy földi eredetű jelenség tévesztette meg a megfigyelőt, de voltak olyan észlelések is, melyek értelmezése a tudomány keretében nem volt sikeres. Ezekben az esetekben ki-ki eldöntheti, hogy a jelenségnek természetes, de a szükséges mennyiségű információ hiánya miatt nem azonosítható eredetet tulajdonít, vagy valamilyen különleges, eddig nem ismert történésnek, akár más civilizációk megjelenésének köszönhetőt. Mindez hit kérdése. Földönkívüliek létezésére tudományos bizonyíték jelenleg nincs.

## Élet a Marson

A XIX. század végén közkedvelt elképzelés volt, hogy a Marson van értelmes élet. A csillagászok egy csoportja megfigyelte, sőt térképezte is a Mars csatornáit. Ma már biztosan tudjuk, hogy Mars-csatornák nincsenek. Érdekes kérdés, milyen optikai és pszichológiai okokra vezethető vissza, hogy ennek ellenére megfigyelték azokat. Az intelligens marslakókba vetett hitet



A Mars „arca” (2001, a Mars Global Surveyor szonda felvétele)



A Mars „arca” (1976, a Viking 1 szonda felvétele)

a Mars-csatornák egyik megfigyelője, Sir Percival Lowell hirdette. Fantasztikus regény formában írta meg ezt a témát H. G. Wells, akinek könyvét Orson Welles 1938-ban rádiójátékban dolgozta fel. A rádiójáték olyan hitelesre sikerült, hogy pánik tört ki az Egyesült Államokban, mivel sokan azt hitték, valóban megindult a marslakók inváziója a Föld ellen. A marslakókba vetett hit egy kései maradványa az 1976-ban felfedezett Mars-arc, egy olyan képződmény a Marson, mely adott napszakban, adott helyről fényképezve egy hatalmas arcnak tűnt. Később, a helyet jobb felbontással vizsgálva világossá vált, hogy mindez csak a véletlenek játéka, a hegy egyáltalán nem hasonlít arcra.

## Antropomorf (emberarcú) elképzelések – antropikus elv

Vajon törvényszerű volt-e az értelmes élet létrejötte a Földön, és vajon másutt is létrejön-e az értelmes élet, ahol a földihez hasonló fizikai viszonyok uralkodnak? Hajlamosak vagyunk azt hinni, hogy igen. Az élet a Földön biztosan létrejött, és akkor azok a viszonyok, melyek között létrejött, létrejöttének szükségszerű és elégséges feltételei. Ez a gondolatmenet a manapság igen népszerű **erős antropikus elv** lényege. Mindez ellentmond az evolúció elméletének. A következetes természettudományos értelmezés szerint az élet létrejötte nem igazolja azt, hogy ennek szükségszerűen be is kellett következnie. Az élet létrejötte alapvetően a véletlen eredménye, egy kis valószínűségű, de statisztikus jellegénél fogva nem kizárható esemény. De ha kellően sok olyan hely van a világon, ahol az élet létrejöttének feltételei adottak, akkor akár több helyen is létrejöhetett értelmes élet. A miénkhez hasonló vagy egészen más.

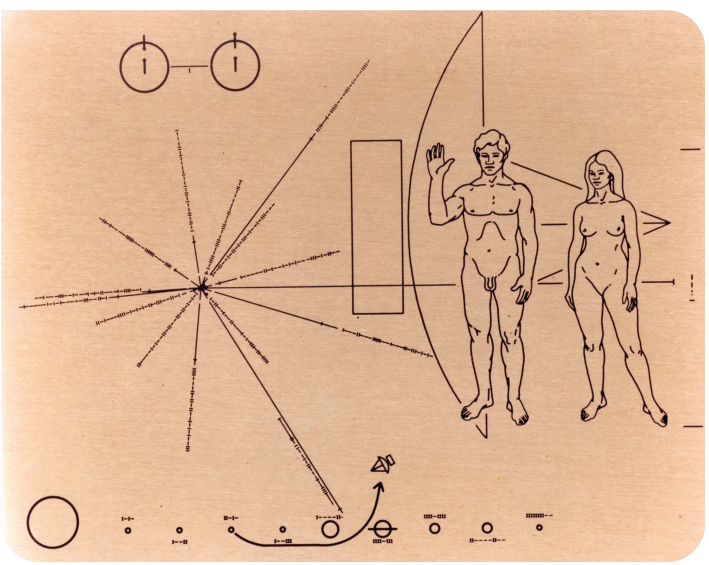
### Hallottál róla?

**Lowell-szindróma**
Létezik egy nagyon ritka szembetegség, amikor valaki saját szemének ereit látja, miközben erőlteti a szemét, hogy jobban meg tudjon figyelni valamit. Az orvosok ezt Lowell-szindrómának nevezik, utalva a nem létező Mars-csatornákat megfigyelő Sir Percival Lowellre, aki szembetegsége miatt még a csatornák mozgását is észlelni vélte.

**Pánspermia-elmélet**
Az elmélet hívei azt vallják, hogy az élet valahol a kozmoszban jött létre, és később szóródott szét az egyes bolygókon. Elterjedtebb megközelítés azonban, hogy az élet az egyes bolygókon (vagy bolygón) egymástól függetlenül jöhetett létre evolúcióval.

## Mit üzentünk a földönkívülieknek?

A Jupiter és Szaturnusz vizsgálata után a Naprendszert elhagyó Pioneer–10 és Pioneer–11 űrszonda a környezeti hatásoknak ellenálló, arannyal bevont alumíniumtáblácskát vitt a földiek üzenetével a Naprendszeren túlra. Ezen a férfi és női emberi testet, a Nap helyzetét a Tejútban, a Naprendszert és benne a Földet, valamint az űrszonda körvonalát és útját ábrázolták, de helyet kapott rajta a hidrogén szimbóluma és egy rádióantenna képe is. A táblákat az értelmes földönkívülieknek szánták.



A Pioneer–10 szonda egy aranylemezre vésve vitte magával a földlakók üzenetét

## Hallottál róla?

**Keressük-e a kapcsolatot a földönkívüliekkel?**

Steven Hawking korunk egyik legnagyobb kozmológusa azt javasolja, hogy ne nagyon igyekezzünk az esetleges földönkívüliekkel való kapcsolatfelvételre, mert egyáltalán nem biztos, hogy jó szándékúak.

## NE FELEDD!

**Van-e értelmes élet a Földön kívül, egyáltalán létezik-e az élet bármilyen formája bolygónkon túl? A választ nem ismerjük erre a kérdésre. Amit tudhatunk:**

- **Sok olyan hely van a világon, ahol létrejöhetett élet.**
- **Az evolúciós elméletből nem következik, hogy az élet egyedi lenne.**
- **Ha van élet a Földön kívül, arról nem feltétlenül szerezhetünk könnyen tudomást a nagy távolságok és az értelmes lények létezésének esetleges időbeli behatároltsága miatt.**

## Tőled függ!

Tőled függ, hogy mit hiszel el, és hogy mit terjesztesz igazságként másoknak. Vannak, akik úgy gondolják, hogy a Földön jártak értelmes földönkívüliek, mi több, akár most is itt vannak közöttünk. Vannak, akik a földönkívüliek munkálkodásának nyomát fedezik fel régészeti emlékekben. Mások a civilizáció fejlődését is földönkívüli intelligenciának tulajdonítják. Számos esetben feldolgozták ezt a témát filmekben és a művészet sok más területén.

Sikereit az emberiség teremtő fantáziájának köszönheti. A képzeletet nem lehet korlátok közé szorítani. A tudomány álláspontja, hogy tapasztalatainkra a legegyszerűbb magyarázatot keressük. Ha azt látod, hogy az almafán egy piros alma függ, és a Föld vonzása ellenére nem esik le, nem arra gyanakszol, hogy az alma antigravitációs térben van, hanem azt feltételezed, hogy a szárában ébredő erő kiegyenlíti a Föld vonzóerejét. Jelenleg nincs olyan egyértelmű tapasztalatunk, melyet csak földönkívüli intelligenciák létével lehetne megmagyarázni.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Giordano Brunónak nemcsak a világok sokaságára vonatkozó állítása miatt gyűlt meg a baja az egyházzal. Nézz utána, mi játszott még szerepet elítélésében!
2. Mi lehet az oka annak, hogy az elképzelt űrlények nagyon hasonlítanak a földi élőlényekre?
3. Milyen filmeket, irodalmi alkotásokat ismersz, melyek földönkívüliekkel kapcsolatosak? Miért ilyen gyakoriak az ilyen munkák?
4. Miért éppen a Mars volt a Földön kívüli értelmes élet szóba jöhető színtere?
5. Bár az emberihez hasonló élet biztosan nincs a Naprendszerben, de találtak-e szerves molekulákra utaló jeleket a Földön kívül? Milyen nézetek léteznek jelenleg a szerves anyag jelenlétéről a Naprendszerben?
6. Kik voltak azok a tudósok, akiket „marslakóknak” neveztek környezetükben? Miért kapták ezt az elnevezést? Milyen munkában vettek részt, és milyen történelmi körülmények következtében kerültek össze?
7. Hogyan lehet exobolygókat felfedezni, és mi a jelentőségük a földön kívüli élet kutatása szempontjából?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mit értünk antropikus elven, mi a lényege?
2. Miért mond ellen az antropikus elv az evolúciónak?
3. A leckében látható diagramok egy csillag fényességének százalékos csökkenését mutatják. Mit állapíthatunk meg a diagramok alapján a csillag körül keringő exobolygókról?
4. A második ábra két különböző átmérőjű exobolygó jelenlétére utal. Mekkora a két bolygó átmérőjének aránya? Mekkora a csillagtól vett távolságuk aránya?
5. Mit jelent az az állítás, hogy az esetlegesen más bolygókon létrejött civilizációkat a tér és idő szakadéka választja el egymástól?
6. Szerinted van értelmes élet a Földön kívül? Válaszodat indokold! Folytassanak vitát az egymással egyet nem értők erről kérdésről! Milyen érvek szólnak a földön kívüli értelmes élet mellett és ellen?

# 59. | Ha majd a Nap kihűl…

*Madách Imre művében, Az ember tragédiájának falanszterjelenetében készülnek a tudósok arra a korszakra, mikor a Nap kihűl. A Föld nem lesz örökké lakható, az sem kizárt, hogy a Föld túlnépesedése miatt még ez előtt új lakóhely után kell nézni az emberiségnek.*

**EMLÉKEZTETŐ**

A földi élet lehetőségeit leginkább az emberek veszélyeztetik. Az emberiség képes arra, hogy elpusztítsa a Földet. Lakhatatlanná teheti felelőtlen környezetszennyezéssel, vagy akár fel is robbanthatja valamilyen esztelen háborúban. De minderre reményeink szerint nem kerül sor. Bár nagyon kicsi a valószínűsége, teljesen nem zárható ki az sem, hogy valamikor kozmikus katasztrófa pusztítja el a Földet.

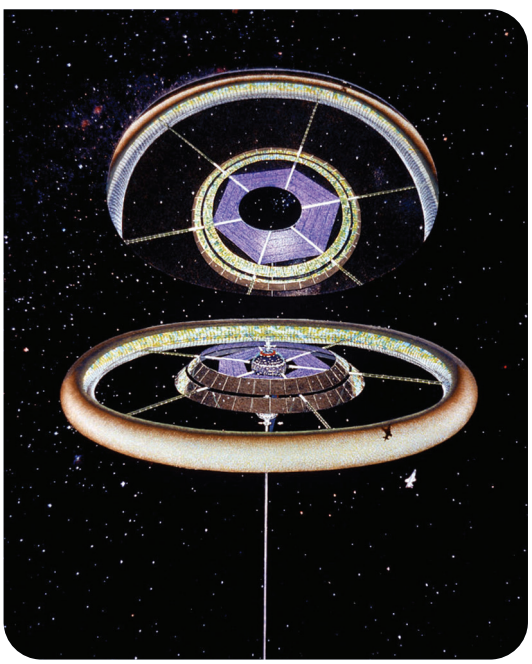
A Nap évmilliárdok múlva vörös óriáscsillaggá válik, és ekkor kiterjedése túlnyúlik majd a jelenlegi földpályán. De még mielőtt a Nap elnyelné a Földet, bolygónkat a napszél a jeges űrbe taszítja. Az emberiségnek, ha még létezik majd akkor, fel kell készülnie a Földön kívüli életre.

## A földi gravitáció

Az emberi test az evolúció során a földi viszonyokhoz alkalmazkodott. Ennek egyik legfontosabb sajátsága a gravitáció. Mindez befolyásolja az ember izomzatát, csontrendszerét, mozgását. Még a néhány hetes űrexpedíciók során is figyelemmel kell lenni a súlytalanság állapotának egészségkárosító hatására. A legnagyobb veszélyt az izomsorvadás jelenti, mely a szívet is jelentősen veszélyezteti, hiszen a vér áramoltatására sincs akkora erőre szükség, mint földfelszíni körülmények között. Az izomsorvadást elkerülendő, az űrhajósok napi 5-6 órát edzenek az űrutazás során különböző gépek segítségével. Keresik annak a lehetőségét is, hogy az izmok sorvadását mesterséges ingerléssel akadályozzák meg.

## Mesterséges gravitáció

A súlytalanság állapotának egészségkárosító hatását mesterséges gravitációval is lehet csökkenteni. Olyan eljárás nem létezik, mellyel egy kis tömegű anyag a mérete alapján indokolt tömegvonzásnál nagyobb gravitációs vonzást okozna. Egy ilyen lehetőség ellentmond az ismert fizikai törvényeknek, és bár mindig születnek elméletek, melyek „gombnyomásra” gravitációt állítanak elő, ezeknek vajmi kevés köze van a természettudományokhoz. Ezzel szemben súlytalanság állapotában is megvalósítható a testek súlyának mesterséges előállítása. Egy forgó kabinban a kabin fala erőt gyakorol a benne lévő tárgyakra, így kényszerítve azokat körpályára. Ez a nyomóerő megfelelhet annak az erőnek, melyet a Föld felszínén állva tapasztalunk.

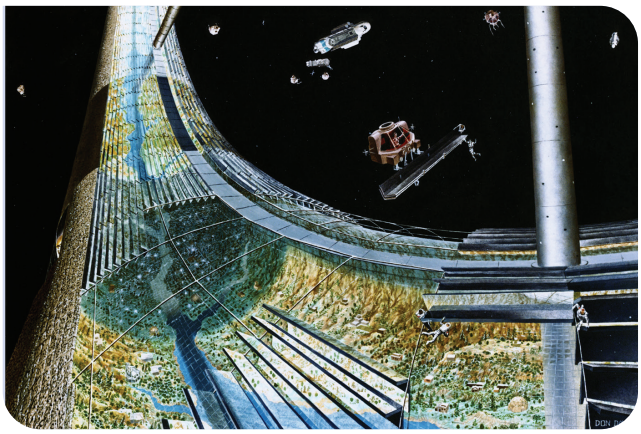


A Stanford-tórusz egy mesterséges égitestről kialakított elképzelés

## Másik égitest vagy mesterséges égitest

Ha az emberiség elhagyni kényszerül a Földet, akkor felmerül annak lehetősége, hogy másik égitestet tesz lakhatóvá, vagy esetleg egy lakható égitestet talál, illetve mesterséges égitestet hoz létre. Az emberiség technikai fejlődése olyan gyors, hogy elvileg mindhárom lehetőség adott.

## Hallottál róla?

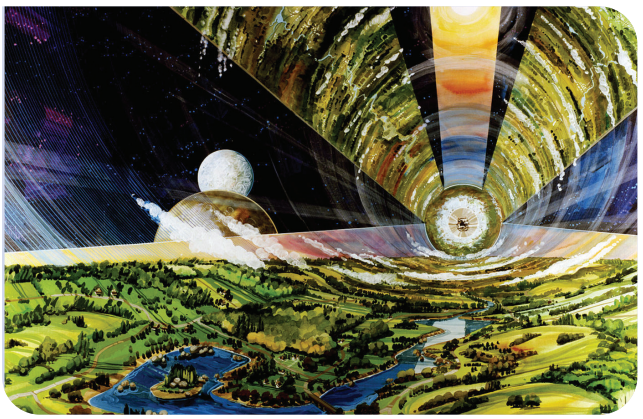


A Stanford-tórusz építés közben

A Stanford-tórusz egy terv arra, hogyan élhetnénk egy mesterséges égitesten az űrben. Az űrállomás egy 1,6 km átmérőjű úszógumihoz hasonlítható létesítmény, mely percenként tesz meg egy fordulatot, így hozva létre súlyt a súlytalanság állapotában. Ez az eljárás a gyűrű belsejének külső peremén létesítene a földihez hasonló viszonyokat. Az emberek épületei ezen a peremen helyezkednének el, de a lakott települések mellett itt lennének a művelésre alkalmas szántóföldek is. A fényt mesterségesen kellene biztosítani, tükörrendszer segítségével. A gyűrűt küllőszerűen elhelyezkedő csövek csatolnák a gyűrű középpontjában lévő űrkikötőhöz.

A *Randevú a Rámával* című Arthur C. Clarke sci-fiben szereplők megoldása jóval nagyobb a Stanford-tórusznál. Itt az űrállomás egy szivar alakú objektum, melyet a tengelye körül forgatnak.

A Stanford-tórusz elképzelt belseje



Egy szivar alakú hatalmas méretű űrállomás belső kialakítása

**SZÁMOLJUK KI!**

Mekkora utat tett meg közelítőleg Poljakov űrutazása alatt a Föld a Nap körül?

### Mennyi időt és mennyi idősen – űrrekordok

**A leghosszabb űrutazás**: Valerij Poljakov 1994. január 8. – 1995. március 22. Útja során Poljakov 7075-ször kerülte meg a Földet, és 300 765 000 kilométert tett meg a Föld középpontjához viszonyítva.

John Glenn 1962-ben, első űrutazása előtt és második űrutazása idején, 1998-ban

**A legtöbb nap az űrben**: Szergej Krikaljov 803 napot, 9 órát és 39 percet töltött az űrben a Szojuz űrhajó fedélzetén 6 űrutazása során.

**A legidősebb űrutas**: John Glenn, aki a harmadik amerikai űrhajós volt, de az első amerikai, aki megkerülte a Földet. 1964-ben politikusi pályára lépett, majd 1998-ban, 77 éves korában, szenátorként ismét részt vett űrutazáson. 2016. december 8-án hunyt el 96 éves korában.

## A MARS LAKHATÓVÁ TÉTELE *(Olvasmány)*

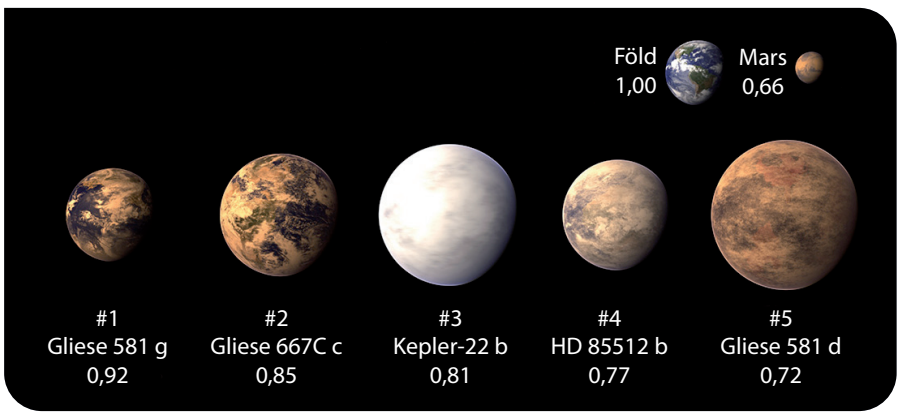
A hozzánk legközelebb lévő bolygó, melyet lakhatóvá tehetne az emberiség, a Mars. Nem kizárt, hogy a nem túl távoli jövőben útra kelnek a Mars első telepescsaládjai, kemény és eltökélt emberek, akik tudják, hogy talán sosem térnek vissza, ahogy az első európaiak érkeztek egykor Amerikába. De vajon hogyan lehet felfűteni a bolygó légkörét, és így az emberek számára lakhatóvá tenni? Egy lehetséges forgatókönyv az alábbi:

Az első lépés az üvegházhatás megnövelése. Az eljárásban a Földön szereztünk némi gyakorlatot. A Mars légkörébe juttatott fluorvegyületek visszatartják a marsfelszín visszasugárzott melegét, így megindul a légkör felmelegedése. A melegedés következtében a Mars felszíne megolvad, a földbe fagyott szén-dioxid kiszabadul, és a légkörbe jutva tovább erősíti az üvegházhatást. A földbe fagyott vízjég megolvad, a folyók visszatérnek medrükbe. A talajból a víz oxigént old ki, ami a légkörbe jut, megteremtve a növényi élet kialakulásának lehetőségét. A védőfelszerelés nélküli élethez a növények termelik meg a megfelelő mennyiségű oxigént. 2014-ben a NASA 2030-as Mars-expedíciót jósolt, melynek keretében emberek lépnének a Mars felszínére, de a dátum még meglehetősen bizonytalannak tekinthető. Az is kérdéses, hogy az első emberek vissza tudnának-e jönni valaha is a vörös bolygóról.

Jöttem, láttam, földivé formáltam…

## Exobolygók

Az újabb és újabb exobolygók felfedezésével mindinkább előtérbe kerül az a lehetőség, hogy az emberiség valamelyiket ezek közül népesítse be egyszer. Ebben az esetben a legnagyobb nehézséget az odautazás okozhatja.




Potenciálisan benépesíthető exobolygók a Földhöz való hasonlóság alapján rendezve 2012-ben. Ekkor a Gliese 581 g nevű bolygó volt a legesélyesebb jelölt (a jelölés úgy értendő, hogy ez a bolygó a Gliese 581 nevű csillag g jelű bolygója).

## A távoli utazás pszichológiai tényezői

Az űrutazás nemcsak fizikai, hanem lelki szempontból is komoly terhelést jelent az űrhajósok számára. Az űrállomás steril, egyhangú környezete, a magány, az összezártság, a családtagok távolléte mind olyan tényezők, mellyel a hosszabb távú űrutazások esetében az előkészítő pszichológusoknak szembe kell néznie. Fontos feladat annak feltárása, hogy a környezeti hatások változása, például az oxigénhiány, milyen viselkedésbeli következményekkel járhat. A pszichológusok feladata lehet olyan eljárások kidolgozása, melyek segítségével az űrutasok pszichikai állapotát folyamatosan nyomon lehet követni.

**NE FELEDD!**

**Az emberiség fel kell hogy készüljön az űr meghódítására, vezérelje akár a kíváncsiság, akár a szükség. A földi körülményekhez alkalmazkodott szervezetünk leginkább a gravitáció hiányát sínyli meg az űrben. A tartós súlytalanság izomsorvadáshoz vezet. Ennek megelőzéséért, az űrhajósok folyamatos fizikai tréninget végeznek. Egy kellően nagy mesterséges űrváros esetében a mesterséges gravitációt az űrállomás forgatásával lehet előidézni. Az orvosok és pszichológusok feladata az űrutasokat felkészíteni az űrutazás és az űrben való élet körülményeire, az ott fellépő problémák kezelésére. A közeljövőben kidolgozzák azokat az eljárásokat, melyek segítségével lakályos környezetet teremthetünk egy másik égitesten.**

## Hallottál róla?

A nagy távolságú űrutazás nem csak pszichológiai kérdéseket vet fel. Míg a Mars, a szomszédos bolygó meghódítása is években mérhető, Naprendszerünk elhagyására már nem elegendő egy ember élete. És akkor még hol vannak az olyan „közeli szomszédaink", mint a kétmillió fényévre lévő Androméda-köd bolygói?!

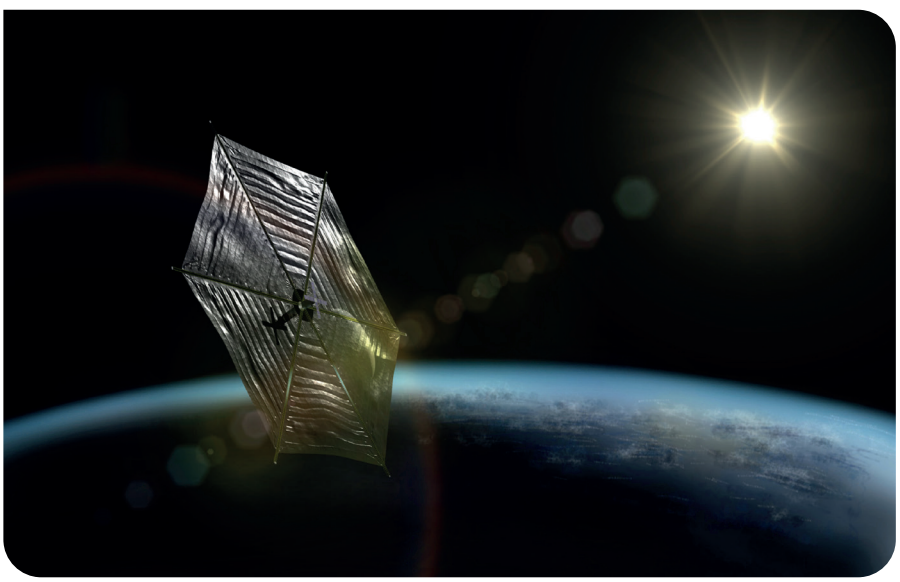
Az ember vagy úgy juthat el a Földtől távolra, hogy valamilyen eljárással hibernálják (életfunkcióit lelassítják), vagy a kellően nagy sebességű űrutazással, hiszen a speciális relativitáselmélettel összhangban ilyenkor a célig megteendő távolság csökken (kontrahálódik). Ez utóbbi esetben komoly nehézséget okozhat, hogy az utazósebességre történő felgyorsulás, illetve a cél közelében a lelassulás nagyon megterhelné az emberi szervezetet. Ezenkívül az emberi szervezet által kibírható gyorsulás mellett a gyorsítási, majd az út végén a lassítási szakaszok nagyon sokáig tartanának, és igen nagy energiaigényük lenne. Mindkét eljárás megvalósításától még meglehetősen messze áll az emberiség mai technikai felkészültsége. Egy harmadik lehetőség, hogy családokat, városnyi embercsoportokat indítunk el egyszerre a távoli úti cél felé úgy, hogy generációk élik le életüket a Földtől távol, és csak a sokadik generációs leszármazottak érik el a kitűzött célt.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Miért lehet szükség arra, hogy az emberiség elhagyja a Földet?
2. Milyen élettani hatása van a súlytalanság állapotának?
3. Melyek az űrutazás azon szakaszai, amikor az űrhajós erőhatást érzékel az űrhajóban?
4. Miért forgásszimmetrikusak a tervezett nagy űrállomások?
5. Hogyan lehet növelni a mesterséges gravitációt a Stanford-tóruszban?
6. Hol van nulla gravitáció egy forgó űrállomásbon?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Miért van súlytalanság egy űrhajó belsejében?
2. Vajon miért nem megoldás a súlytalanság kiküszöbölésére egy olyan rendszer, amely az űrutas talpát rögzíti ahhoz a felülethez, amelyen mozog (pl. tépőzár, mágnes stb.)?
3. Értelmezd dinamikai szempontból a forgó űrállomáson tartózkodó emberre, illetve az űrállomás tárgyaira gyakorolt erőhatást!
4. Hogyan hozhatunk létre mesterséges gravitációt? Fogalmazz meg egy saját ötletet is!
5. Miben tér el a forgással létrehozott mesterséges gravitáció a földi gravitációtól? Hogyan függ a távolságtól a kétfajta erőhatás? Mi történik, ha például felkapaszkodunk egy épület tetejére?
6. Elvileg lehetséges-e a relativitáselmélet szerint a Földtől 10 fényévre eljutni űrhajósként, kevesebb mint 10 évet öregedve, fénysebességnél kisebb sebességű űrhajóval?
7. Milyen tevékenységformák okoznak különösen gondot a súlytalanság állapotában? Hogyan lehet ezeket a problémákat kezelni?
8. Mit jelentene egy másik bolygó lakhatóvá tétele? Melyek az emberi faj legfontosabb biológiai igényei?
9. Milyen akadályok legyőzése esetén képzelhető el az emberiség Naprendszeren túli utazása?



■ Napvitorla

# 60. | Meg van írva a csillagokban? Tudomány – áltudomány – vallásos hit

*Hogyan alakult a csillagászat és a csillagjóslás viszonya a tudomány fejlődése során? Mi az, amit tudunk, és mi az, amit hiszünk? Mit tekinthetünk valóságosnak, és mi a fantázia szüleménye? Hol vannak a tudomány határai? Ellentmondás van-e a hit és a tudomány között? Ilyen és ehhez hasonló kérdésekre keressük a választ ebben a fejezetben.*

## Asztronómia és asztrológia

A csillagászat tudományát asztronómiának nevezzük, míg az asztrológia csillagjóslást jelent. A távcső feltalálása előtt a csillagászok feladata a bolygók, csillagok és más égi jelenségek megfigyelése volt. Mivel az asztrológia a bolygók mozgása alapján von le következtetéseket, a bolygók helyzetének előzetes ismerete fontos cél volt az asztrológusok (csillagjósok) számára. A bolygók mozgásának megismerése és leírása tehát egyszerre volt fontos a csillagászoknak és a csillagjósoknak. A két szerep nem is vált el élesen egymástól.

## Hogyan hatnak ránk a bolygók?

Az asztrológia célja, hogy következtetést vonjon le a csillagok állásából az ember sorsára. Azt feltételezik az asztrológusok, hogy a csillagok állása meghatározza a jövőnket. Fontos hangsúlyozni, hogy a csillagok állása valójában a bolygók elhelyezkedését jelenti a csillagképek háttere előtt, hiszen a csillagképek lényegében változatlanok. De vajon hibás-e az a feltételezés, hogy a bolygók hatást gyakorolnak a Földre?

### Hogyan volt régen?

Firmicus Maternus a IV . század első felében megjelent *A Vénusz hatása az emberi sorsra* című művében így ír:

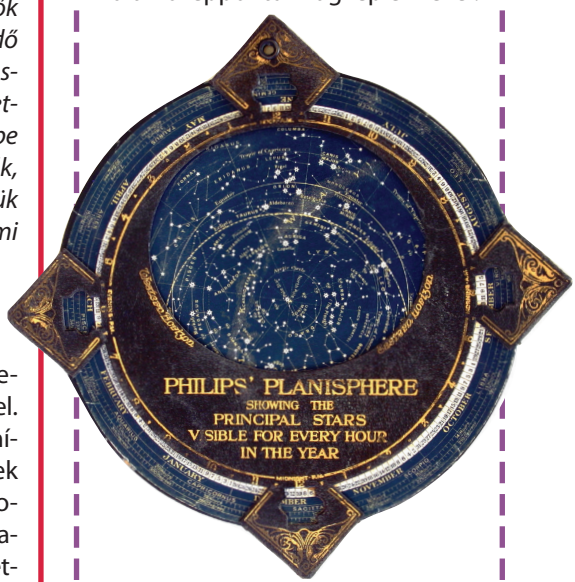
Prágai zodiákus óra (a zodiákus szó állatövit jelent, mert az ekliptika menti csillagképek közül nyolc állatnevet visel)

*„Ha a Vénusz a horoszkóp-ponttól számított tizenkettedik tartományban tartózkodik, hatására azokat, akik ekkor születnek, mindig keserű fájdalom fogja gyötörni a nők miatt. Ha az így elhelyezkedő Vénuszt a Mars erős sugárzással éri el, kéjsóvárgásuk következtében gyakran kelepcébe csalják őket a rabszolganők, lelki viharok és érzékiségük okozta megalázó szerelmi szenvedélyek várnak rájuk."*

A mai horoszkópok nem fogalmaznak ilyen egyértelműen, de lényegüket tekintve azonosak az idézettel. Olyan hatásokat tulajdonítanak a bolygóknak, melyek tudományosan megalapozatlanok, mivel a tapasztalatokkal nem összeegyeztethetőek.

### EMLÉKEZTETŐ

A csillagképek csak a Földről látszanak olyannak, amilyennek leírjuk azokat. A csillagok távolsága a Földtől nagyon különböző lehet, így két olyan csillag, amely egymás mellett látszik, nagy távolságra lehet egymástól. A csillagjegyek azt adják meg, hogy a Földről nézve milyen csillagképben volt megfigyelhető úgy 2000 évvel ezelőtt a Nap, a pályája adott pontján. Ezt persze szemmel nem láthatjuk a Nap fénye miatt, legfeljebb teljes napfogyatkozáskor. A csillagjegyek a Föld-középpontú világkép emlékei.




Forgatható csillagtérkép 1900-ból

**Gondold meg!**

Melyik az a csillag, melynek alapvető hatása van mindnyájunk életére? Milyen jellegű ennek a csillagnak az elsődleges hatása?

## A távoli csillagok hatása a Földre

Tudományos ismereteink szerint a csillagok valóban hatást gyakorolnak a Földre. De ez a hatás egyetlen csillagtól eltekintve teljes mértékben elenyésző, az ember sorsát semmiképpen nem befolyásolhatja, ahogy a bolygók hatása sem.

## Csillagunk, a Nap tömegvonzásának hatása a Földre

**SZÁMOLJUK KI!**

*Feladat:* Határozd meg, mekkora gravitációs vonzerőt gyakorol az alfa Centauri 1 kg földi tömegre!

Az alfa Centauri a Nap után a Földhöz egyik legközelebbi csillag. Távolsága a Földtől 4,34 fényév. 1 fényév $9{,}46 \cdot 10^{15}$ m. Az alfa Centauri tömege 1,1 naptömeg. A Nap tömege $1{,}99 \cdot 10^{30}$ kg.

*Megoldás:* Newton egyetemes tömegvonzási törvényét kell használnunk:

$$F = f\frac{m \cdot M}{r^2} = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\,\frac{\mathrm{Nm^2}}{\mathrm{kg^2}} \cdot \frac{(1\ \mathrm{kg}) \cdot (1{,}1 \cdot 1{,}99 \cdot 10^{30}\ \mathrm{kg})}{(4{,}34 \cdot 9{,}46 \cdot 10^{15}\ \mathrm{m})^2} = 8{,}66 \cdot 10^{-14}\ \mathrm{N}.$$

A Nap gravitációs vonzása a földi testekre elhanyagolható a Föld vonzásához képest (kisebb, mint a Föld vonzóerejének egy ezreléke). A Nap tömegvonzásának hatása az óceánok hatalmas vízmennyiségére azonban már számottevő. Ezért játszik szerepet az apály-dagály jelenség lefolyásában a Hold tömegvonzása mellett a Napé is. A Nap árapálykeltő hatása nagyjából a Hold hatásának a fele.

## Van-e a csillagoknak elektromágneses hatása a Földre?

**SZÁMOLJUK KI!**

*Feladat:* Ha feltételezzük, hogy az alfa Centauri a sugárzását a tér minden irányába bocsátja ki, a teljes sugárzási teljesítmény hányadrésze esik a Földre? Számításod során hasonlítsd össze egy alfa Centauri-távolságnyi gömb felületét a 6378 km sugarú Föld egyenlítői síkjának területével!

*Megoldás:* Az alfa Centauri energiája egy gömb mentén oszlik el egyenletesen. A Föld és a csillag közötti távolság ($d$) ennek a gömbnek sugara. Számításunk során a gömb felületét kell összehasonlítani a Föld keresztmetszetével.

$$\eta = \frac{R_F^2 \cdot \pi}{4 \cdot d^2 \cdot \pi} = \frac{6{,}378^2 \cdot 10^{12}}{4 \cdot (4{,}34 \cdot 9{,}46)^2 \cdot 10^{30}} \approx 6 \cdot 10^{-21}.$$

A Nap rengeteg energiát sugároz a Földre elektromágneses formában. Az ezt megadó napállandó 1366 watt négyzetméterenként. A Nap jelentős és összetett hatást gyakorol a Földre. Ezekről a hatásokról a Napról szóló későbbi fejezetben részletesen beszámolunk. A többi csillag sugárzási energiájának elhanyagolhatóan kis része esik a Földre.

## Van-e elektromágneses hatása a Naprendszer bolygóinak a Földre?

A bolygók fényüket alapvetően a Naptól nyerik, és bár az olyan óriásbolygók, mint a Jupiter, a Szaturnusz, az Uránusz és a Neptunusz több energiát sugároznak ki, mint amennyit a Napból nyernek, a Földre jutó mennyisége ennek az energiának elhanyagolható, ahogy a visszavert napfény hatása is.

## Van-e gravitációs hatása a Naprendszer bolygóinak a Földre?

A Naprendszer égitestjei közül számottevő gravitációs hatást a Földre csak a Nap és a Hold gyakorol.

## Cáfolhatók-e tudományos módszerekkel az asztrológia megállapításai?

A tudomány szemszögéből az asztrológia állításai hamisak. Ezt tudományosan úgy lehet bizonyítani, hogy megvizsgáljuk nagyon sok ember esetében (kellően széles mintán) az asztrológusok által meghatározott állítások helyes-

ségét. Ha a kapott eredményt a matematikai statisztika segítségével elemezzük, el tudjuk dönteni, hogy mennyiben érvényesek az asztrológia jóslatai azokra, akikre vonatkoznak. Egy másik lehetőség az asztrológiai eljárások összehasonlítása. Ha nem egyértelmű, hogy egy feltételezés kapcsán melyik út vezet a helyes következtetésre, akkor tudományos szempontból az eljárás nem helyes. Az asztrológia a tudomány egy másik fontos kritériumának sem felel meg. Ez pedig a tudomány azon sajátsága, hogy állításait ok-okozati kapcsolatok mentén értelmezi.

### Áltudomány-e az asztrológia?

Az asztrológiával és bármilyen más áltudományos eljárással kapcsolatban az a hibás képzetünk alakult ki, hogy mivel tudományosan nem megalapozott eljárásokat alkalmaznak, ezért hamisak. Akkor fogalmazunk pontosan, ha azt állítjuk, hogy tudományosan nem megalapozottak, a tudomány kritériumainak nem felelnek meg az asztrológia állításai.

Természettudományos ismereteink alapján kijelenthetjük, hogy születésünk csillagjegye, vagy a bolygók aktuális elhelyezkedése nem befolyásolhatja jövőnket, így jövőnket ezekből az adatokból semmilyen elemzéssel megállapítani nem lehet.

## MI AZ ÁLTUDOMÁNY? *(Olvasmány)*

Az áltudomány olyan ismeretek halmaza, melyek a tudományosság látszatát keltik, de a tudományosság szabályainak nem felelnek meg. Az emberi működésnek számos feltáratlan területe van. Az emberi lélek, az érzelmek és a testi jelenségek kapcsolatát kevéssé ismeri a mai kor tudománya. Az már világos, hogy vélekedéseink, hiteink, érzelmeink befolyásolják fizikai állapotunkat. Tehát nemcsak az hat ránk, ami van, hanem az is, amiről azt feltételezzük, gondoljuk, hogy van. Az áltudományok általában olyan elképzelések, melyek befolyást gyakorolnak az emberek jelentős részére. Gyakorta úgy, hogy az abban való hit fejti ki pszichológiai hatását az emberre. Természetesen az emberi megismerés fejlődése során a tudomány hatókörén kívül eső jelenségek is a tudomány tárgyává válhatnak.

### Nem minden áltudomány, aminek nem ismerjük tudományos magyarázatát

Mivel az egészség minden ember számára fontos, az orvostudomány központi szerepet játszik életünkben. Az évezredek során számos gyógyító eljárás alakult ki, melyeket az emberek egy-egy csoportja valamelyik földrészen, valamilyen kultúrkörben hatásosnak vélt. Ezek közül számos olyan lehet, amelynek nem ismerjük tudományos magyarázatát, nem ismerjük pontos hatásmechanizmusát, de ettől még nem lesz áltudomány. A gyógynövények használata nem áltudomány, pedig évszázadokig a tapasztalat és nem a tudományos elmélet alapozta meg alkalmazásukat. Egy gyógyászati eljárás akkor tekinthető áltudományosnak, ha nem tudjuk igazolni hatásosságát, vagy ha igazolni tudjuk hatástalanságát. A hatástalanság tudományos bizonyítására az ad lehetőséget, hogy az áltudományos megállapításokat gyakran a tudományos eljárásokról alkotott közkeletű képnek megfelelően mutatják be, akár részletes ok-okozati sorral illusztrálva működésüket. Ennek magyarázata, hogy ez emberek legnagyobb része elfogadja a tudomány hatékonyságát a problémák megoldásában. Így

### *Hallottál róla?*

A pszichológia fejlődésével mind nyilvánvalóbbá vált, hogy az emberi test folyamatait nagymértékben tudja befolyásolni lelkiállapotunk. Egy gyógyszer hatásosságát egyes esetekben jelentősen befolyásolja az, hogy mennyire hiszünk benne. Ez a **placebohatás**, melyet úgy lehet kísérletileg kimutatni, hogy elhitetjük emberekkel, hogy gyógyszert kapnak, és közben hatóanyag nélküli tablettát adunk nekik, és azt vizsgáljuk, milyen mértékben tapasztalják kísérleti alanyaink az általuk várt hatást.

Kutatásra használt placebo gyógyszerek

A gyógyszerkutatásban különösen sok problémát okozott a kutatói elfogultság, ezért ennek kizárására kifejlesztették a kettős vakpróbát, amelyben a gyógyszert kiosztó kutató sem tudja, hogy valódi gyógyszert, vagy azzal kinézetre megegyező placebót ad-e a betegnek.

a tudományos érvrendszer egy áltudományos nézet esetében is hatásosnak bizonyulhat, mind üzleti, mind presztízs szempontból. Áltudományosnak tekinthetők azok az eljárások is, melyek hatásosságát tudományosan alá nem támasztott érvekkel bizonyítják. A tudományt az áltudománytól elválasztó keskeny határ felismerése egyáltalán nem egyszerű feladat.

### Az isten létében való hit áltudomány?

Isten létének kérdése nem képezi a tudomány tárgyát, így isten létének bizonyítása nem tudományos kérdés. A hit és a tudomány nem zárja ki egymást. Aki istenben hisz, olyan szubjektív tapasztalatokat szerzett, amely alapján tudja, hogy van isten. Aki nem hisz istenben, úgy vélekedik, hogy a világ és az emberi lét megértéséhez nincs szükség isten fogalmára. Számos tudós hisz istenben, és sokan vannak olyanok is, akik nem hisznek benne. Egy közös tudományos kutatási programon dolgozó csoportban számos különböző isten létében hívő, vagy akár ateista kutató akadálytalanul működhet együtt. Az istenhit akkor lenne áltudomány, ha azt állítanánk, hogy tudományosan megalapozott bizonyítékai vannak isten létének, ugyanakkor ilyeneket nem tudna senki felmutatni. Az istenhit ugyanúgy vezethet egy-egy tudományos kérdés megítélésében áltudományos előítéletes megközelítésre, mint bármely ateista filozófián alapuló előítélet. Az istenben való hit nem áltudomány, de nem is tudomány!

### A természettudomány működése

A természettudósok leírják a természeti jelenségeket, a leírás során okokozati kapcsolatokat keresnek, az okozati tényezőkre pedig mennyiségi jellemzőket igyekeznek alkotni. A jellemző mennyiségek között matematikai kapcsolatokat tárnak fel, majd megpróbálják valamilyen értelmes modell segítségével a kapcsolatokat értelmezni. A folyamatok értelmezése, modellezése nem mindig sikeres. A modell megkönnyíti a megértést, de a tudományos tény, az azt leíró matematikai összefüggés akkor is érvényes marad, ha nem tudunk könnyen elképzelhető modellt létrehozni.

A természettudományok sosem egyszeri jelenségekkel foglalkoznak. A megismételhetőség, a megfigyelések, számítások mások általi ellenőrizhetősége a tudomány fontos elvárása. Azok a jelenségek, amelyek nem felelnek meg ennek a feltételnek, nem tartoznak a tudomány hatókörébe.

A tudomány társadalmi jelenség. A tudósokat ugyanúgy érdekeik, vágyaik hajtják, mint minden embert. A tudomány a mai korban jelentősen épít az együttműködésre. Mivel a tudományos kutatás költségigényes, a tudósok kiemelt feladata a tudományos munka fontosságának, társadalmi hasznosságának bemutatása a tudományokkal nem foglalkozó emberek számára.

**NE FELEDD!**

**Természettudományos ismereteink szerint a bolygók és a távoli csillagok nem gyakorolnak számottevő közvetlen hatást az emberek életére. Az asztrológia feltevései a születéskori bolygóállás és az emberi sors közötti kapcsolatról tudományos szempontból megalapozatlanok. Minden olyan rendszer áltudományosnak tekinthető, amelyik tudománynak akarja magát mutatni, de a tudománnyal szemben állított feltételeket nem teljesíti. Ugyanakkor, ha valami tudományos szempontból nem igaz, vagy nem vizsgálandó, attól abban hinni, azt elfogadni bárkinek szabadságában áll mindaddig, míg hite nem vezeti ön- és közveszélyes cselekedetekre. A tudomány nem képes a lét minden kérdésére választ adni, és bár meglehetősen hatékony eljárásnak tűnik a világ megismerésében, eszközei behatároltak.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Keress rád vonatkozó horoszkópokat különböző honlapokon (újságokban), hasonlítsd össze állításaikat! Milyen általánosságokat és milyen konkrétumokat találtál? A konkrétumok mennyiben voltak azonosak a két forrás esetében?
2. Végezzétek el az alábbi kísérletsorozatot: Kérdezzétek meg egy barátotokat, ismerősötöket, hogy melyik csillagjegyben született. Utána keressetek egy-egy másik ismerőst, aki ugyanabban a jegyben, illetve egy másik jegyben született. Avassátok be őket a kísérletbe! Aki a barátotokkal azonos jegyben született, az mondja azt, hogy másik jegyben született, aki meg másik jegyben, mondja azt, hogy azonos jegyben. Egy beszélgetés során próbálja kideríteni a barátotok, melyikükhöz hasonlít jobban a természete. A próbát többen és többször elvégezve levonhatjátok a megfelelő következtetéseket!
3. Mi lehet a magyarázata annak, hogy a középkorban az asztrológia és asztronómia együtt fejlődött?
4. Milyen fizikai hatások érnek minket a Földön, egy bolygónkról szabad szemmel látható csillag esetében?
5. Mit mondhatunk ennek a hatásnak a nagyságáról, összevetve a Nap Földre gyakorolt hatásával?
6. Milyen hatást gyakorol ránk a Nap, a hozzánk legközelebbi csillag?
7. Milyen csillagászati szempontok alapján születhet valaki valamelyik csillagjegyben?
8. Te milyen áltudományos nézeteket tartasz elfogadhatónak?
9. Hogyan tudod igazolni egy nézetről, hogy áltudományos?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Miért hisznek az emberek áltudományos nézetekben?
2. Nevezz meg olyan biológiai ciklusokat, melyek csillagászati ciklusokkal esnek egybe! Mi lehet az egybeesés oka?
3. Miért tudománytalan a csillagképeket összetartozó csillagoknak tekinteni? Milyen tények igazolják, hogy az egy csillagképbe tartozó csillagok általában egymástól teljesen függetlenek?
4. A tudomány társadalmi jelenség. Olykor a tudósok is alkotnak olyan elméleteket, melyek nem felelnek meg a tudomány kritériumainak. Mi lehet a magyarázata ennek a jelenségnek?
5. Mutass be az internet segítségével olyan jelenségeket, melyek alkalmasak az emberek megtévesztésére, mert bár tudományosan nem megalapozottak, azt a látszatot keltik, mintha azok lennének!
6. Fogalmazd meg, mi a különbség és mi a hasonlóság a tudomány, az áltudomány és a vallásos hit között!

# 61. | A Föld csillagkörnyezete

*Bolygórendszerünk központi csillaga a Nap, mely egyike galaxisunk, a Tejútrendszer milliárd és milliárd csillagának. Hogyan hat Földünkre a Nap? Hol helyezkedik el a Naprendszer galaxisunkban? Ezeket a kérdéseket vizsgáljuk ebben a fejezetben.*

**EMLÉKEZTETŐ**

A Nap, a fényt és életet adó égitest, mindig meghatározó szerepet játszott az emberiség gondolkodásában. Az első Napközéppontú világkép a görög Arisztarkhosz nevéhez fűződik Kr. e. 200-ból. Kopernikusz fő műve, a *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Az égi körök forgásai) 1543-ban, halála évében jelent meg, ami a Napot végleg középpontba helyezte. Az elmúlt évszázadokban a spektroszkópia révén a Nap fényének összetétele elemezhetővé vált, így megismerhettük a Nap anyagát. A XX. század első évtizedei óta azt is tudjuk, hogy a Nap energiáját magfúzió révén termeli.

## Csillagunk, a Nap

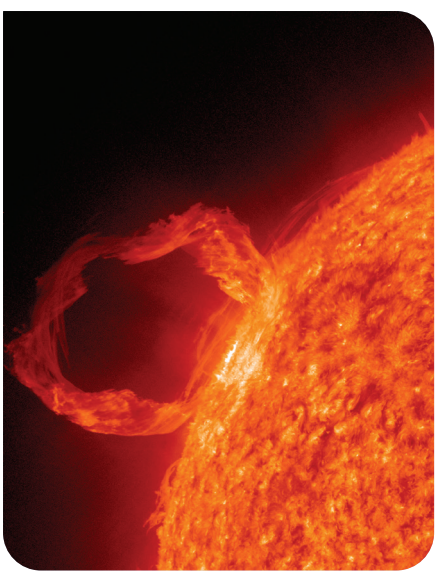
A Nap látható felszíne a fotoszféra. Mivel ez nem szilárd burok, a Nap tekinthető ekkorának is, nagyobbnak is ennél. Nagyobbnak is, hiszen a napszél, a Napból érkező elektromos részecskék zápora messze-messze túlnyúlik a fotoszférán. Nehéz lenne egyszerűen azt mondani, hogy a Nap egy gázgömb, mert a belsejében a nagy nyomás hatására minden földi anyagénál nagyobb sűrűség alakult ki. A Nap megfigyelhető tulajdonságait jól értelmező, elfogadott modell szerint a hőmérséklet a Nap belsejében 16 000 000 K körül van. A Föld felszínén mérhető légköri nyomásnál négyszázmilliárdszor nagyobb nyomáson és a rendkívül magas hőmérsékleten a Nap hidrogénatommagjai héliumatommagokká egyesülnek, és a folyamat során hatalmas energia szabadul fel. A jelenséget **magfúzió**nak nevezzük. A Nap anyagának 90%-a hidrogén és 9%-a hélium. A hélium mennyisége a hidrogénhez képest a Nap öregedésével növekszik. A fúzió során mind összetettebb szerkezetű atommagok jönnek létre, és ezek újabb fúziós folyamatokban vesznek részt.

## Minek köszönhető a Nap stabilitása?

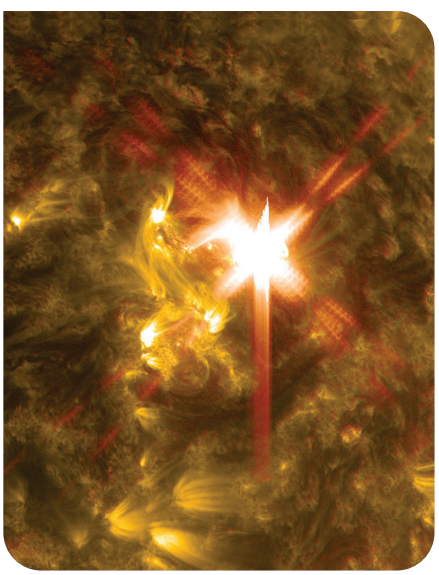
A Nap forró gázgömbjének egyensúlyi állapotát a gravitáció, a gáz nyomása és a fénynyomás tartják fenn. A gáznyomás és a fénynyomás a gázgömböt szétfeszítené, míg a gravitáció összeroppantaná. A Nap egyensúlyi állapota lényegében a gáznyomás és a gravitációs összehúzódás egyensúlyát jelenti, mivel a fénynyomás hatása egy Nap méretű csillag esetében a gáznyomáshoz képest elhanyagolható.

A Nap tömegéből, méretéből és az egyensúly tényéből hatékonyan lehet következtetni a belsejében uralkodó állapotokra.

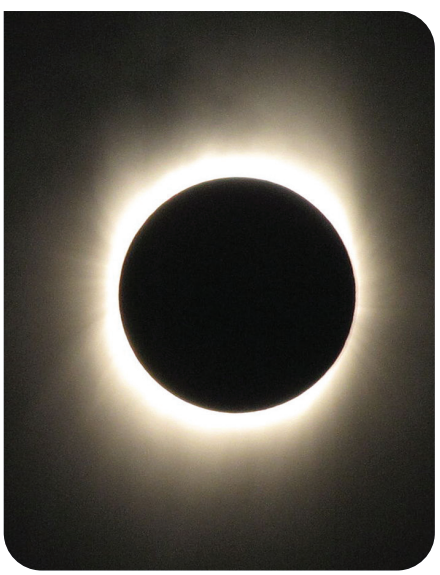
## A Nap felszíne



Protuberancia

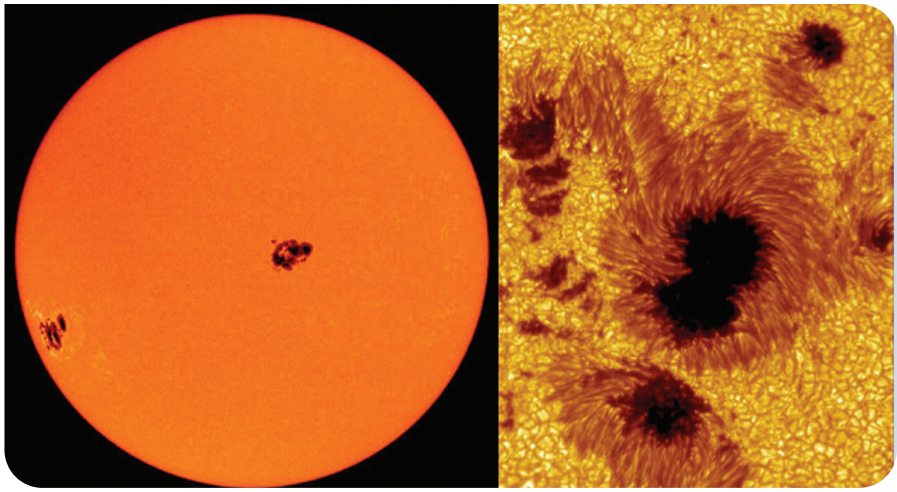


Fler

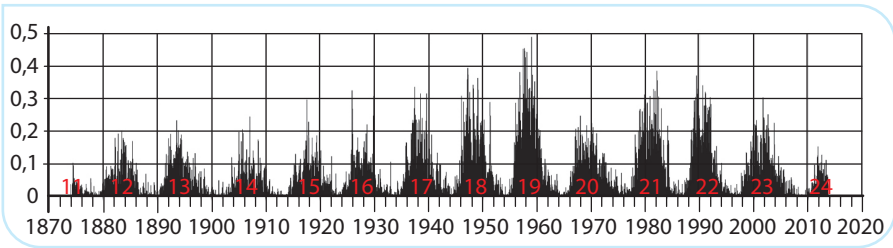


Napkorona

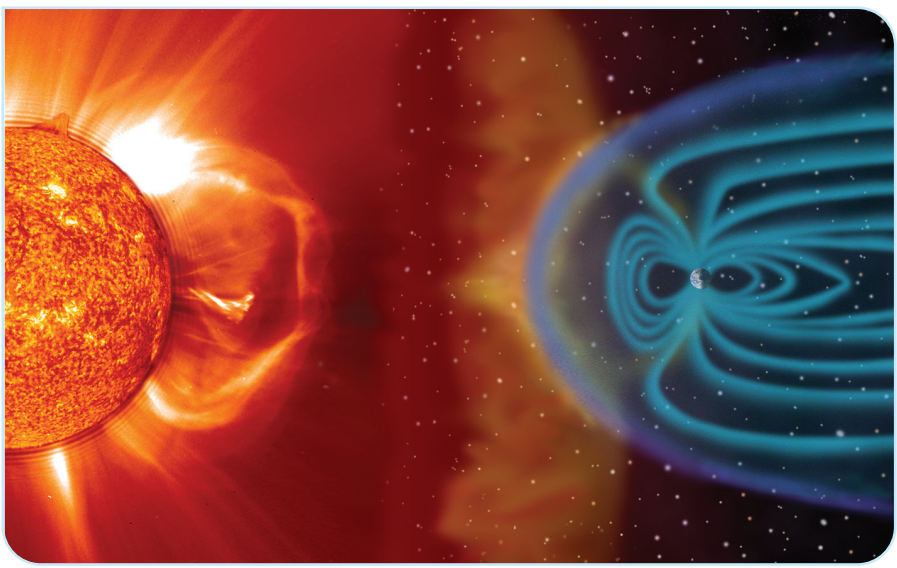
A Nap fotoszférájának 1000–1500 km-es ködös sávjában a hőmérséklet mindössze 5800 K, és a nyomás csak alig ezredrésze a földinek. A Nap felszíne és az azt körülvevő naplégkör állandóan változik. Ezt bizonyítják a protuberanciák és a flerek. A protuberanciák a fotoszférát százezer kilométerre is elhagyó, majd a Nap felszínére ismét visszahulló hatalmas anyagáramok, a flerek a naplégkör erős felfénylései. A Nap felszínét a csak napfogyatkozáskor megfigyelhető ritkás anyaghalmaz, a napkorona veszi körül. A Nap felszínének feltűnő jelenségei a napfoltok. Ezek a napfelszínnél sötétebb objektumok mintegy 2000 fokkal hidegebbek, mint környezetük. A napfoltok keletkezési helye 11 év alatt a Nap egyenlítője felé húzódik, majd a napfoltok eltűnnek, hogy az Egyenlítőtől távol újra megjelenjenek. Érdekes tény, hogy a napfoltokban a mágneses tér lényegesen erősebb, mint környezetükben. A napfoltok periódusai nem tekinthetők stabilnak. Időnként több évtizedig teljesen foltmentes a Nap, ilyenkor gyenge a naptevékenység, a nap aktivitása kisebb. Jelenleg is évek óta hiába várjuk a napfoltok számának megszokott növekedését, nem ismerjük a késedelem okát.



Napfoltok




Napfoltciklusok – a diagram azt mutatja, hogy havonta a nap látható felének hány százalékát foglalták el napfoltok



A Nap és a Föld mágneses terének kölcsönhatása

## SZÁMOLJUK KI!

*Feladat:* A napállandó 1366 W/m$^2$, ami azt jelenti, hogy a földi légkör tetejének egy négyzetméterére merőlegesen 1366 W teljesítménnyel sugároz a Nap. Becsüld meg a Földet érő teljes sugárzási teljesítmény nagyságát!

*Megoldás:* A Föld átlagos sugara közelítőleg 6370 km. Felületének és a napállandónak az ismeretében adhatjuk meg a keresett sugárzási teljesítményt. Azonban egyszerre csak a Föld egyik oldalát világítja meg a Nap, és a középpont kivételével azt sem merőlegesen. Ezért a számítás során a félgömb napsugárzásra merőleges vetületét kell csak figyelembe vennünk, ami éppen egy gömbi főkör területe ($R^2\,\pi$). Így a kérdéses teljesítmény:

$P = R^2\,\pi \cdot I = 6{,}370^2 \cdot 10^{12} \cdot \pi \cdot 1366\,\text{W} = 1{,}74 \cdot 10^{17}\,\text{W}.$

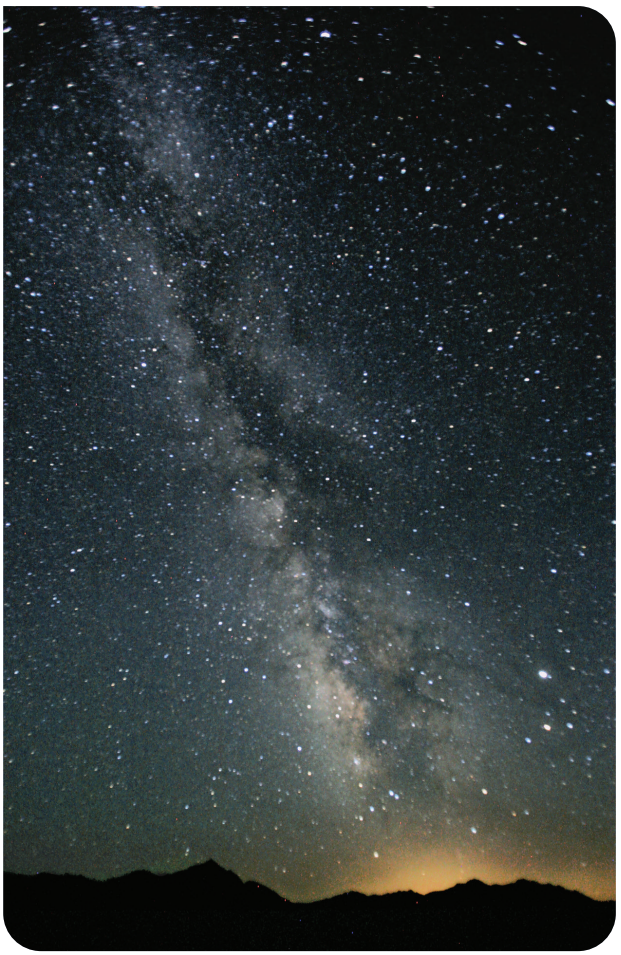
Aurora borealis, azaz északi fény

## Hallottál róla?

Erős naptevékenység esetén a Napból kilökődő anyag kárt okozhat a műholdakban, űrszondákban, a megnövekedett sugárzás veszélyeztetheti az űrhajósok, illetve a pilóták egészségét. A töltött részecskék áramlása mágneses viharokat kelthet, ami megzavarhatja az iránytűket, és a magasabb szélességi körökön kóboráramokat indukálhat az elektromos rendszerekben, ami áramkimaradáshoz vezethet. A sarki fény jelensége ilyenkor intenzívebb, és kisebb szélességi körökön, különleges esetekben Magyarországról is megfigyelhető.

## Galaxisunk, a Tejútrendszer

A szabad szemmel megfigyelhető csillagok nagyon közel vannak hozzánk. Közel, ha kozmikus távolságokban gondolkodunk, távol, ha emberi léptékekben. Ezek a csillagok mind ugyanannak a nagyobb csillagcsoportosulásnak, galaxisnak a részei, melyhez a Nap is tartozik. Ezt a galaxist Tejútrendszernek nevezzük. Ha széttekintünk az éjszakai égbolton, magunk is meggyőződhetünk arról, hogy a mi galaxisunkban a csillagok elhelyezkedése nem lehet egyenletes, hisz az égen a Tejút csillagokkal telehintett fényes sávját figyelhetjük meg. Először Christian Huygens fogalmazta meg a feltételezést, hogy Napunk egy nagyobb csillagcsoportosulás része, és ezen csoportosuláshoz tartoznak a Tejút csillagai. Bizonyítékot a merész állításra jóval később, csak további galaxisok távcsöves megfigyelése szolgáltatott.



A Tejút

## Tőled függ!

A Napból érkező ultraibolya sugárzás nagy dózisban káros lehet az emberi szervezetre. Kis mennyiségben viszont elengedhetetlen a szervezet D-vitamin-termeléséhez. Nyáron, amikor erős a sugárzás, 11 és délután 3 óra között kerüld a nyílt napon való tartózkodást, vagy ha ez nem megoldható, védd bőrödet a leégéstől. Az UV sugárzást a felső légköri ózonréteg szűri, mely az utóbbi időben elvékonyodott. Hogy ebben mekkora szerepe van az emberi tevékenységnek, az ózont pusztító gázok kibocsátásának, nem tudjuk pontosan. A legnagyobb ipari országok egyezményt írtak alá az ózonrétegre veszélyes gázok kibocsátásának csökkentéséről az 1989-es évtől kezdődően. Az a tény, hogy a montreali egyezmény életbelépése óta elkezdett vastagodni az ózon, arra enged következtetni, hogy az emberi hatás jelentős volt, és így az időben felismert veszély csökkenthetővé vált.

## A galaxisokról általában

A mi galaxisunk, a Tejútrendszer **spirálgalaxis**. Ez a forma nem különleges az univerzumban, de nem is kizárólagos. A spirálgalaxisokon kívül léteznek **elliptikus** és **szabálytalan galaxisok** is. Ezek a legfontosabb alaptípusok, de az osztályozás természetesen finomítható.

A spirálgalaxis központi részét magnak nevezik. A galaxismag belsejében a csillagok lényegesen sűrűbben helyezkednek el, mint a galaxis többi részében. A mag középpontja körül középpontosan szimmetrikus elhelyezkedésű spirálkarok forognak.

A Tejútrendszer esetében 240 millió év kell a spirálkarok egyetlen fordulatához. A tiszta éjszakák varázslatos Tejútja nem más, mint a mi galaxisunk spirálkarja.

Spirálgalaxis

Elliptikus galaxis

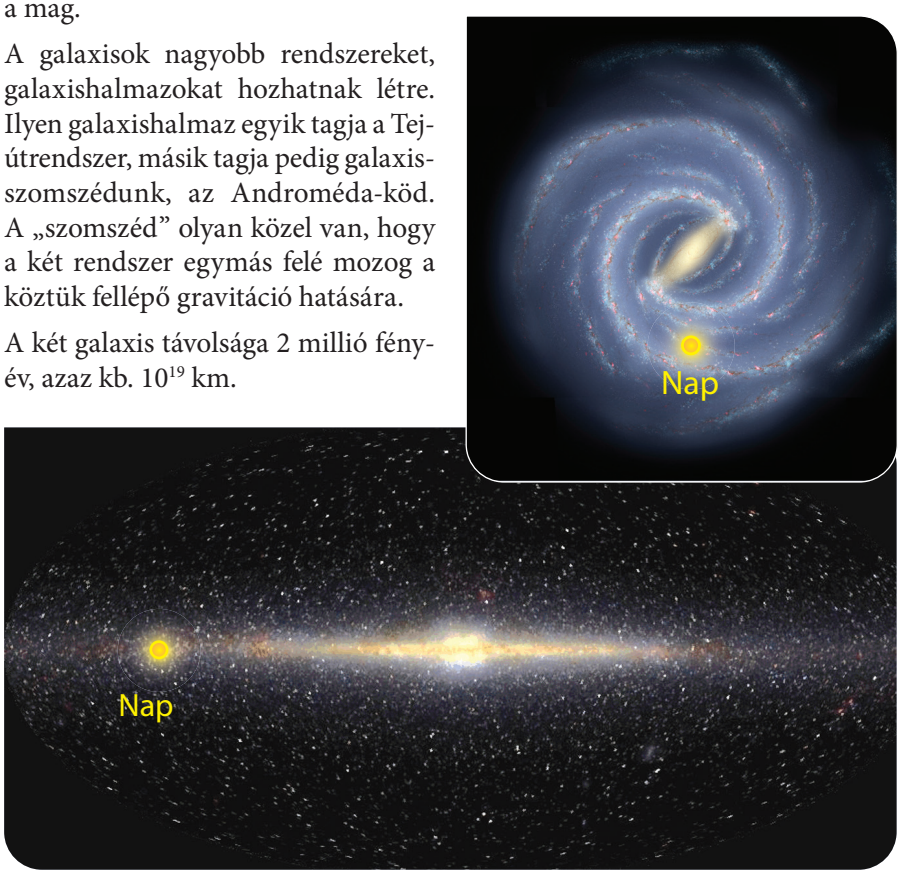
## A Naprendszer helyzete a Tejútrendszerben

A Tejútrendszer 100 000 fényév átmérőjű, azaz 100 000 év szükséges ahhoz, hogy a fény az egyik szélétől a másikig érjen. Ha ez a távolság soknak tűnik, gondoljunk arra, hogy a mi galaxisunk csak egyike a világegyetem milliárd és milliárd galaxisának, és egy galaxis nagysága sokkal kisebb, mint akár két szomszédos galaxis távolsága.

Galaxisunk középpontjától és külső peremétől nagyjából azonos távolságra, két spirálkar között helyezkedik el a Nap, a mi csillagunk. Galaxisunk spirálkarjai egy síkban helyezkednek el. Ennek a „síknak" persze van vastagsága, de ez sokkal kisebb a galaxis átmérőjénél, ahogy egy korong vastagsága is sokkal kisebb az átmérőjénél. Ebből a korongból középen alul és felül kiemelkedik a mag.

A galaxisok nagyobb rendszereket, galaxishalmazokat hozhatnak létre. Ilyen galaxishalmaz egyik tagja a Tejútrendszer, másik tagja pedig galaxisszomszédunk, az Androméda-köd. A „szomszéd" olyan közel van, hogy a két rendszer egymás felé mozog a köztük fellépő gravitáció hatására.

A két galaxis távolsága 2 millió fényév, azaz kb. $10^{19}$ km.




A Naprendszer a Tejútrendszerben

### Hogyan volt régen?

**„A Téj útról**

A Téj út-is (Via lactea, Galaxis), az a' téj színű, széles öv forma, a' melly mint valamelly öv, vagy széles Abronts, az egész Eget éppen a közepe táján körül fogni láttatik, a mint a nagyító üvegek mutatják, nem egyéb, hanem sok ezer millio megszámláhatatlan Állo-Tsillagoknak sokasága; a' mellyek az Égnek ezen a' részén, megmérhetetlen messzeségre vagynak egymás után: és ezért tetszenek azok egymáshoz közelebb, mint valamelly erdőben a' messzebb lévő fák sűrűbbeknek látszanak, mint a' közelebb valók; ezeknek egybe-jövő fények okozza azt a' téj forma fényességet az Égen."

*(Katona Mihály: A' Föld mathematica leírása. A' világ' alkotmányával együtt, Komárom, 1814)*

## NE FELEDD!

**A Nap belsejében magfúzió révén szabadul fel az energia. Csillagunk egy óriási gázgömb (pontosabban plazmagömb, azaz ionizált gázok és szabad elektronok keveréke). A Nap által kibocsátott elektromágneses sugárzáson túl a naptevékenység egyéb formái is hatást gyakorolnak a Földre. A Napból kiáramló töltött részecskék mágneses viharokat okoznak, a Nap kelti a sarki fényt, a Napból kiinduló és oda visszahulló anyagáramlások a protuberanciák.**
**Galaxisunk, a Tejútrendszer spirálgalaxis, egyike a milliárdnyi galaxisnak. A galaxiskarok 240 millió éves periódussal forognak galaxisunk magja körül. A Naprendszer a 100 000 fényév átmérőjű galaxisunk két karja között helyezkedik el, nagyjából azonos távolságra a galaxismagtól és a galaxis külső peremétől.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Honnan származik a Nap energiája?
2. Milyen frekvenciatartományban érkezik sugárzás a Napból a Földre?
3. Milyen frekvenciákat szűr ki a Föld légrétege?
4. Hogyan védekezhetünk a káros UV sugarakkal szemben?
5. Hogyan befolyásolhatja az emberi tevékenység a Napból a Föld felszínére érkező sugárzást?
6. Hol helyezkedik el a Naprendszer a Tejútrendszeren belül?
7. Jellemezd galaxisunkat, a Tejútrendszert!
8. Körülbelül hány csillag lehet galaxisunkban?
9. Lehetnek-e más, lakható bolygók a galaxisunkban?
10. Merre figyelhető meg az Androméda-köd nevű galaxis a Földről?
11. Mit jelent a galaxisról szerezhető információk szempontjából, hogy az Androméda-köd kétmillió fényévre van tőlünk?
12. A spirálgalaxisokon kívül léteznek egyéb típusai a galaxisoknak. Melyek ezek?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mik azok a napfoltok, milyen sajátságaik vannak?
2. Milyen hatást fejtenek ki a Földre az aktív nap részecskezáporai?
3. Nézz utána annak, hogy várhatóan mikor fog összeütközni a Tejútrendszer és az Androméda-köd!
4. Mik azok a flerek?
5. Van-e kapcsolat az Északi- és Déli-sarkon megjelenő sarki fény között?
6. Mivel a Föld légköre szűri a napsugárzást, azért a Föld felszínére merőleges irányban közelítőleg 1 kW/m$^2$ teljesítmény sugárzott energia jut maximálisan, felhőmentes időben. Közelítőleg mennyi energia érné pupillánkat másodpercenként, ha egyenesen a Napba bámulnánk? Hogyan lehetne megbecsülni, hogy ennek az energiának hányadrésze tartozik a látható fény tartományába? És hogyan lehetne azt megbecsülni, hogy másodpercenként hány sárga foton érkezne a szemünkbe?
7. Milyen „vastag” a 100 000 fényév átmérőjű Tejútrendszer? Mekkora a kiterjedése a spirálkarok síkja alatt és fölött?
8. A spirál-, az elliptikus és a szabálytalan galaxisokon kívül még milyen egyéb galaxisok léteznek?

Szabálytalan, spirál és elliptikus galaxisok

# 62. | Utazás a Naprendszerben – Föld típusú bolygók

*A Naprendszer meglehetősen változatos „világait” a jövendő űrturista szemével látogatjuk végig. Milyen fizikai viszonyok uralkodnak égitest szomszédainkon, milyen lehetőségeket hordoz mindez a Föld nevű lakott bolygó élőlényei számára?*

**EMLÉKEZTETŐ**

A Naprendszer a Nap nevű csillag bolygórendszere, közel egy síkban keringő bolygókkal, melyek a központi csillagukat azonos irányban kerülik meg, és közben zömmel ezzel megegyező irányban forognak tengelyük körül. A bolygókat a Nap gravitációs vonzása kényszeríti ellipszispályára a Kepler-törvényeknek megfelelően. A Naprendszer tömegének 99%-a a Napban összpontosul. A Naprendszerben a bolygókon kívül számos objektum található. A Mars és a Jupiter között, valamint a Neptunusz pályáján túl elhelyezkedő kisbolygóövek, üstökösök, meteorok (meteorrajok) és rengeteg bolygóközi por mozog a Nap gravitációs vonzásának alávetve.

## A Merkúr

A Merkúr a Naphoz legközelebb eső bolygó. Ezért a Földről csak közvetlen naplemente után vagy napfelkelte előtt lehet látni. A Merkúr a Földről nézve sosem távolodik el a Naptól 28 foknál jobban. A Merkúr két keringés alatt mindössze három forgást végez, és így a napsütötte és az éjszakai oldala nagyon lassan cserél helyet egymással. Ennek következménye, hogy míg napos oldalának felszínén a hőmérséklet 430 °C körül van, addig az éjszakai oldalon a hőmérséklet akár –170 °C alá is csökkenhet. A bolygó légköre nagyon ritka, ezért nem égnek el légkörében a meteorok, és így felszínét becsapódási kráterek szabdalják.

A Merkur

## A Vénusz

A Vénusz bolygó, a Nap és a Hold után, a Földről megfigyelhető legfényesebb égitest. Tiszta időben, este vagy hajnalban, amikor még nem bukkant fel a Hold, vagy már lement, a földi tárgyak halvány árnyékot vetnek a Vénusz fényében. Mivel ez a bolygó a Merkúrhoz hasonlóan a Föld és a Nap között helyezkedik el, megjelenése vagy napfelkelte előtt várható, vagy napnyugta után következik be. Ezért nevezik Esthajnalcsillagnak is.

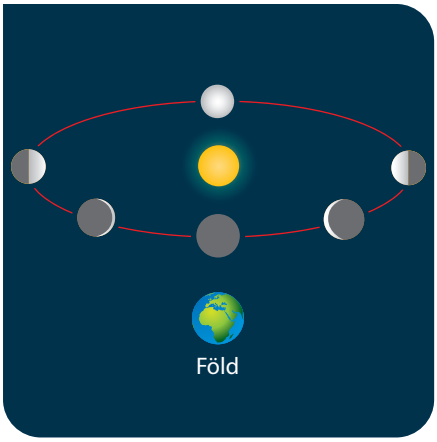
### Hallottál róla?

**Ahol kétszer megy le a Nap**

A Merkúr forgási és keringési idejének arányából, valamint a pálya alakjából az űrturisták számára érdekes jelenség következik, a kettős naplemente. A Merkúr pályájának megfelelő pontján a bolygó felszínén lévő űrturista megfigyelheti, amint a Nap lemegy, majd közvetlen ezután egy rövid időre ismét a horizont fölé emelkedik, hogy utána megint lemenjen.

**FIGYELD MEG!**

A képen nagyjából fél Merkúrt látunk. Honnan süt a Nap? Miért vannak az égitestnek fázisai?




A Vénusz fázisai

A Naprendszer bolygói közül a Vénusz közelíti meg legjobban a Földet, ilyenkor távolsága mindössze 42 000 000 kilométer. Amikor a Föld és a Vénusz a Nap ellentétes oldalán helyezkedik el egymással szemben, távolságuk ennek hatszorosa. A Vénusz, mivel belső bolygó, fázisokat mutat, akár a Hold. Ez azt jelenti, hogy a Vénusz megvilágított félgömbjéből csak egy részt látunk a Földről, attól függően, hol helyezkedik el a Vénuszhoz képest a Föld. A Vénusz Földről megfigyelhető fényessége e két tényezőtől függ.

A Vénusz fázisait Galilei fedezte fel kezdetleges távcsöve segítségével. A fázisok megfigyelése fontos érvet szolgáltatott számára a Nap-középpontú világkép mellett.

A Vénusznak nagyon sűrű légköre van. Felszínén a nyomás a Föld felszínén mérhetőnek 93-szorosa. Az atmoszférát főleg szén-dioxid alkotja, de csekély mennyiségű nitrogén is előfordul benne. Nyomokban különböző savak és vízgőz is kimutatható. A sűrű légkör következménye az erős üvegházhatás. Ennek tulajdonítható, hogy a Vénuszon a felszíni hőmérséklet elérheti a 470 °C-ot.

## Mit gondoltak régen?

A Vénuszt az ókori görögök két csillagnak tartották. A hajnali Vénuszt Foszforosznak (Fényhozó) nevezték, az esti Vénusz nevét Heszperoszról, Zeusz főisten kovácsáról kapta. Szokták Esthajnalcsillagnak is nevezni, mivel akkor látszik. De a Vénusz természetesen nem csillag, nincs saját fénye.

## Tőled függ!

A Vénusz sűrű légkörének tulajdonítható a folyamatos magas hőmérséklet a bolygó felszínén. A Vénusz pokoli hely, rendkívül nagy a légnyomás, meleg van, időnként kénsaveső csepereg.

Ezek az állapotok jól mutatják, hogy milyen következményekkel járhat a nagyon erős üvegházhatás.

Bár a Földet ilyen erős hatás közvetlenül nem fenyegeti, de a globális felmelegedés kérdésére, az emberi tevékenység ebben játszott szerepére feltétlenül figyelnünk kell.

## Hallottál róla?

A sűrű felhőtakaró nehezíti a Vénusz-felszín vizsgálatát. Az biztos, hogy a Vénuszon több ezer méteres hegyek és mély völgyek vannak, olyan (szemmel még távcső segítségével is megfigyelhetetlen) alakzatok, melyeket a felhőkön áthatoló radarhullámok tudnak csak kimutatni.

A bolygó forgási periódusidejének megmérése – mivel semmilyen optikai módszerrel nem lehetett a bolygó felszínén valamilyen azonosítható alakzatot találni –, nagy nehézségekkel járt.

Ami a Vénusz forgásában a legérdekesebb, hogy iránya ellentétes a többi bolygó forgásával. Mivel a bolygók a Vénusz és az Uránusz kivételével egy irányba forognak, a Vénusz és az Uránusz úgynevezett retrográd forgású. Ez tengelyük 90 fokot meghaladó ferdeségével magyarázható. A tengelyferdeség vélhetőleg korai kozmikus ütközések eredménye.

A Vénusz fázisai 2004. februártól júniusig az Európai Déli Obszervatórium (ESO) felvételein

## Hallottál róla?

**Felhőváros a Vénusz felett**

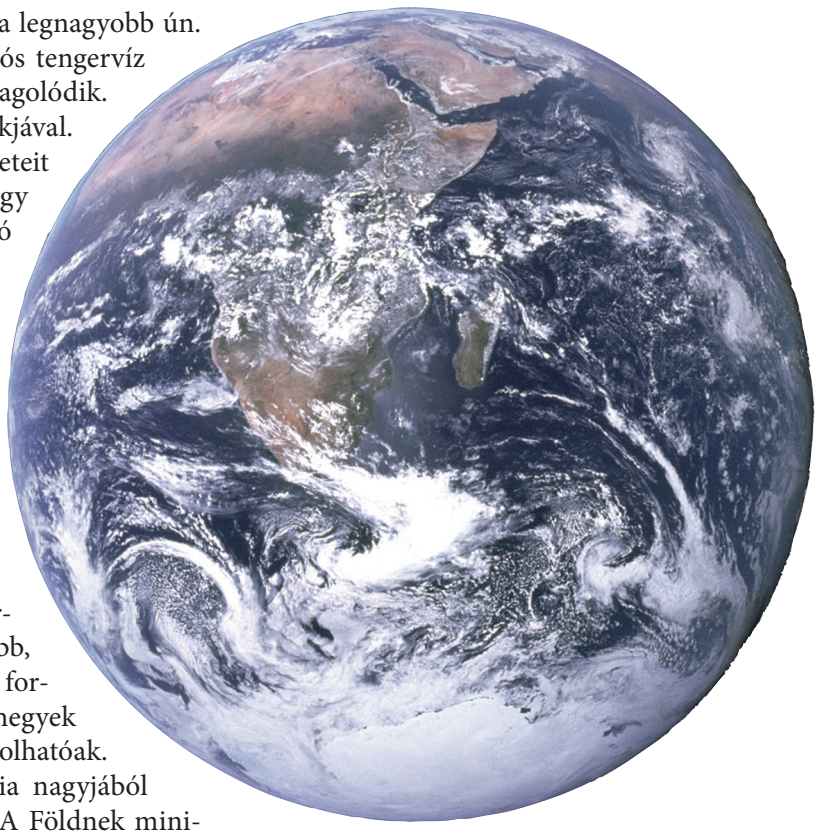
Mivel a Vénusz felszíne az emberi élet számára élhetetlen, a NASA a vénuszi felhők felett építene bázist egy expedíció számára.

**A Vénusz „szarvai”**

A Vénusz sűrű légkörének következménye a rendhagyó fénytörés. A Földről megfigyelt újvénusz sarlójának szélei túlnyúlnak a Nap által közvetlenül megvilágított részen. Ezeket a túlnyúló fényes tartományokat nevezik a Vénusz szarvainak, és a sűrű légkörről árulkodnak.

## A Föld

A Föld mind sűrűségét, mind méretét alapul véve a legnagyobb ún. kőzetbolygó. Felszínének 71%-át víz, elsősorban sós tengervíz borítja. A szilárd kéreg kontinensekre, szigetekre tagolódik. Tengelye ferde, 23,4 fokot zár be az ekliptika síkjával. Ennek következtében a felszínének különböző területeit a keringés során eltérő szögben érik a Nap sugarai, így a felszíni hőmérséklet nemcsak a forgásból fakadó napi periódusban, hanem a keringéshez köthető évszakos periódusban is változik. Tengelye az északi pólus felől a Sarkcsillag felé mutat jelenleg, de precessziójának (lassú elfordulásának) következtében 26 000 éves periódussal egy 23,4 fok félnyílásszögű kúp mentén elfordul. A precesszió iránya a keringési iránnyal ellentétes. A Föld tengelye a Föld anyagához képest is mozog, így a pólusok helyzete nem stabil, kb. 415–433 napos periódussal (Chandler-periódus) 10–15 méterre távolodnak el átlagos helyzetüktől. A Föld alakja közel gömb, a forgás következtében a sarki átmérője 42,6 km-rel kisebb, mint az egyenlítői átmérő, azaz kismértékben lapult forgási ellipszoid alakja van. Felszíni alakzatai, a magas hegyek és mély völgyek a Föld sugarához képest elhanyagolhatóak. A Föld által kibocsájtott, illetve visszavert energia nagyjából megegyezik a Napból a Földre érkező energiával. A Földnek minimális saját energiatermelése is van. Az anyagában található radioaktív izotópok bomlása során energia szabadul fel, de ez az energia elhanyagolható a földi kisugárzáshoz képest.

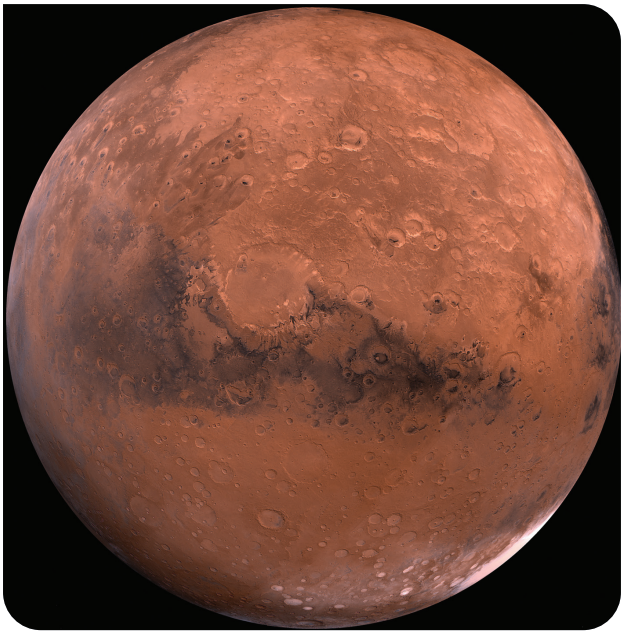


A Föld, a kék bolygó

A Föld az egyetlen általunk ismert hely az univerzumban, mely életet hordoz. Az élet létrejöttének feltételeit a különösen kedvező fizikai viszonyok (nyomás, hőmérséklet), és ennek következtében a folyékony halmazállapotban is jelen lévő víz biztosította. Alapvető az élet szempontjából a bolygó mágneses tere, mely pajzsként védi a felszínt a Napból érkező ionizált részecskék záporától, a napszéltől.

## A Mars

A Mars kráterekkel teletűzdelt, hatalmas hegyekkel, mély völgyekkel borított bolygó. Hegyei magasabbak, völgyei mélyebbek, mint a Föld felszíni alakzatai, melynek oka a földinél közel háromszor kisebb nehézségi gyorsulásban keresendő. Itt található a Naprendszer legmagasabb hegye, az Olympus Mons 27 km-es, tekintélyt parancsoló magasságával. A Marson van a Naprendszer legnagyobb kanyonrendszere, a Valles Marineris is, mely 4000 km hosszú és 7 km mély. A Mars felszínét vörös homok- és kősivatagok borítják. A táj egy-



A Mars a Schiaparelli-kráterrel

hangúságát a sarkvidékek hósapkái törik meg. Ezek a hósapkák részben fagyott vízből állnak, de a zömük szén-dioxid-hó, vagyis szárazjég.

A Mars tengelye a Földével majdnem pontosan megegyező szöget zár be keringési síkjával, így itt is megfigyelhetjük az évszakok változását. A hósapka is követi ezt a változást, télen a Mars egyenlítője felé húzódik, kiterjed, nyáron ismét lecsökken. A Mars hatalmas folyóvölgyszerű képződményeit valószínűleg az egykor folyékony víz hozta létre, melyből a bolygón bőven van, jelenleg fagyott formában, a hósapkákba és a talajba fagyva.

A Mars légköre meglehetősen ritka, a légnyomás a felszínén a Földön mérhető értéknek kevesebb mint 1%-a. A Mars légkörét zömében szén-dioxid alkotja. Az üvegházhatás gyenge, így a marsnapi hőingadozás nagy. Míg délben a hőmérséklet a Mars egyenlítőjén eléri a +20 °C-ot, addig éjjel –70 °C alá süllyed. A sarki sapka hőmérséklete –140 °C körül van.

## Hallottál róla?

A Mars légkörében nagy kiterjedésű sárga felhőket is megfigyeltek, melyeket a Mars sivatagaiban dühöngő porviharok kavarta porfelhőknek tartanak. Időnként olyan erős porvihar dúl a Marson, hogy a porfelhők egészen elfedik a bolygót a fürkésző tekintetek elől.

A Marsnak két aprócska holdja van, melyeket a gravitáció nem tudott gömb alakba kényszeríteni. A két szabálytalan, kráter szaggatta test kényelmesen elférne a Mars valamelyik nagyobb szakadékában. A 22,2 km

A Phobosz

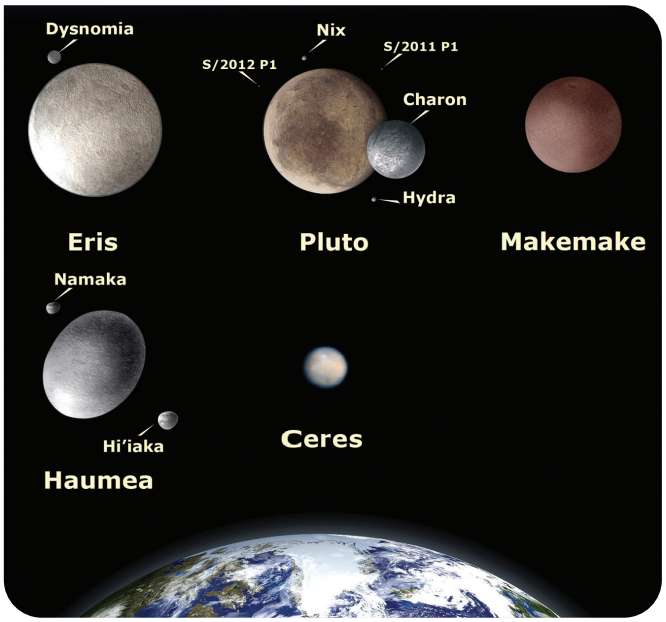
A Deimosz

átmérőjű Phobosz és a 12,6 km átmérőjű Deimosz egyike a legkisebbeknek a Naprendszer eddig felfedezett valamennyi holdja között.

## METEOROK, ÜSTÖKÖSÖK *(Olvasmány)*

A meteorok egyfajta kozmikus törmelékek a Naprendszerben. Ha egy meteor a Föld környezetébe ér, annak légkörében felizzik. Az emberek ilyenkor hullócsillagról beszélnek. A meteorok jelentős része nem éri el a Föld felszínét, hanem a súrlódás következtében keletkező hő még a légkörben elégeti őket; csak a nagyobb méretűek jutnak el a Föld felszínéig. Ezeket meteoritoknak nevezik. Amelyik eléri a földfelszínt, annak becsapódása iszonyatos pusztítást vihet véghez. A zuhanó test óriási sebességgel vágódik a földbe, és ha elég nagy, hatalmas krátert hozhat létre. Nem véletlen, hogy a Föld égi kísérőjén, a Holdon számos meteoritbecsapódási nyomot találhatunk, mivel annak nincs légköre, ami lefékezné a becsapódó meteorokat. A régi babona szerint minden embernek van csillaga az égen, és ha lehull egy csillag, akkor meghal valaki. A Föld légkörében felizzó kozmikus porszemek, apró kődarabok rövid ideig valóban fényesebbek lehetnek, mint az égbolt legfényesebb csillagai.

## Gondold meg!




A legnagyobb méretű törpebolygók és kisbolygók a Földdel összehasonlítva – közülük törpebolygó a Plútó, a Ceresz, az Erisz, a Haumea és a Makemake

**Törpebolygók**

2006. augusztus 14. és 25. között Prágában rendezték meg a Nemzetközi Csillagászati Unió XXVI. Kongresszusát, melyen döntöttek arról, hogy a Plútó elveszíti a korábbi besorolásban használt bolygó rangját. Ennek legfőbb oka az volt, hogy a Plútónál nagyobb égitesteket fedeztek fel a Neptunuszon kívüli Kuiper-övben. A Plútó trónfosztásával egy időben a kongresszus döntött egy új égitest-kategória, a bolygók és a kisbolygók (aszteroidák) közötti törpebolygó definíciójáról. A törpebolygók – szemben a bolygókkal – nem elegendően nagyok ahhoz, hogy gravitációs hatásuk révén a Nap körüli pályájukat tisztára söpörjék, ugyanakkor elég nagyok ahhoz, hogy saját gravitációs terük gömbbé formálja őket. A törpebolygók kategóriájába soroljuk a Plútót, a Mars és a Jupiter közötti fő kisbolygóöv legnagyobb „egykori" kisbolygóját, a XIX. század elején felfedezett Cereszt, valamit a Kuiper-övből a Haumea, Makemake és a Plútót tömegben és méretben is meghaladó Erisz exokisbolygókat. A mind pontosabb megfigyelések következtében újabb aszteroidákat sorolhatunk át a törpebolygók közé.

## Hallottál róla?

Ahová egy meteorit becsapódik, ott megolvasztja a kőzeteket a lefékeződéskor felszabaduló rettentő hő. Ilyenkor a meteorit anyaga is átolvad, melyet a felületükön megfigyelhető olvadásnyomok bizonyítanak.

A meteoritok anyaguk szerint három nagy csoportba sorolhatók:

1. Vasmeteoritok – összetevőjük elsődlegesen vas és nikkel.
2. Kőmeteoritok – a Föld kérgével megegyező összetételűek.
3. Kő-vas meteoritok – kevert összetételűek.

A Nap körül keringő Föld pályáját augusztus és december környékén keresztezik meteorrajok. Ilyenkor különösen sok hullócsillagot lehet a Földről megfigyelni.

## Mit gondoltak régen?

Az üstökösök a szabad szemmel megfigyelhető égitestek közül a leglátványosabbak. Különleges alakjuk, hosszan elnyúlt pályájuk, fényük, fizikai állapotuk változása évezredeken át foglalkoztatta a csillagokat fürkésző embert. Az üstökösökre a Föld történelmének hosszú évezredeiben úgy tekintettek, mint a halál, a pusztulás hírnökeire. Megjelenésüket természeti katasztrófák, háborúk előjelének tekintették. Egészen a XVI. századig elfogadott elmélet volt, hogy az üstökösök a Föld és a Hold között helyezkednek el, és a Föld kigőzölgései. Tycho de Brahének sikerült először kimutatnia egy üstökösről, hogy a Földtől nagy távolságra van. Edmund Halley-nek hívták azt a csillagászt, aki elsőként állapította meg, hogy az üstökösök ugyanúgy a Nap körül keringő, a Nap vonzásának alávetett égitestek, mint a bolygók, csak pályáik helyezkednek el másképpen. Halley fényesebb üstökösök pályaadatairól maradt feljegyzéseket vizsgálva arra a következtetésre jutott, hogy az 1531-ben, az 1607-ben és az 1682-ben megfigyelt üstökösök azonosak, és ez alapján megjósolta, hogy ez az üstökös 75-76 év múlva vissza fog térni. Tisztában volt azzal, hogy ő ezt már nem éri meg, ezért tanítványaira hagyta elméletének ellenőrzését. Az üstökös a várt időpontban meg is érkezett, és ekkor nevezték el Halley-üstökösnek.

A Halley-üstökös legutóbb 1986-ban járt a Nap és a Föld közelében.

Ez a Halley-üstökösről alkotott kép a GPO teleszkóppal 1986-ban fényképezett 3 külön felvételből készült

A Hale–Bopp-üstökös (1997)

## NE FELEDD!

**A Merkúrnak nincs légköre, ezért nagy a hőingadozás, és a meteorok zavartalanul elérhetik felszínét, becsapódási krátereket okozva. A Vénusznak rendkívül sűrű légköre van, a felszíni nyomás a földi többszöröse, és az erős üvegházhatás miatt a hőmérséklet folyamatosan magas. A Földön különösen kedvező nyomás- és hőmérsékletviszonyok uralkodnak az élet létrejötte szempontjából. A Mars ritkás légkörében gyakoriak a homokviharok, a hőingadozás pedig nagy. Egykor folyók borították a bolygó felszínét. A meteorok folyamatosan bombázzák bolygónkat. A földfelszínt elérő meteorokat meteoritoknak nevezzük. Az üstökösök leginkább piszkos hógolyóként modellezhetők. Az üstökös elnyúlt ellipszispályájának jelentős részén fagyott állapotban kering, de a Nap közelében anyaga párologni kezd, az üstökös kómát fejleszt, és kialakul a ritkás anyagú üstökös csóva. A csóva a napszél hatására mindig a Nappal ellentétes irányban helyezkedik el.**

## AZ ÜSTÖKÖSÖK SZERKEZETE *(Olvasmány)*

Az üstökösöket másképp kométának nevezik, a görög eredetű szó jelentése: hajas, szőrös. Az elnevezés oka pedig az, hogy az üstökös fejét úgy veszi körül a ködszerű, szálas szerkezetű „kóma” vagy üstök, mint ahogy az ember fejét koronázza a haj. Az üstökösök egy része – és ezek a leglátványosabbak – a Nap közelébe érve csóvát ereszt, amely mindig az üstökösnek a Nappal szemközti oldala felé áll, mintha a Napból fúvó szél fújná ki az anyagot az égitestből. És valóban, a csóva kialakításában elsődleges szerepet a Napból kiáramló rengeteg részecske, a napszél játszik. Az üstökös csóvája hatalmas lehet, és a Nap felé közeledve folyamatosan növekszik. Maximális hosszúsága meghaladhatja a 100 000 000 km-t. A csóva az üstökös fejéből indul, mely egy sűrűbb magból és az azt körülvevő kómából áll. Nagy kiterjedése ellenére az üstökös tömege meglehetősen kicsi. Az üstökös csóváján, sőt a kómáján keresztül is látni lehet a mögötte lévő csillagokat. Az üstökösök átlagos tömege nem éri el a Föld tömegének egymilliárdod részét.

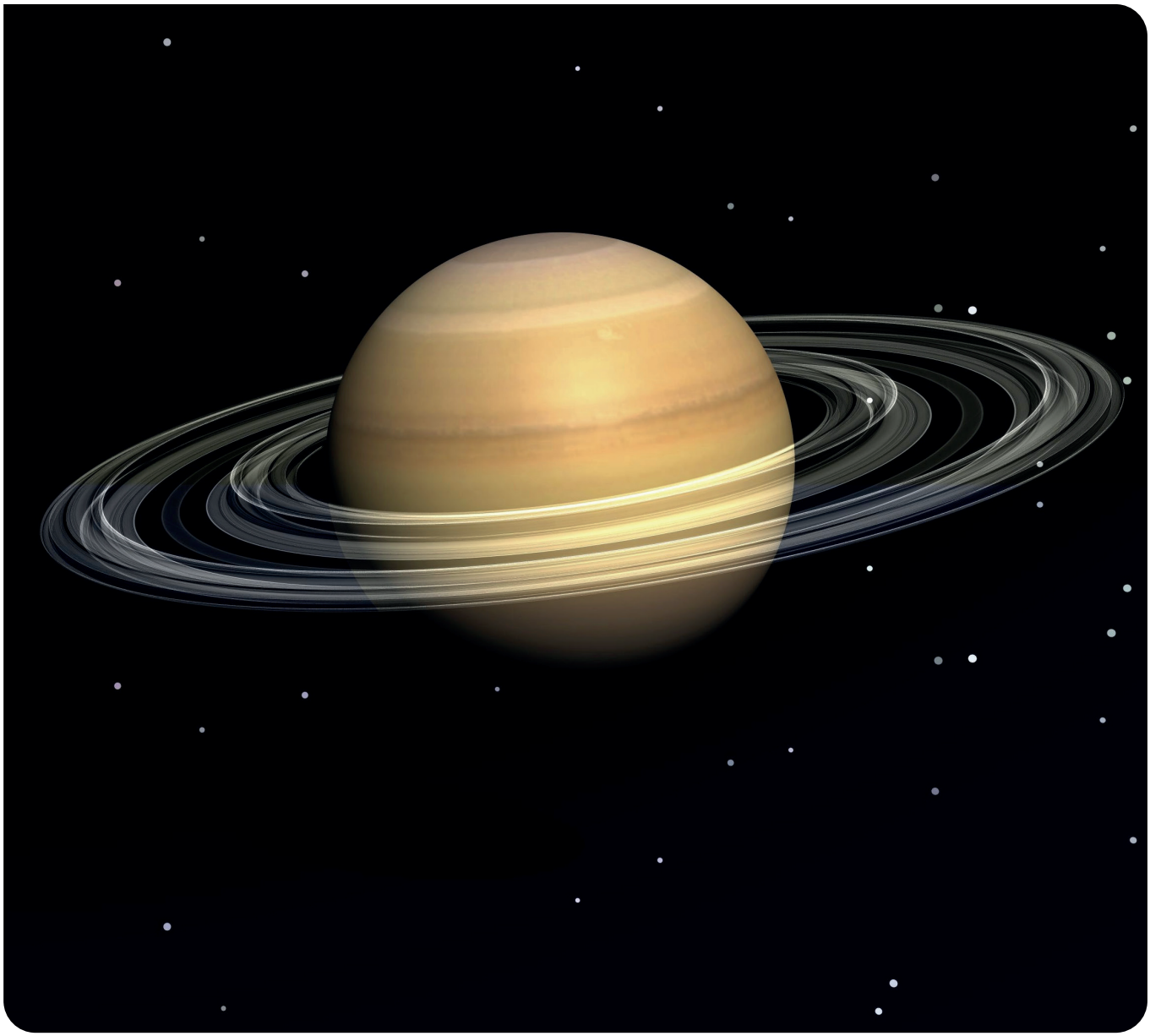
Az üstökösök magja fagyott állapotú gázokat, ammóniát, metánt, szén-dioxidot, valamint vizet tartalmaz, és ezek laza szerkezetű egyvelegében kozmikus törmelékek találhatók. Ha az üstökös a Nap közelébe ér, elkezdenek olvadni, párologni a mag felszínén a fagyott gázok, és ezek hozzák létre a kómát. Ahogy az üstökös a Naphoz közeledik, a napszél a kómát mind jobban eltorzítja, megnyújtja, és így keletkezik a csóva, mely a kómából kiáramló anyagból áll.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A Merkúrt a Holdhoz hasonlóan kráterek szabdalják. Miért?
2. Igaz-e Naprendszerünkben minden bolygóra, hogy a nap keleten kel, és nyugaton nyugszik?
3. Miért gondolták a Vénuszt két különböző csillagnak az ókorban?
4. Miért van mindig a Vénusz a Nap közelében?
5. Mi a magyarázata annak, hogy a Vénusz felszínén éjszaka is pokoli hőség van, míg a Naphoz közelebbi Merkúron jeges hideg?
6. Vannak-e évszakok a Marson? Ha igen, mi a magyarázata?
7. Jellemezd a Merkúr, a Vénusz és a Mars bolygót!
8. Milyen sajátos mozgásai vannak a Földnek?
9. Mik a meteorok és a meteoritok?
10. Mik azok az üstökösök? Melyek a sajátosságaik? Említs meg egy híres üstököst név szerint!
11. Hogy hívják azt az üstököst, melyre először szállt le ember alkotta eszköz 2014-ben? Mi volt az expedíció célja és eredménye?
12. Keress az internet segítségével információkat más híres üstökösökről! Milyen üstökösök fogják megközelíteni a Földet az elkövetkező egy-két évben?
13. Vajon mi történhetett 1908. június 30-án Szibériában, melyet azóta is tunguszkai eseményként tartanak számon?
14. Jelenlegi tudásunk szerint a dinoszauruszok kihalása egy kozmikus eseménnyel kapcsolatos. Mi történt? Miért haltak ki ennek következtében a dinoszauruszok?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi a magyarázata a Merkúr kettős naplementéjének? A Merkúr forgási és keringési periódusának összevetéséből vond le a megfelelő következtetést!
2. A Merkúr pályájának ellipszise lassan elfordul a Nap körül. Nézz utána a neten, mit jelent ez az állítás! A Merkúr pályaelfordulásának (perihélium-elfordulásának) elemzése egy modern fizikai elmélet bizonyítékául is szolgált. Melyik ez az elmélet?
3. A Vénusz a Földről nagyjából mindig ugyanolyan fényesnek tűnik, pedig a Föld és Vénusz távolsága jelentősen változhat. Ugyanakkor a Vénusz fázisainak változása kiegyenlíti a hatást. Mit jelent ez? Mutasd meg, hogy akkor van „újvénusz", amikor a bolygó a Föld közelében van, és akkor van „telivénusz", ha a Földtől távol helyezkedik el!
4. Melyik az a ritka csillagászati esemény, amikor a Vénusz délben is megfigyelhető szabad szemmel a Földről? (Nem csak egy helyes válasz adható.)
5. Alkalmas lesz-e 13 000 év múlva a csillagászati észak irányának meghatározására a Sarkcsillag? Hogyan befolyásolja a földtengely precessziója az évszakok alakulását a Föld északi és déli félgömbjén?
6. Mivel magyarázható, hogy a Mars hegyei nagyobbak a földi hegyeknél?
7. Mi volt a Stardust-expedíció? Mikor zajlott, és milyen eredményt hozott?
8. Hogyan befolyásolták és befolyásolhatják a földi élet fejlődését, alakulását kozmikus események?



Szaturnusz gyűrűrendszere

# 63. | Gázóriások

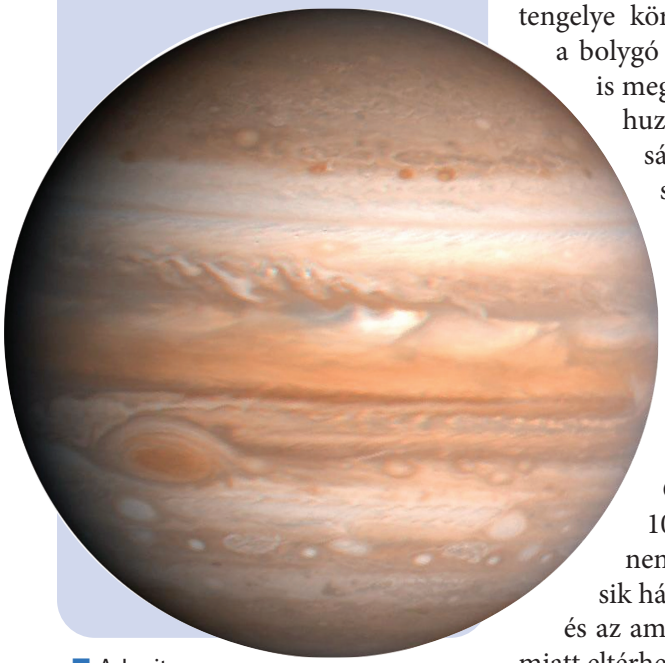
*Folytatjuk vándorlásunkat a Naprendszer bolygói között. A Marson túl elhelyezkedő óriásbolygók: a Jupiter, a Szaturnusz, az Uránusz és a Neptunusz, merőben más anyagúak és felépítésűek, mint a Föld típusú bolygók. A fejezet végén a Naprendszer keletkezésének legvalószínűbb elméletével is megismerkedünk.*

**EMLÉKEZTETŐ**

A Jupiter és a Szaturnusz bolygót már a távcső felfedezése előtt megfigyelték. Ezek a hatalmas égitestek méretükben, tömegükben messze felülmúlják a Földet. A Jupiter négy legnagyobb holdját Galilei fedezte fel.

## A Jupiter

A Jupiter a Naprendszer legnagyobb tömegű bolygója. Tömege kétszer akkora, mint az összes többi bolygóé együttvéve. A Földről a legragyogóbb csillagnál is fényesebbnek látszik. Mivel nagy sebességgel forog tengelye körül, sarkainál erősen lapult. Sarkai 6%-kal közelebb vannak a bolygó közepéhez, mint egyenlítőjének pontjai. Gyenge távcsövekkel is megfigyelhetők a bolygó jellegzetes övei. Ezek az egyenlítővel párhuzamos sötét és világos sávok. Erősebb távcsövekkel ezekben a sávrendszerekben különböző alakzatokat, köröket, elnyúlt ellipsziseket, füstgomolyokat lehet megfigyelni. Ezek a képződmények hatalmas felhők, gigászi áramlások. A legjellegzetesebb, a Nagy Vörös Folt, ovális alakú, közel 24 000 km hosszú, 10 000 km széles, és a bolygó egyenlítőjével párhuzamosan helyezkedik el. A vörös folt vándorol az őt körülvevő sávok mentén. Sebessége hol nagyobb, hol kisebb, szabálytalanul változó.

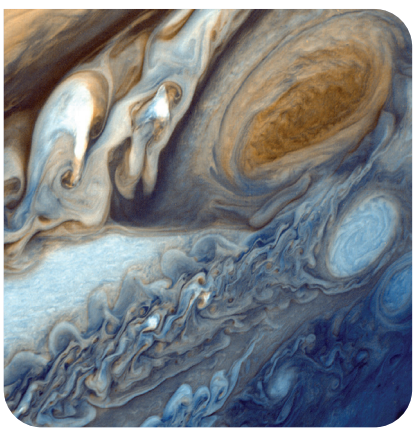


A Jupiter

A Nagy Vörös Folt mérete jelentősen nagyobb volt korábban. Összehúzódása az elmúlt évtizedben felgyorsult, évenként közel 1000 km-t csökken lineáris kiterjedése. A csökkenés okát jelenleg nem ismerjük. A Jupiter légkörének jellegzetes alkotóeleme – a másik három óriásbolygóhoz hasonlóan – a metán, a hidrogén, a hélium és az ammónia. Ezeknek az anyagoknak a halmazállapota a nagy hideg miatt eltérhet a földitől.

## Hallottál róla?

A Jupiternek szilárd felszíne nincs, de feltételezhető, hogy magját hatalmas sziklahalmaz alkotja. Itt a földi nyomás egymilliószorosa uralkodik. A sziklamagot szilárd hidrogén veszi körül, melyen folyékony hidrogénóceán úszik. E felett az óceán felett húzódnak a kristályos és gőz halmazállapotú felhőrétegek. A Jupiter belső hőmérséklete 30 000 °C közelében van. A bolygó nagyjából kétszer akkora mennyiségű energiát bocsát ki, mint amennyit a Nap sugárzásából elnyel. A bolygó folyamatosan összehúzódik, körülbelül 2 cm-rel csökken a sugara minden évben. Az összehúzódás gravitációs energiát termel, ennek ellenére a bolygó lehűlőben van, jelentős kisugárzása miatt. Kialakulásakor a Jupiter kétszer nagyobb átmérőjű és sokkal melegebb volt, mint most. A Jupiter mérete (anyaga ellenére) nem elég nagy ahhoz, hogy gyors gravitációs összeomlást követően fúzió induljon el benne, azaz csillagként viselkedjen.

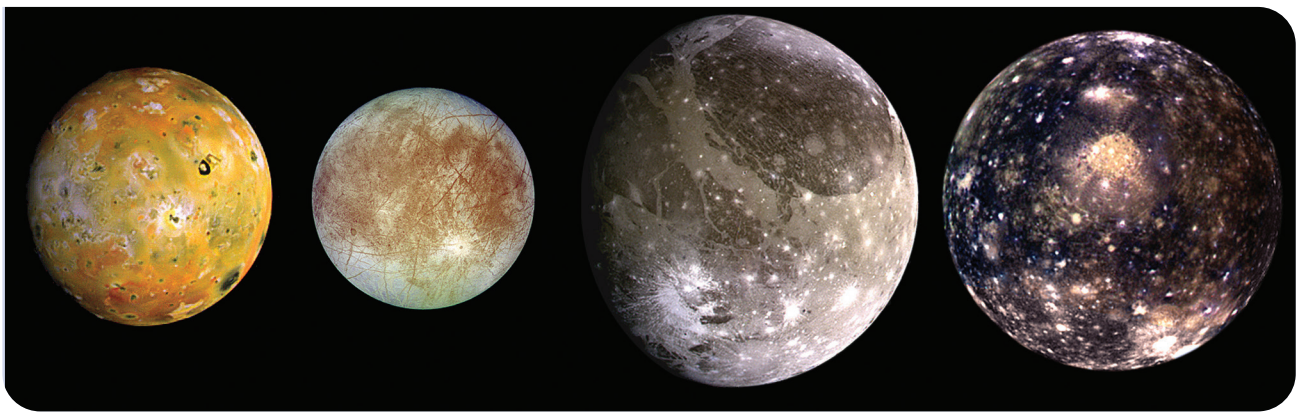


A Jupiter légkörének részlete a Nagy Vörös Folttal

## Hogyan volt régen?

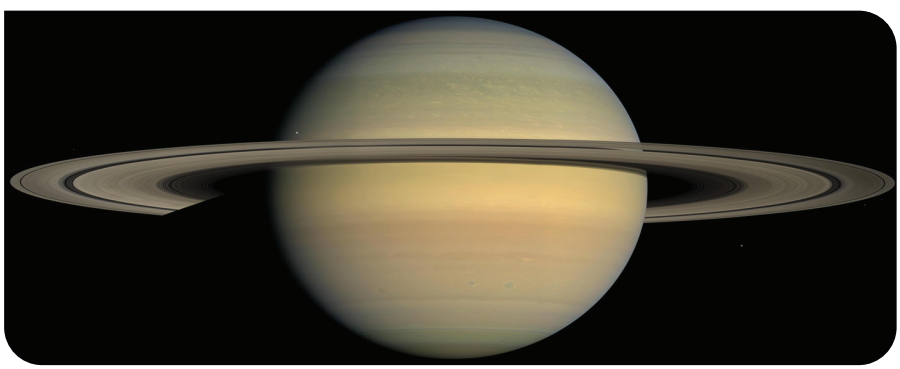
A Jupiter számos holdja közül a négy legfontosabb az, melyeket Galilei fedezett fel. Az **Io**, a **Ganimédesz**, az **Európé** és a **Kallisztó**. Eredetileg Galilei az őt támogató Medici családról (négy Medici fivérről) akarta elnevezni a holdakat, de végül a német Simon Marius névadási javaslata győzedelmeskedett. A mitológiai neveket Galilei sosem fogadta el, inkább sorszámozta a holdakat. Marius nagyjából egy időben fedezte fel a holdakat Galileivel, pontosabban újra felfedezte, hiszen már a babilóniak is megemlékeztek Marduk (Jupiter) négy kutyájáról, illetve az egyiptomiak Hórusz négy fiáról, de a kínaiak is felfedezték a Jupiter holdjait. A holdak segítségével sikerült Olaf Römernek megmérni a fény sebességét a XVII. század végén.

A Galilei-holdak tudománytörténeti jelentősége, hogy egyfajta kívülről megfigyelhető kis „naprendszerként" a heliocentrikus világkép megértését és elfogadását segítették.



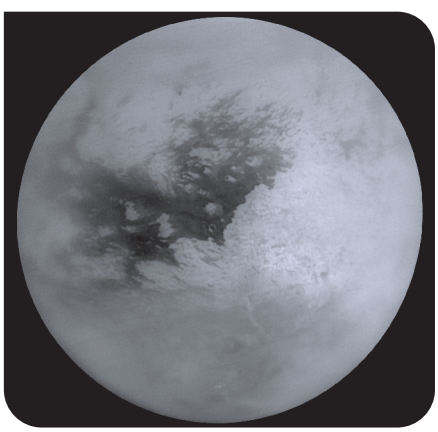
A Jupiter négy legnagyobb holdja balról jobbra a Jupitertől való távolságuk szerint: Io, Európé, Ganimédesz és Kallisztó

### A Szaturnusz



A Szaturnusz

A Szaturnusz anyaga nagymértékben hasonlít a Jupiteréhez. Távcsővel a Szaturnuszon is megfigyelhetjük a Jupiterhez hasonlóan a sötét és világos felhősávokat, bár ezek némileg halványabbak a jupiterieknél. A bolygó átlagos sűrűsége mindössze 0,7 g/cm$^3$, a legkisebb a Naprendszerben. A Szaturnusz 2,5-szer több hőt bocsát ki, mint amennyit elnyel. Az energiakibocsájtás alapvetően a Jupiterével megegyező okokra vezethető vissza. Egyes kutatók feltételezik, hogy a bolygó belsejében, a folyékonyhidrogén-közegben lassan lesüllyedő hélium hőenergiát szabadít fel azáltal, hogy a héliumcseppek súrlódnak a hidrogénfolyadékban, és ez a hatás is hozzájárul a Szaturnusz teljes energiakisugárzásához. A bolygó belső szerkezete, felépítése, légköre a Jupiterével valószínűleg megegyező. A Szaturnusz számos holdja közül kiemelkedik a Titán, a Naprendszer legnagyobb holdja, melynek a Naprendszerben egyedülálló módon saját légköre van.

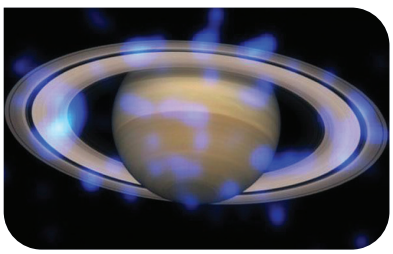


A Titán

## Hallottál róla?

A Voyager–1 szonda a gyűrűk felett mozgó sötétebb anyagsávokat fedezett fel, melyek kiterjedése a gyűrűkre merőleges, sugár irányú. Alakjukat a gyűrű mozgása közben is megőrzik. Ezeket küllőknek nevezték, melyeket a bolygó mágneses tere formál lebegő porból. Lehetséges, hogy a küllők porszemei időlegesen elektromosan töltöttek.

A Chandra röntgenteleszkóp segítségével a Szaturnusz irányából érkező röntgensugárzást tanulmányozták a szakemberek. A megfigyelések alapján kiderült, hogy a viszonylag gyenge, de érzékelhető röntgensugárzás a gyűrűrendszernek elsősorban a B jelű, legsűrűbb tagjától érkezik. A megfigyelt sugárzás akkor keletkezhet, amikor a Nap röntgensugarai eltalálják a gyűrűrendszerben lévő oxigénatomokat, és azokat fluoreszcenciára kényszerítik.

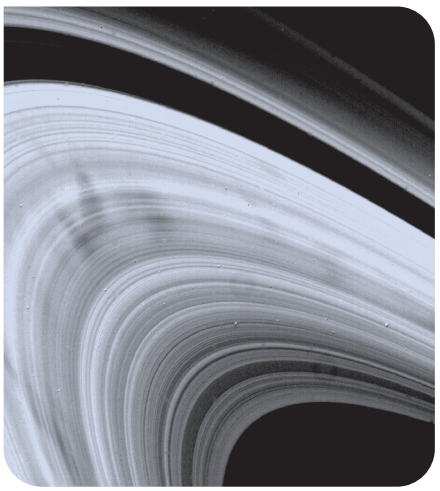


A Szaturnusz képe és a röntgensugarak eloszlása (kékkel) egy rövid időintervallumban

A röntgensugarak nem egyenletesen érkeznek a B gyűrű egészéről, többet sikerült megfigyelni a gyűrű reggeli felén, amely a bolygó árnyékos oldaláról nemrég lépett ki a napsütésre. A jelenség valószínűleg összefügg azzal, hogy a küllők is a reggeli oldalon gyakoribbak.

### A gyűrűk

A Szaturnusz gyűrűrendszere a bolygó egyenlítőjének síkjában helyezkedik el. Egy Szaturnusz-év alatt a gyűrűket alulról és felülről is megfigyelhetik a földi csillagászok. Mikor a Föld pontosan a gyűrűk síkjában van, a gyűrűk megfigyelhetetlenekké válnak a Földről, ami azt igazolja, hogy a gyűrűk vékonyak, és kis mennyiségű anyagot tartalmaznak. Már a XIX. században rájöttek arra, hogy a gyűrűket számtalan kis testecske alkothatja, melyeket a gravitáció Szaturnusz körüli pályára kényszerít. A legújabb mérések szerint a gyűrűk 30-40 cm átmérőjű szennyezett jégdarabokból állnak.



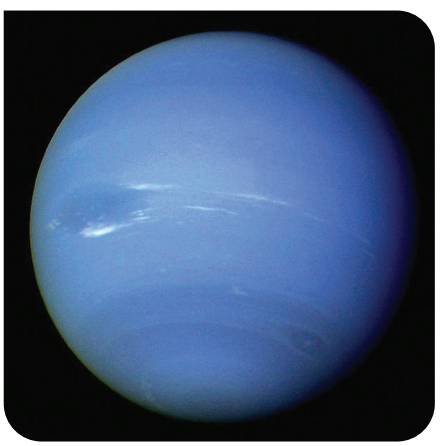
A Szaturnusz B jelű, legsűrűbb gyűrűje a Voyager–2 felvételén, ahol megfigyelhetők a sötétebb „küllők"

### Az Uránusz és a Neptunusz felfedezése

Míg a bolygókat a Merkúrtól a Szaturnuszig az emberek már az ókorban is ismerték, hisz szabad szemmel is megfigyelhetőek voltak, addig az Uránuszt, Neptunuszt csak a távcső felfedezése után láthatta emberi szem. Az Uránuszt William Herschel 1781-ben fedezte fel véletlenül, a csillagképek tanulmányozása közben. A felfedezett objektumról azt gondolta, hogy egy üstökös. Több hónapon keresztül figyelte az új égitestet, melyről megállapította, hogy pályája majdnem kör alakú, és a Szaturnusz pályáján kívül helyezkedik el. Az Uránusz pályaelemeit hiába próbálták a bolygó felfedezése után pontosan meghatározni; a számított értéktől mindig eltérő eredményeket kaptak a távcsöves megfigyelés során. Már az 1800-as évek közepén megsejtették, hogy az eltérést egy, az Uránuszon kívül keringő bolygó okozhatja. 1846-ban J. G. Galle német csillagász látta meg először a bolygót, pontosan azon a helyen, ahol U. Le Verrier francia csillagász számításaiban megjósolta – mégpedig aznap, hogy Párizsból megkapta tőle a koordinátákat. Ez a bolygó a Neptunusz volt.

Az Uránusz és a Neptunusz elsősorban hidrogénből, héliumból és némi metánból áll. Mindkét bolygónak vannak felhők a légkörében, és halvány gyűrűiket, illetve holdjaikat is felfedezték.

Az Uránusz



A Neptunusz

## A Naprendszer keletkezése

A Naprendszer keletkezésének megértéséhez végig kell gondolni a Naprendszer égitestjeinek néhány közös tulajdonságát. A nyolc nagybolygó közel azonos síkban kering. A Napot azonos irányban járják körbe, és a forgási irányuk, a Vénusz és az Uránusz kivételével, melyek tengelyét vélhetőleg egy korai kozmikus katasztrófa billentette át, azonos. A rendszerhez kisbolygók, törpebolygók, üstökösök, meteorok tartoznak, melyek a Nap körül végeznek periodikus mozgást Kepler törvényeiben meghatározott szabályok szerint.
A Föld legősibb kőzetei, a Földre hozott holdkőzetek és a meteoritek anyaga feltehetően a Naprendszer egészével egykorúak, annak kb. 4,6 milliárd évvel ezelőtti keletkezésére utalnak.

## Ősködelmélet

A legelfogadottabb keletkezési elmélet a Kant–Laplace-elmélet, melynek első változata a nagy francia csillagász és matematikus, Laplace nevéhez kötődik. Ez a több mint 200 éves (Laplace könyve 1796-ban jelent meg) ősködelmélet, amely szerint a Naprendszer teljes anyaga egy forgó ősködben volt megtalálható. Az ősköd forgása a gravitációs összehúzódás következtében egyre gyorsabbá vált, a perdületmegmaradással összhangban (ahogy ezt a kezeit magasra emelő műkorcsolyázó forgásánál is látjuk). A gyors forgás következtében fokozatosan belapult, és egyenlítői vidékéről gázgyűrűk és porgyűrűk szakadtak le, melyek a gravitáció hatására anyagcsomókká (úgynevezett planetazimálokká) sűrűsödtek. Ezek kis sebességű ütközéséből jöttek létre a bolygócsírák, néhányszor 100, maximum 1000 km átmérőjű bolygókezdemények, melyek újabb planetazimálokkal ütközve nőttek bolygóembriókká. Ezek százszámra keringtek a Naprendszerben, majd további ütközések révén jött létre a ma ismert nyolc bolygó. Az ősköd belső tartományai sűrűsödtek össze csillagunkká, a Nappá. Az elmélet azt sugallja, hogy a bolygók keletkezése természetes, bárhol előforduló folyamat, tehát a csillagoknak számottevő valószínűséggel kell, hogy legyen bolygója.

## A bolygók kémiai összetételének különbségei

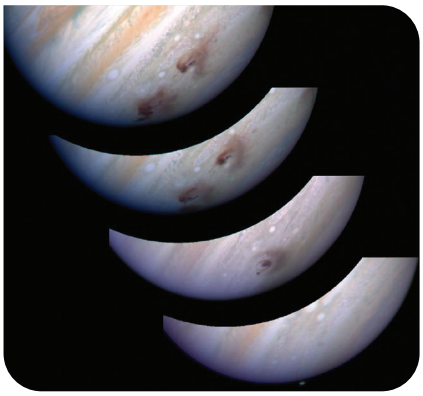
A bolygók kémiai összetételét nagyban befolyásolta, hogy a Naptól milyen távolságban jöttek létre. Az ősköd összehúzódása során, annak hőmérséklete nőtt, s a lefűződő bolygók anyagát jellemzően az adott hőmérsékleten kondenzálódott molekulák alkotják. Ezért van az, hogy a belső bolygók jelentős mennyiségű gázt már nem tudtak magukhoz kötni.

| Hőmérséklet (K) | Kondenzátum | Bolygók és becsült kialakulási hőmérsékletük (K) |
|---|---|---|
| 1500 | fémoxidok | |
| 1300 | fémvas, nikkel | Merkúr (1400) |
| 1200 | ensztatit | |
| 1000 | alkáliföldpátok | Vénusz (900) |
| 680 | troilit | |
| 550 | tremolit | Föld (600) |
| 425 | szerpentin | Mars (450) |
| 175 | vízjég | Jupiter típusú bolygók (175) |
| 150 | ammónia-vízjég | |
| 120 | metán-vízjég | |
| 65 | argon-neonjég | Plútó (65) |

## Hallottál róla?

A bolygókeletkezési folyamatban az ütközések alapvető szerepet játszanak. Ezek indokolhatják a holdak egy részének, például a mi Holdunknak létrejöttét, de ütközésekkel magyarázhatjuk a bolygók tengelyének ferdeségét is. A bolygók kihűlése során a felszín bombázása változó intenzitással zajlott, és az első 6-800 millió évben a becsapódások még gyakorta átformálhatták a bolygók, így a Föld és a holdja felszínét is. Az óceánok a Földön többször elpárologhattak, és nem kizárt, hogy a megjelenő élet is többször elpusztult, és csak sokadszorra tudott utat törni magának. A becsapódások száma fokozatosan csökkent.

Mára kis valószínűségű, de nem kizárható eseményeknek tekinthetjük Földünk és egy kisebb aszteroida esetleges ütközését. Ugyanakkor a veszély nem lebecsülendő, mert egy ilyen becsapódás komoly pusztítást okozhat. Egyes elképzelések szerint egy kisbolygó becsapódását követő tartós hideg időszak következtében haltak ki a dinoszauruszok 65,5 millió évvel ezelőtt. 1993-ben nagy szenzációt keltett a Shoemaker–Levy-üstökös felfedezése, melyet minden bizonnyal a Nap körüli pályájáról térített el a Jupiter gravitációja, és egyben darabokra is szaggatta (a legnagyobb darabok 2 km átmérőjűek voltak), a számítások szerint 1992-ben. Az üstökös a felfedezésekor már huzamosabb ideig a Jupiter körül keringett kb. 2 éves periódusidővel, majd 1994-ben becsapódott a bolygóba. A becsapódás ráirányította a figyelmet egy hasonló kozmikus katasztrófa lehetőségére a Földön is.



A Jupiterről és az üstökösről készült montázs, mely a becsapódás viszonylagos arányait és szögét mutatja

Meteoritkráter Arizónában – egy 50 000 éve történt meteorit-becsapódás nyomai

**NE FELEDD!**

**A Jupiter, a Szaturnusz, az Uránusz és a Neptunusz óriási gázbolygók, melyeket metán, hidrogén, hélium és ammónia alkot. A bolygók belsejében a nagy nyomás hatására ezek a gázok folyékony és szilárd állapotban is előfordulnak. Az óriásbolygók magját kőzetek és megszilárdult gázok alkotják. A Föld típusú bolygókkal ellentétben az óriásbolygók lényegesen több energiát sugároznak ki az űrbe, mint amennyit a Napból felvesznek.**

**A Naprendszer minden bizonnyal egy forgó ősködből keletkezett, mely a forgás következtében egyenlítője mentén kidudorodott, és anyaga folyamatosan lefűződött. Ezekből a gyűrűkből tömörödtek össze a gravitáció hatására a bolygók.**

## Hallottál róla?

A Naprendszer keletkezésének másik elmélete a befogási elmélet. Ennek lényege, hogy a Nap nem egy időben keletkezett a bolygókkal, hanem befogta azokat.

Egy ilyen befogás meglehetősen összetett esemény, két égitest viszonylatában nehezen értelmezhető. Az elméletek egy harmadik csoportja szerint a Nap előbb keletkezett, mint a bolygói. A bolygórendszer keletkezésében egy másik égitest játszott szerepet.

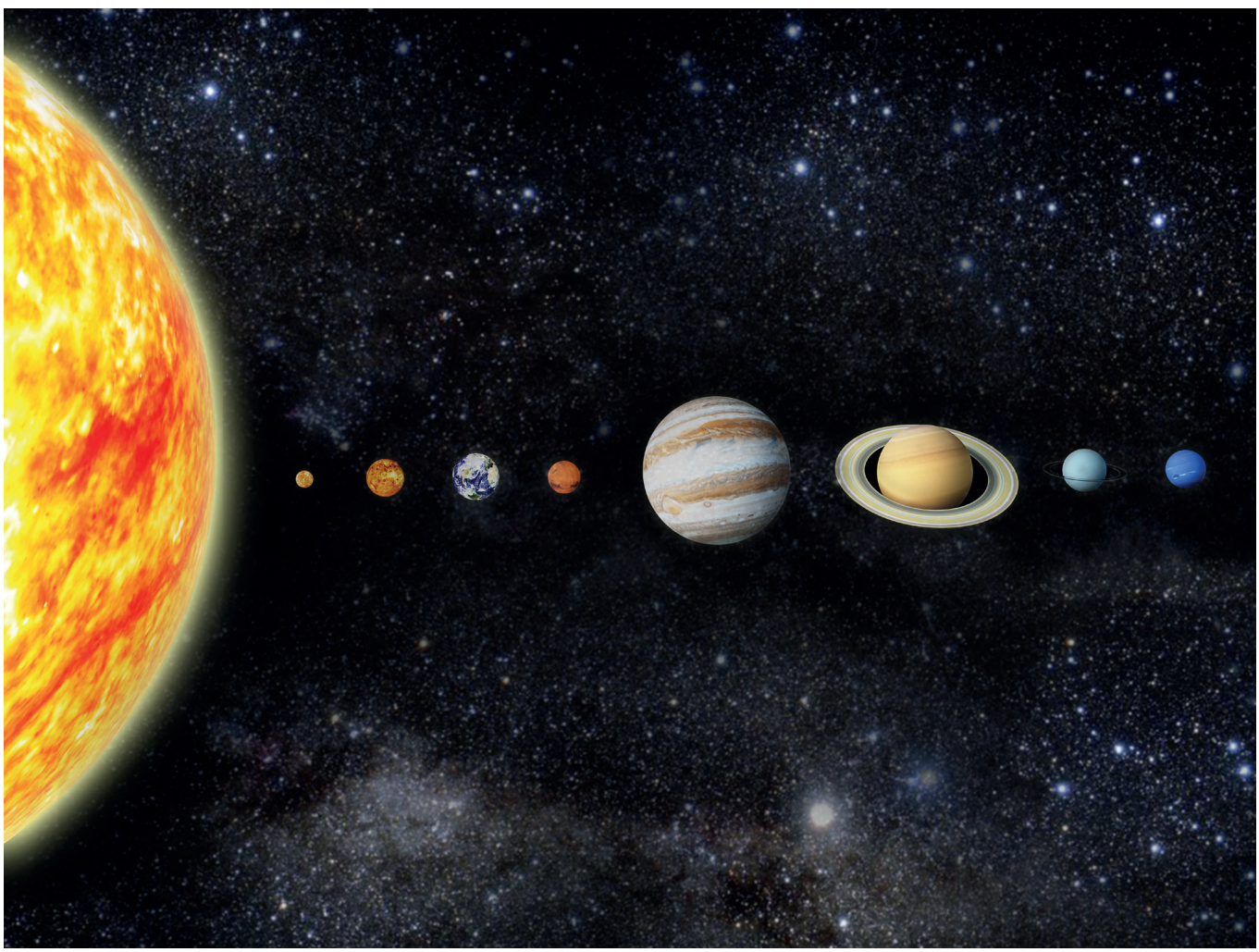
A ma leginkább elfogadott elképzelés szerint a Nap és a bolygók keletkezése lényegében egyidejű, de a Naprendszer anyagát adó kozmikus por- és gázfelhő összehúzódását egy közeli csillag felrobbanása indította be.

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Jellemezd az óriásbolygókat anyaguk és szerkezetük alapján!
2. Hogyan fedezték fel az Uránuszt és a Neptunuszt?
3. Ismertesd a Naprendszer keletkezésének ősködelméletét! Milyen érvek szólnak az elmélet mellett?
4. Hányszor nagyobb a Jupiter tömege a Föld tömegénél?
5. Miért láthatóak a távoli bolygók a Földről?
6. Milyen feltételek között lehet a hidrogén folyékony?
7. A Naprendszer legnagyobb holdjának, a Titánnak saját légköre van. Hogyan függ össze egy égitest mérete a légkör meglétével?
8. Miért csak a XVII. századot követően sikerült felfedezni az Uránuszt és a Neptunuszt?
9. Mikor lett a Plútó „lefokozva" törpebolygóvá?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi volt Olaf Römer fénysebességmérésének a lényege?
2. Hogyan lehetséges az, hogy a Jupiter és a Szaturnusz több energiát bocsát ki, mint amennyi a Napból rájuk esik? Mi a Jupiter és a Szaturnusz többletenergiájának forrása?
3. Hasonlítsd össze a Jupiter és Föld átmérőjét és távolságát! Melyik égitestre érkezik több napenergia?
4. Ki fedezte fel a Szaturnusz gyűrűjét? Kik készítették az első rajzokat a gyűrűről?
5. A Szaturnusz gyűrűjének jellegzetes elemei a rések és a küllők. Mik ezek, és mivel magyarázzák létüket?
6. Azonosíthatók-e kialakulóban lévő bolygórendszerek a Tejútrendszerben?



# 64. | A Hold

*Az éjszakai égbolt legfényesebb égiteste a Hold. Közvetlen gravitációs hatása a Föld élőlényeire elenyésző, de kétségtelen, hogy szépsége mindnyájunkat rabul ejt. Talán ezért fűződik annyi mendemonda, tévhit égi kísérőnk életünkre gyakorolt hatásához.*

## A Hold tengely körüli forgása és keringése a Föld körül

A Hold

A Hold nemcsak kering a Föld körül, hanem forog is a saját tengelye körül. A Hold a távoli állócsillagokhoz viszonyítva 27 nap 7 óra 43 perc alatt tesz meg egy fordulatot, és ez a forgási sebesség pontosan annyi, mint amennyi idő alatt a Hold megkerüli a Földet, ezért a Hold mindig ugyanazon oldalát mutatja a Föld felé. Két telihold között eltelt időszak azonban 29 nap 12 óra 44 perc, mert közben a Föld is odébb vándorol kb. 30 fokkal a Nap körül.

## A Hold felszíne

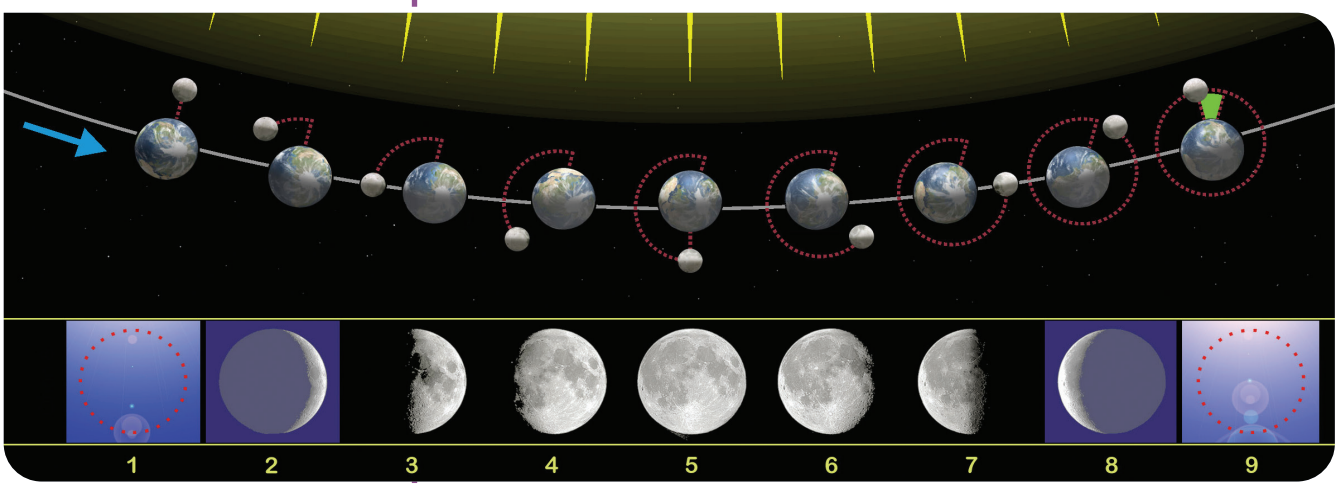
A Hold felszínét először Galilei figyelte meg kezdetleges távcsövével. Ő azonosította a Hold hegyeit, becsülte meg a magasságukat, s igazolta, hogy a Hold nem tökéletes gömb. Ha távcsővel figyeljük a Holdat, a szabad szemmel is látható sötét és világosabb foltok tömegéből mi is ki tudjuk

**NE HIBÁZZ!**

Fontos tudni, hogy a Hold Föld körüli keringési síkja nem esik pontosan egybe a Föld Nap körüli keringésének síkjával. Így nem lesz minden teliholdkor holdfogyatkozás, de minden holdfogyatkozáskor telihold van.

**EMLÉKEZTETŐ**

A Hold a Föld égi kísérője, körülötte nagyjából körpályán kering, átlagos távolsága a Földtől 384 000 km, sugara 1740 km, felszínén a gravitáció a földi érték hatoda. Pályáján a Nap és a Föld tömegvonzása tartja. A Hold majdnem tökéletes körpályán kering a Földdel együtt a Nap körül, melyre finom hullámként rakódik rá Földhöz viszonyított mozgása. A Nap megvilágítja a Hold Nap felé eső oldalát. A megvilágított résznek azonban csak egy bizonyos hányadát látjuk. Mivel a Hold kering a Föld körül, ez a hányad mindig változik, ebből fakadnak a Hold fázisai. Nagyrészt a Hold gravitációs hatása okozza az árapály jelenséget. Ha a Hold megvilágított részét részben vagy egészben takarja a Föld, holdfogyatkozásról beszélünk. Amikor a Hold takarja el a Napot a szemünk elől, napfogyatkozás zajlik.




A Hold fázisai

venni a hatalmas hegyeket, síkságokat, krátereket. Könnyen észrevehető, hogy a Hold világos és sötét oldalát elválasztó vonal korántsem olyan egyenletes, mint amilyennek messziről látszik, hanem az árnyékzóna határa úgy kanyarog, ahogy a holdi hegyek és völgyek követik egymást.

**FIGYELD MEG!**

Tiszta időben egy egyszerű színházi látcsővel is jól megfigyelheted a Hold sötét és világos részét elválasztó vonalat (az úgynevezett terminátorvonalat).

A Hold felszínének jellegzetes elemei a holdtengereknek nevezett hatalmas síkságok. Ezeket finom por tölti ki. Némelyikben az egykori kráter peremének halvány rajzolata figyelhető meg. A Holdon közel 4000 olyan kráter van, melynek átmérője meghaladja a 10 kilométert. Keletkezésük meteorbecsapódásnak köszönhető, melynek a Hold felszíne sokkal jobban ki van téve, mint a Föld, mivel a Holdnak nincs légköre, melyben a meteorok lefékeződhetnének, és a kisebbek eléghetnének. A légkör hiányának tulajdonítható, hogy a Holdon ott, ahova nem süt a Nap, majdnem tökéletes a sötétség, még nappal is. Az árnyékok tehát teljesen feketék. A Földön a Naptól takart zugokba a levegő szórja a fényt, árnyék van, de nem koromsötét. A Holdon a kráterek alján nappal is fekete éjszaka uralkodik, ha laposan esik rájuk a fény.

Kráterek a Holdon

**NE HIBÁZZ!**

Sokan úgy vélik, hogy a telihold közvetlen hatással van a gyerekek születésére, ilyenkor több gyerek születik, mint egy átlagos napon. Angol kutatók 500 000 fős mintán kimutatták, hogy ez nem igaz.

A Hold delejes hatásának tulajdonítják egyesek, hogy a kutyák ugatják a teliholdat. Valójában nem minden kutya ugatja a Holdat, csak azok a fajták, melyekben a farkasoktól örökölt ősi vadászösztön erősebb. A farkasok ugyanis éjjel vadásznak, és a telihold fénye jó lehetőség a zsákmány becserkészésére. A Holdra vonyító farkas így jelezte falkatársainak a közös vadászat kezdetét.

Az Ångström-kráter

## Hogyan jöttek létre a kráterek?

A Hold felszínét egykori vulkáni működés, meteorbecsapódások és a felszíni erózió együttesen alakították ki. Óriási meteorbecsapódásokra utalnak a hatalmas kráterek közepén található központi csúcsok, és a kráterek némelyikéből kiinduló „holdsugarak", ezek a krátertől kiinduló sugaras szerkezetű hegygerincek. Mind a kráterközépi csúcsot, mind a holdsugarakat a holdfelszínből meteorbecsapódáskor kilökődő anyag hozta létre. Tüzetesebb vizsgálódás során a holdsugarak apró kráterek láncolatának bizonyultak. A holdtengerek alatt hatalmas tömegű sűrű kőzettestek találhatók, legalábbis ez mutatható ki a Hold körül keringő mesterséges égitestek pályaadataiból. Ezek az úgynevezett maszkonok (az elnevezés a tömegkoncentráció angol nevére utal), és hatalmas meteorok maradványai lehetnek. A Hold felszínén jelenleg nincs víz. Ennek ellenére olyan felszíni képződményeket figyelhetünk meg rajta, melyek leginkább folyóvölgyekre emlékeztetnek. Vízjég, vízgőz és ásványokhoz kötött víz jelenlétét már kimutatták a tudósok. Hogy volt-e a Holdnak valaha légköre, és folytak-e a felszínén folyók, ma még vita tárgya.

## A hőmérséklet ingadozása

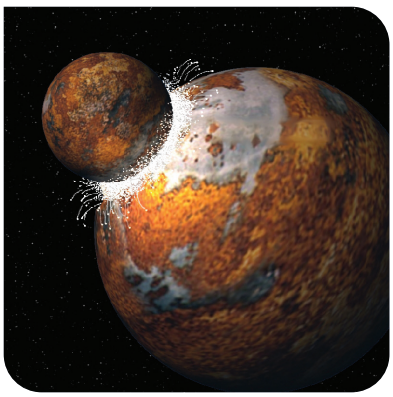
Mivel a Holdon egy nap közel 28 földi napot tesz ki, és a Nap besugárzását és a talaj kisugárzását nem befolyásolja a légkör, a 14 napos holdi nappalon 100 °C-ra is felmegy a hőmérséklet, míg egy hűvösebb hajnalon a –150 °C sem ritka.

### Hogyan volt régen?

Mivel a Hold mindig ugyanazt az oldalát mutatja a Föld felé, nem tekintették a Föld és tengelye körül keringő gömbnek. Egyes elképzelések szerint a Hold tükör, melyről a Föld képe verődik vissza, azért látjuk mindig ugyanazt. Bármilyen furcsa, de a Hold valóban visszaveri a Nap Földre vetülő fényének azt a részét, melyet a légkör a Hold felé szór. A jelenséget legjobban újholdkor figyelhetjük meg. Ekkor az egész holdat látjuk derengeni. Ezt úgy is szokták mondani költőien, hogy az újhold karjában tartja a teliholdat. Ilyenkor a „földfény" verődik vissza a Hold felszínéről, akár egy tükörről.

## Hallottál róla?

A Hold valószínűleg egy Mars méretű protobolygó és a fiatal és forró Föld ütközése révén jött létre 4,5 milliárd évvel ezelőtt. Az ekkor kiszóródó anyagot tömörítette össze a tömegvonzás égi kísérőnkké. Az elképzelést a Holdról hozott kőzetminták elemzése is alátámasztja.



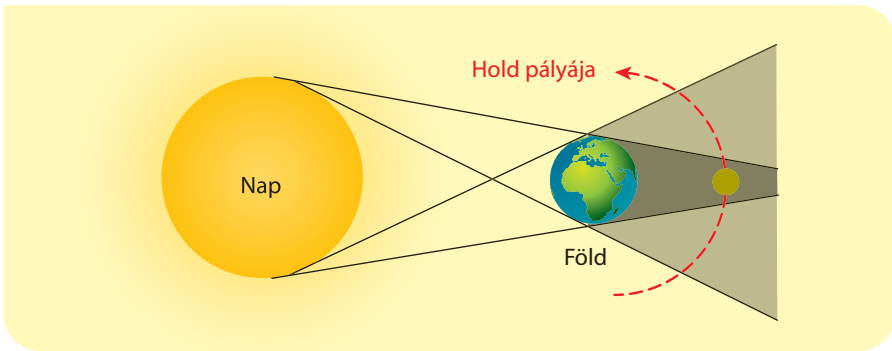
Ütközés a protobolygóval

### A Hold kora

A Hold keletkezésére többféle nézet létezik. Mivel életkora 4,6 milliárd év, a Földdel nagyságrendileg megegyező, a Hold valószínűleg a Föld anyagából keletkezett. Az sem zárható ki teljesen, hogy a Föld valamivel egyidejű keletkezésük után befogta a Holdat.

### Holdfogyatkozás, napfogyatkozás

Holdfogyatkozásról beszélünk, ha a Hold a Föld árnyékába kerül, azaz a Föld megakadályozza, hogy a Holdat maradéktalanul érje a Nap fénye.




Mikor van holdfogyatkozás?

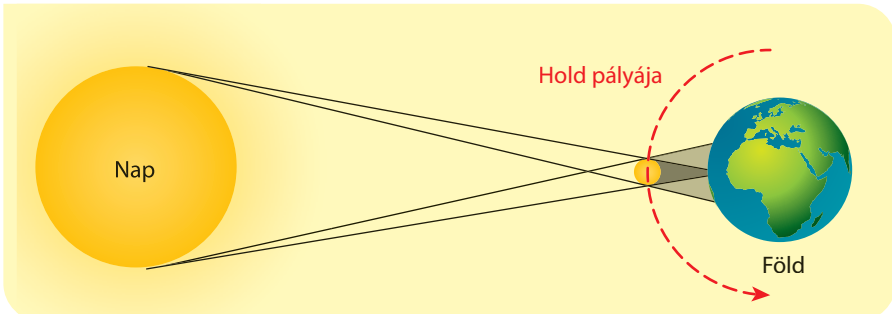
**FIGYELD MEG!**

Az ábra alapján ismertesd a holdfogyatkozás menetét, a szürke és sötét tartomány közötti különbség okát, a Hold látványát a fogyatkozás különböző tartományaiban!

A napfogyatkozás során a Hold árnyékot vet a Földre, azaz a Földről nézve eltakarja a Napot. Ebben az esetben is lehet részleges a takarás, vagy akár teljes is. Ha a Föld egy adott pontján teljes takarásban vagyunk, teljes napfogyatkozást észlelünk, ha a Nap egy része még megfigyelhető, részleges napfogyatkozásról beszélünk.

**FIGYELD MEG!**

Mutasd meg a teljes és részleges napfogyatkozás tartományait az ábrán!

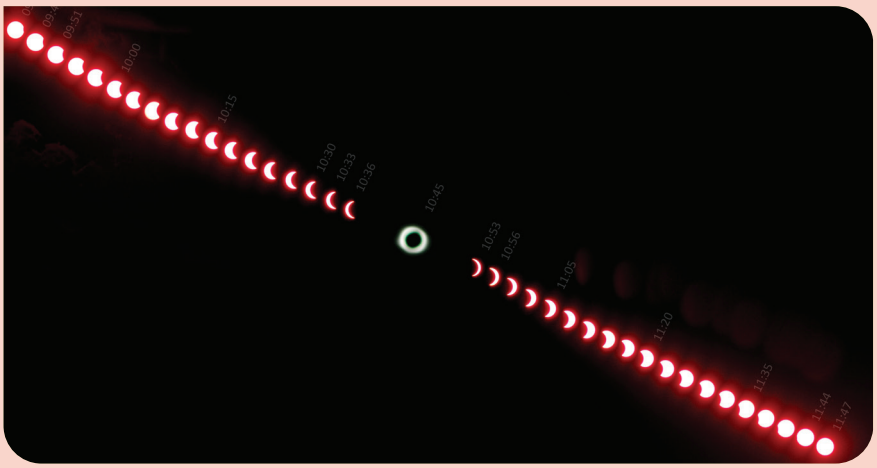



Napfogyatkozás a Földről nézve

## Gyűrűs napfogyatkozás

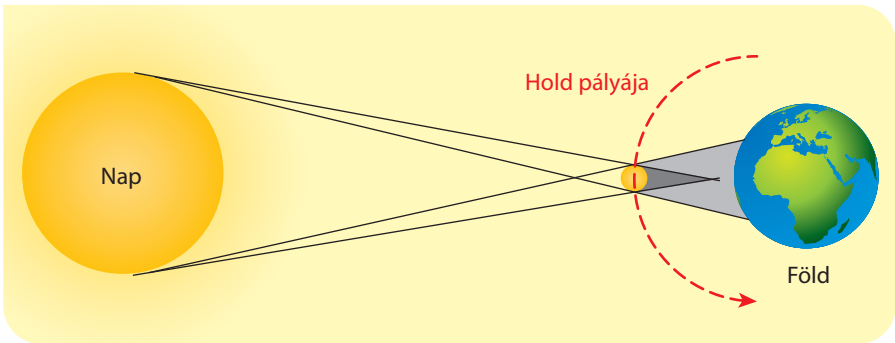
### FIGYELD MEG!

Mi a gyűrűs napfogyatkozás magyarázata, és milyen következtetést vonhatunk le a Nap és Hold látszólagos átmérőjéről a jelenség alapján? Milyen holdfáziskor lehet napfogyatkozás és holdfogyatkozás?




Amennyiben a Hold látszólagos átmérője a Földről nézve valamivel kisebb, mint a Nap látszólagos átmérője, akkor a Hold nem tudja a Napot teljes mértékben eltakarni, annak pereme a Földről látható lesz.

A gyűrűs napfogyatkozás értelmezésében segít az ábra.




Gyűrűs napfogyatkozás

### EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A Hold távolságát Bay Zoltán radar segítségével mérte meg. Mennyi idő alatt ér vissza a Földre a Földről indított és a Holdról visszaverődött radarjel?
2. Mikor járt először ember a Holdon?
3. Miért mutatja a Hold mindig ugyanazt az oldalát a Föld felé?
4. Mikor lesz legközelebb Magyarországról megfigyelhető részleges és teljes holdfogyatkozás?
5. A Hold „poros hely". Mi a fizikai magyarázata a holdi pornak?

Kinek a lábnyoma látható a híres fotón?

### NE FELEDD!

**A Hold, Földünk égi kísérője kötött keringést végez a Föld körül, és így mindig ugyanazt az oldalát fordítja bolygónk felé. A Hold-pálya ellipszis alakja, pályaferdesége és a Föld véges mérete miatt a Földről a Hold felszínének kb. 60%-a figyelhető meg összesen. A Nap (a holdfogyatkozások kivételével) a holdgömb felét világítja meg. A megvilágított részből a Föld – Hold – Nap kölcsönös helyzetének függvényében eltérő darabokat látunk. Ezek a holdfázisok. A Hold mérete kisebb Földünkénél, a gravitáció a felszínén a földi hatoda. Egyidős a Földdel. Felszínét a vulkáni működés és a meteorbecsapódások alakították. Légköre nincs, a hőingadozás a sötét és megvilágított részek között 250 °C is lehet. A Holddal kapcsolatos árnyékjelenség a holdfogyatkozás és a napfogyatkozás.**

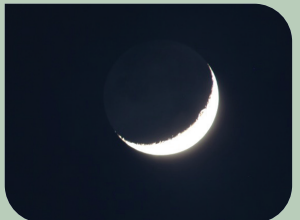
## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen holdfáziskor lehet napfogyatkozás és holdfogyatkozás?
2. Az alábbi árapálytáblázat a 2015. januári adatokat tartalmazza a thaiföldi Phuket üdülőhelyen. A táblázat elemzése segítségével mutasd ki, hogy a dagályhullám nagyságát a Nap és a Hold kölcsönös helyzete befolyásolja! Milyen holdfázisoknál maximális a hullám (szökőár – nem keverendő össze a cunamival), és mikor minimális (vakár)?

| nap | órák | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| | vízmagasság (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,7 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,5 | 2,2 |
| 2 | 1,8 | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,7 | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,1 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,7 | 2,1 | 2,5 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 2,6 |
| 3 | 2,2 | 1,7 | 1,3 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,7 | 2,1 | 2,4 | 2,6 | 2,6 | 2,4 | 2,1 | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 1,1 | 1,3 | 1,7 | 2,2 | 2,7 | 3,0 | 3,0 | 2,9 |
| 4 | 2,5 | 2,0 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | 1,0 | 1,3 | 1,8 | 2,2 | 2,6 | 2,7 | 2,6 | 2,4 | 2,0 | 1,6 | 1,2 | 1,0 | 1,1 | 1,4 | 1,9 | 2,4 | 2,9 | 3,1 | 3,1 |
| ○ 5 | 2,8 | 2,3 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | 1,5 | 1,0 | 2,4 | 2,7 | 2,8 | 2,6 | 2,3 | 1,8 | 1,4 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,6 | 2,1 | 2,6 | 3,0 | 3,2 |
| 6 | 3,0 | 2,6 | 2,1 | 1,5 | 1,0 | 0,8 | 0,8 | 1,2 | 1,7 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 2,5 | 2,1 | 1,6 | 1,2 | 0,9 | 1,0 | 1,3 | 1,8 | 2,4 | 2,9 | 3,1 |
| 7 | 3,2 | 2,9 | 2,4 | 1,8 | 1,2 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 1,4 | 1,9 | 2,4 | 2,7 | 2,8 | 2,7 | 2,3 | 1,9 | 1,4 | 1,0 | 0,9 | 1,1 | 1,5 | 2,1 | 2,6 | 3,0 |
| 8 | 3,2 | 3,0 | 2,6 | 2,1 | 1,5 | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 1,2 | 1,7 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 2,5 | 2,1 | 1,6 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,3 | 1,8 | 2,3 | 2,8 |
| 9 | 3,1 | 3,1 | 2,8 | 2,3 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,4 | 2,7 | 2,8 | 2,7 | 2,3 | 1,9 | 1,4 | 1,1 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,1 | 2,5 |
| 10 | 2,9 | 3,0 | 2,9 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,1 | 0,9 | 1,0 | 1,3 | 1,7 | 2,2 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,5 | 2,1 | 1,7 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 1,9 | 2,3 |
| 11 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,6 | 2,2 | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,4 | 2,6 | 2,7 | 2,6 | 2,3 | 2,0 | 1,6 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,7 | 2,1 |
| 12 | 2,4 | 2,6 | 2,7 | 2,6 | 2,3 | 2,0 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,8 | 2,1 | 2,4 | 2,6 | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,9 |
| ◖ 13 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,1 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 1,7 |
| 14 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,3 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,2 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,6 |
| 15 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 1,7 |
| 16 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,2 | 1,9 |
| 17 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 1,6 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,9 | 2,3 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 2,6 | 2,3 |
| 18 | 1,9 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 | 1,1 | 1,5 | 2,0 | 2,4 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,2 | 1,8 | 1,3 | 1,0 | 0,9 | 1,1 | 1,5 | 2,1 | 2,6 | 3,0 | 3,2 | 3,1 |
| 19 | 2,3 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 | 1,1 | 1,5 | 2,0 | 2,4 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,2 | 1,8 | 1,3 | 1,0 | 0,9 | 1,1 | 1,5 | 2,1 | 2,6 | 3,0 | 3,2 | 3,1 |
| ● 20 | 2,7 | 2,2 | 1,5 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 1,0 | 1,6 | 2,1 | 2,6 | 2,9 | 2,9 | 2,6 | 2,2 | 1,7 | 1,1 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 1,6 | 2,2 | 2,8 | 3,2 | 3,3 |
| 21 | 3,1 | 2,6 | 2,0 | 1,3 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 1,1 | 1,7 | 2,3 | 2,8 | 3,0 | 2,9 | 2,6 | 2,1 | 1,5 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 1,1 | 1,7 | 2,4 | 3,0 | 3,4 |
| 22 | 3,4 | 3,0 | 2,4 | 1,7 | 1,0 | 0,5 | 0,4 | 0,7 | 1,2 | 1,9 | 2,5 | 3,0 | 3,1 | 2,9 | 2,5 | 1,9 | 1,3 | 0,8 | 0,6 | 0,8 | 1,3 | 1,9 | 2,6 | 3,2 |
| 23 | 3,4 | 3,3 | 2,8 | 2,2 | 1,5 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,8 | 1,4 | 2,1 | 2,7 | 3,0 | 3,1 | 2,8 | 2,4 | 1,8 | 1,2 | 0,8 | 0,7 | 0,9 | 1,5 | 2,1 | 2,8 |
| 24 | 3,2 | 3,3 | 3,1 | 2,6 | 1,9 | 1,2 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 1,0 | 1,7 | 2,3 | 2,8 | 3,0 | 3,0 | 2,7 | 2,2 | 1,6 | 1,1 | 0,8 | 0,8 | 1,2 | 1,7 | 2,3 |
| 25 | 2,8 | 3,1 | 3,1 | 2,8 | 2,3 | 1,7 | 1,1 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | 1,3 | 1,9 | 2,4 | 2,8 | 2,9 | 2,8 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,1 | 0,9 | 1,1 | 1,4 | 1,9 |
| 26 | 2,4 | 2,7 | 2,9 | 2,8 | 2,5 | 2,1 | 1,5 | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 1,1 | 1,6 | 2,0 | 2,5 | 2,7 | 2,8 | 2,6 | 2,3 | 1,9 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,3 | 1,6 |
| ☽ 27 | 1,7 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,4 | 2,2 | 2,0 | 1,7 | 1,6 | 1,5 |
| 28 | 1,7 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,4 | 2,2 | 2,0 | 1,7 | 1,6 | 1,5 |
| 29 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 1,7 |
| 30 | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 2,3 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,3 | 2,0 |
| 31 | 1,7 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,0 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 2,1 | 2,4 | 2,6 | 2,7 | 2,6 | 2,3 |

3. Miért hosszabb több mint 2 nappal a két telihold között eltelt időszak, mint a Hold Föld körüli keringési ideje?
4. Miért látjuk pengeélesnek, de nem nyílegyenesnek a Hold megvilágított részének határát a Földről?
5. Vajon vannak-e a Földnek fázisai a Holdról nézve?
6. Milyen lehet a földfelkelte a Holdon?
7. Mi lehet a hasonlóság és mi a különbség a Hold Földről megfigyelt mozgása, illetve a Föld Holdról megfigyelt mozgása között?
8. Miért nincs minden hónapban teljes napfogyatkozás az Egyenlítő környezetében?
9. Mit gondolsz, teljes napfogyatkozás helyén éjszakai sötétség van?
10. Az alábbi két ábra közül melyik a gyűrűs napfogyatkozás és melyik a teljes napfogyatkozás? Válaszodat indokold! Mit látunk az első, és mit a második képen?

11. Az alábbi ábrák egyike növekvő sarló alakú Holdat, a másik holdfogyatkozást ábrázol. Hogyan dönthető el, hogy melyik-melyik? Milyen görbe választja el a sötét és világos részt a holdfázis esetén, illetve holdfogyatkozáskor? Miért látjuk az egyik, illetve a másik esetben is halványan a teljes holdkorongot?



# 65. | Az űrkutatás néhány állomása

**EMLÉKEZTETŐ**

Az űrkutatás lehetőségét azok a technikai fejlesztések teremtették meg, melyek lehetővé tették mind nagyobb tárgyak kellő sebességre való felgyorsítását. Ez a sebesség a Föld körüli pályán való keringés esetében az első kozmikus sebesség (7,9 km/s), de a Holdra vagy távolabbi bolygókra irányított űreszközök esetében már a második kozmikus sebességet is meghaladhatja, ami több mint 11 km/s. Az űrkutatás fejlődése tehát szorosan összefonódott az űreszközök, a hordozórakéták fejlesztésének történetével.

*A világűr meghódításának történetét éppen hogy csak elkezdte írni az emberiség. Az előttünk álló lehetőségek legalább olyan hatalmasak, mint az elénk tornyosuló akadályok. Eljut-e az ember a Marsra az elkövetkező évtizedekben? Űrturisták fogják-e ellepni a holdbázist 100 év múlva? Honnan indultunk és meddig jutottunk el a világűr meghódításában?*

## Az első lépések a világűr meghódítása felé

A mai rakétatechnika alapjait az orosz tudós, Konsztantyin Eduardovics Ciolkovszkij munkássága teremtette meg. 1903 és 1914 között megjelent cikkeiben a hatás-ellenhatás elvén alapuló folyadék hajtóanyagú rakéta tervét dolgozta ki. 1929-ben a *Kozmikus vonat* című munkájában a többfokozatú hordozórakéta gondolatát fejtette ki, megalapozva Szergej Koroljov és Werner von Braun rakétakonstruktőrök munkáját. Ciolkovszkij munkássága elméleti volt, az elméletet gyakorlattá az űrkutatás kezdeti korszakában a nagyszebeni születésű szász Hermann Oberth váltotta, aki folyékony üzemanyagú rakétát konstruált és indított el 1929-ben Berlinben, tanítványai, így Werner von Braun közreműködésével. Az első folyékony üzemanyagú rakétát 1926-ban Robert Hutchins Goddard indította útra, megvalósítva ezzel 1914-ben bejegyzett egyik szabadalmát. Másik szabadalma a többfokozatú rakéta volt. A második világháború alatt és azt követően a rakétafejlesztés elsősorban háborús célokat szolgált.

**„A Föld az emberiség bölcsője, de nem maradhatunk örökké bölcsőben. Az emberiség nem is marad örökké a Földön, hanem fényre és térségre vágyva előbb félszegen behatol a légkörön túli térségbe, aztán pedig meghódítja a csillagok világát.” (Ciolkovszkij)**

Goddard rakétája

## Föld körüli pályán

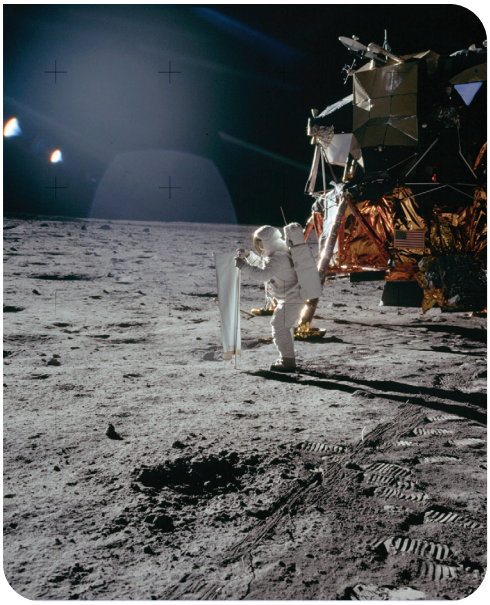
Az első mesterséges hold 1957-ben állt Föld körüli pályára. A műholdat a Szovjetunió indította útjára. Még ebben az évben útra kelt az első űrhajós élőlény, egy Lajka nevű kutya.

Nem egész négy hónappal az oroszok után, az Egyesült Államok is felbocsátotta mesterséges holdját. 1960-ban állt Föld körüli pályára az első meteorológiai műhold. 1961. április 12-én Jurij Gagarin szovjet űrhajós az emberiség történetében először Föld körüli utazást tett. Útja mindössze 108 percig tartott, egyszer repülte körbe bolygónkat.

Az első amerikai űrhajós Alan Shepard volt, aki később a holdraszállást végrehajtó Apollo–14 űrhajó parancsnoka lett. Shepard nem kerülte meg a Földet, hanem űrugrást hajtott végre. A Földet megkerülő első amerikai űrhajós John Glenn volt 1962-ben. Ő már háromszor kerülte meg bolygónkat. Glenn egyben az emberiség legidősebb űrhajósa, mivel 1998-ban, 77 éves korában ismét járt az űrben. Az első űrsétát a szovjet Leonov 1965-ben tette meg.

Az első magyar űrhajós, Farkas Bertalan 1980-ban járt az űrben.

Jurij Gagarin, az első űrhajós



„A Sas leszállt! Két ember sétál a Holdon” – adta hírül a Washington Post 1969. július 21-én

## Irány a Hold

1959-ben a szovjet Luna–1 űrhajó 6000 km-re közelítette meg a Holdat, majd még ebben az évben a Luna–2 becsapódott az égitestbe. Ezután nem sokkal a Luna–3 lefényképezte a Hold Földről nem látható oldalát. 1964-ben az amerikai Ranger–7 szonda több mint 4000 közeli képet sugárzott a Holdról becsapódása előtt. 1966-ban a szovjet Luna–9 űrhajó leszállt a Holdra, és képeket közvetített onnan. Ebben az évben a Luna–10 Hold körüli pályára állt, és ezzel a Hold mesterséges holdja lett. 1968 végén az amerikai Apollo–8 legénysége tízszer körberepülte a Holdat, majd 1969. július 20-án Neil Amstrong és Edwin Aldrin elsőként szálltak le a Holdra az Apollo–11 holdkompján. „Kis lépés az embernek, hatalmas ugrás az emberiségnek” – mondta az először Holdra lépő Armstrong.

1970-ben a Luna–16 űrrobot talajmintát gyűjtött a Holdról, a Lunahod–1 kerekeken gördülő űrlaboratórium 11 hónapig üzemelt a Hold felszínén. 1971-ben az Apollo–15 holdkompja a Holdra vitte az első holdautót, mellyel 28 km utat tettek meg a Hold felszínén. 1998-ban a Lunar Prospector amerikai szonda vizet talált a Holdon.

### Gondold meg!

Mi a lehet a jelentősége annak, hogy a Holdon van víz?

Hol és milyen halmazállapotban lehet víz a Holdon?

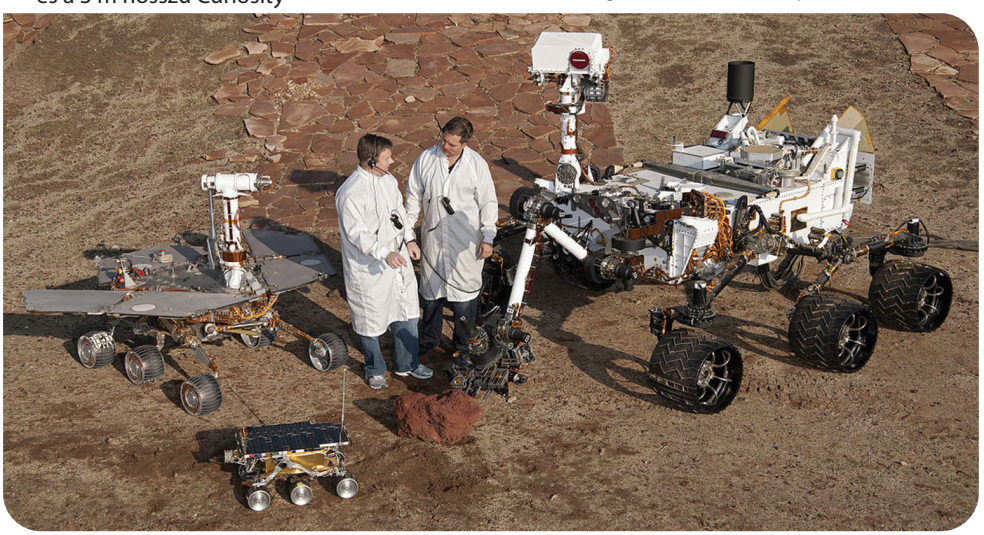
Milyen fontos problémákat kellett megoldani a Mars-autó tervezése során?

## Merkúr, Vénusz és Mars

1961-ben és 1962-ben indította útjára a Szovjetunió az első Vénusz- és Mars-szondát. Mindkettővel megszakadt a rádiókapcsolat. 1962-ben az amerikai Mariner–2 űrszonda mérési eredményeket küldött a Vénusz bolygó sajátságairól. 1970-ben a szovjet Venyera–7 szállt le először a Vénusz felszínére, és onnan sugárzott információkat a Földre. 1971-ben a Mariner–9 űrszonda Mars körüli pályára állt. 1974-ben a Mariner–10 elsőként készített közelképet a Vénusz felhőzetéről és a Merkúrról. 1975-ben a Venyera–9 leszállóegysége talajt ért a Vénuszon, és elkészítette az első panorámafelvételeket a Vénusz felszínének látványáról. 1976-ban az amerikai Viking űrszondák leszálltak a Marsra, felszíni panorámaképeket készíttettek, elemezték a talaj összetételét, és megállapították, hogy a Marson nincs élet.

1996-ban az USA újraindította Mars-programját. 1997-ben leszállt a Marsra a „Nyomkereső” (Mars Pathfinder), és magával vitte az első Mars-autót („Sojourner”, ami jövevényt jelent). Az autó eltávolodott a leszállóegységtől, és mintákat gyűjtött a marsi környezetben. A marsjárművek sorát a Spirit folytatta, mely 2004 januárjában landolt a Marson. Több, mint 7 kilométert tett meg a Marson, majd elakadt a homokban. Szintén 2004. januárban landolt az Opportunity, majd 2012 augusztusában a Curiosity.

A marsjárók három generációja, a 65 cm-es Sojourner, az 1,6 m-es Spirit/Opportunity és a 3 m hosszú Curiosity



Az Opportunity még jelenleg is működik, világrekorder lett azzal, hogy több mint 40 kilométert tett meg 2014 közepéig a Mars felszínén. Élettartamát, akár a Spiritét, mindössze 90 napra tervezték. A Curiosity küldetése ugyancsak folytatódik jelenleg is, és közvetlenül nyomon követhető a http://mars.jpl.nasa.gov/msl/ honlapon.

## Óriásbolygók megközelítése

1972-ben az amerikai Pioneer–10 űrszonda elindult a nagybolygók felé. A szonda 1973-ban megközelítette a Jupitert, és felvételeket készített a bolygóról. A szonda manapság már a Naprendszer peremvidékein jár, az első olyan ember építette objektumként, ami elhagyja bolygórendszerünket. 1977-ben az amerikai Voyager–2 űrszonda elindult a Naprendszert átszelő utazására. 1979-ben a Jupitert közelítette meg, 1981-ben a Szaturnuszt, 1986-ban az Uránuszt, 1989-ben a Neptunuszt vizsgálta, fényképezte eddig nem látott közelségből. 1979-ben az amerikai Voyager–1 a Jupiter Galilei-holdjait fényképezte, felfedezve többek között a Jupiter gyűrűjét és az Io holdon megfigyelhető aktív vulkáni tevékenységet. Később a Voyager–1 a Szaturnusz holdjait is felkereste, és közelről lefényképezte. Új holdakat fedezett fel, és a Titánon (a Szaturnusz legnagyobb holdján) nitrogénlégkört azonosított. 1995-ben a Galileo űrszonda légköri kutatóegysége belépett a Jupiter légkörébe, és méréseket végzett. A Galileo az óriásbolygó első műholdjává vált.

A Mars és a Jupiter közötti kisbolygóövet vizsgálja jelenleg is a NASA Dawn-űrszondája. 2011-ben pályára állt a Veszta kisbolygó körül, 2015-ben pedig a Ceres törpebolygót közelíti meg, majd pályára áll körülötte.

**Gondold meg!**

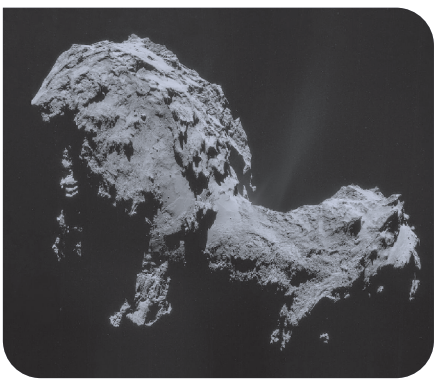
Milyen sajátosságaik vannak az óriásbolygóknak?

## Üstökösök vizsgálata

1985-ben útra keltek a Vega üstökösszondák, melyek feladata az 1986-ban Nap-közelben járó Halley-üstökössel való találkozás volt. 1986-ban a Giotto űrszonda mindössze 540 km-re haladt el a Halley-üstökös magja mellett. 1999-ben a Stardust (csillagpor) naprendszerkutató szonda startolt el, hogy mintát vegyen a Wild–2 üstökösből, illetve a világűrben sodródó poranyagból. Az expedíció sikeres volt, a Stardust leszállóegysége 2006-ban ért Földet. A Rosetta üstökösszonda 2014-ben ért céljához, a Csurjumov–Geraszimenko-üstököshöz. Leszállóegysége az üstökös magján landolt, és onnan küldött képeket. Ez – a könyv írásakor még zajló – expedíció az első alkalom, amikor ember alkotta szerkezet szállt le egy üstökösre.

**Gondold meg!**

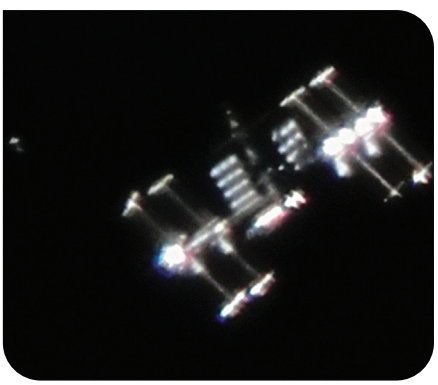
Miért különösen nehéz feladat egy üstökös magjára leszállni?



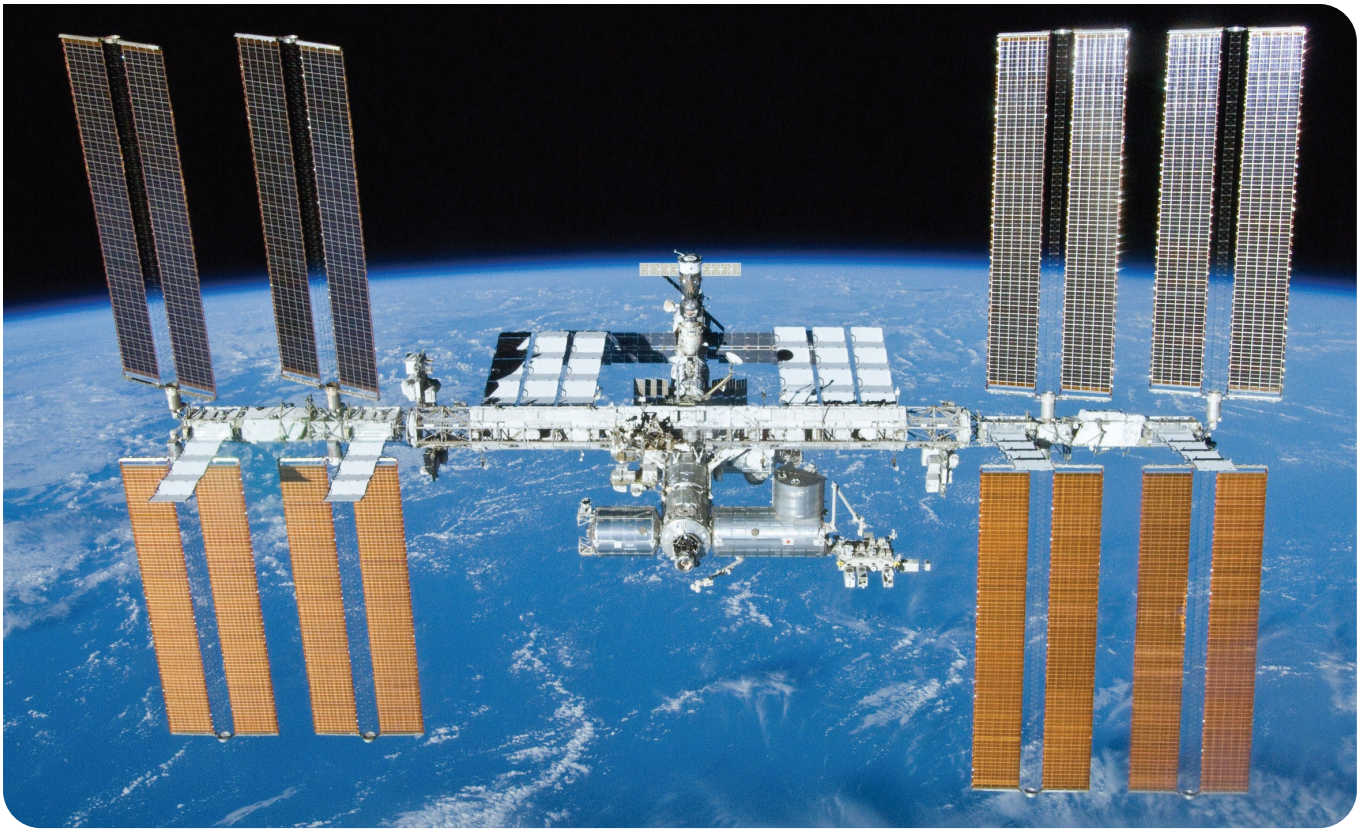
A Csurjumov–Geraszimenko-üstökös magja – 2014. szeptemberi felvétel

## Űrállomások

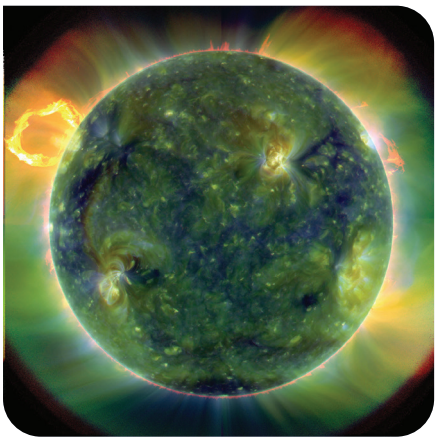
1973-ban Föld körüli pályára állították az első igazi űrállomást, a 75 tonnás Skylabet. Kilenctagú amerikai személyzet dolgozott rajta kilenc hónapon keresztül. 1986-ban a Szovjetunió felbocsátotta a Mir űrállomás központi egységét, melyet azután modulokból tovább építettek. Az utolsó látogatás a Miren 2000-ben történt, majd az emberiség eddigi történetének leghosszabb ideig működő űrállomását az óceánba süllyesztették. 1995-ben együttműködési szerződést írtak alá az Alfa Nemzetközi Űrállomás (ISS, International Space Station) megépítésére. A programban 16 ország vesz részt. Az első egységet 1998-ban állították a 330 és 410 km közötti magasságú pályára. Az űrállomás bővítése napjainkban végéhez közeledik. Az aktuális megállapodások szerint az űrállomás legalább 2020-ig, de lehetséges, hogy tovább is üzemelni fog. Az űrállomást 2000 óta folyamatosan lakják, legalább kétfős személyzete van.



Ezt a távcsövön keresztül készült felvételt a Nemzetközi Űrállomásról Ralf Vandebergh holland asztrofotográfus készítette 2009 szeptemberében



A Nemzetközi Űrállomás



Az SDO különböző hullámhosszokon képes felvételeket készíteni a Napról, így a különböző hőmérsékleten zajló jelenségek könnyebben nyomon követhetők

## Napszondák

1965-ben bocsátották fel a Pioneer–6 napszélkutató űrszondát. 1974-ben indult útjára az első napkutató szonda, a Helios–1. 1990-ben a Discovery űrrepülőgép pályára állította az Ulysses nevű űrszondát, amely elrepült a Nap pólusai felett (1994-ben a délinél, 1995-ben az északinál). 1995-ben startolt a SOHO napszonda, mely a Napot és annak részecskesugárzását vizsgálta. A NASA harmadik napmissziója a Nap és Föld kölcsönhatását vizsgáló STEREO (Solar Terrestical Relations Observatory) szonda pályára állítása volt 2006-ban, majd ezt a 2010-es SDO (Solar Dynamics Observatory) küldetés követte.

*Gondold meg!*

Mi védi meg Földünk élőlényeit a napszéltől?

**NE FELEDD!**

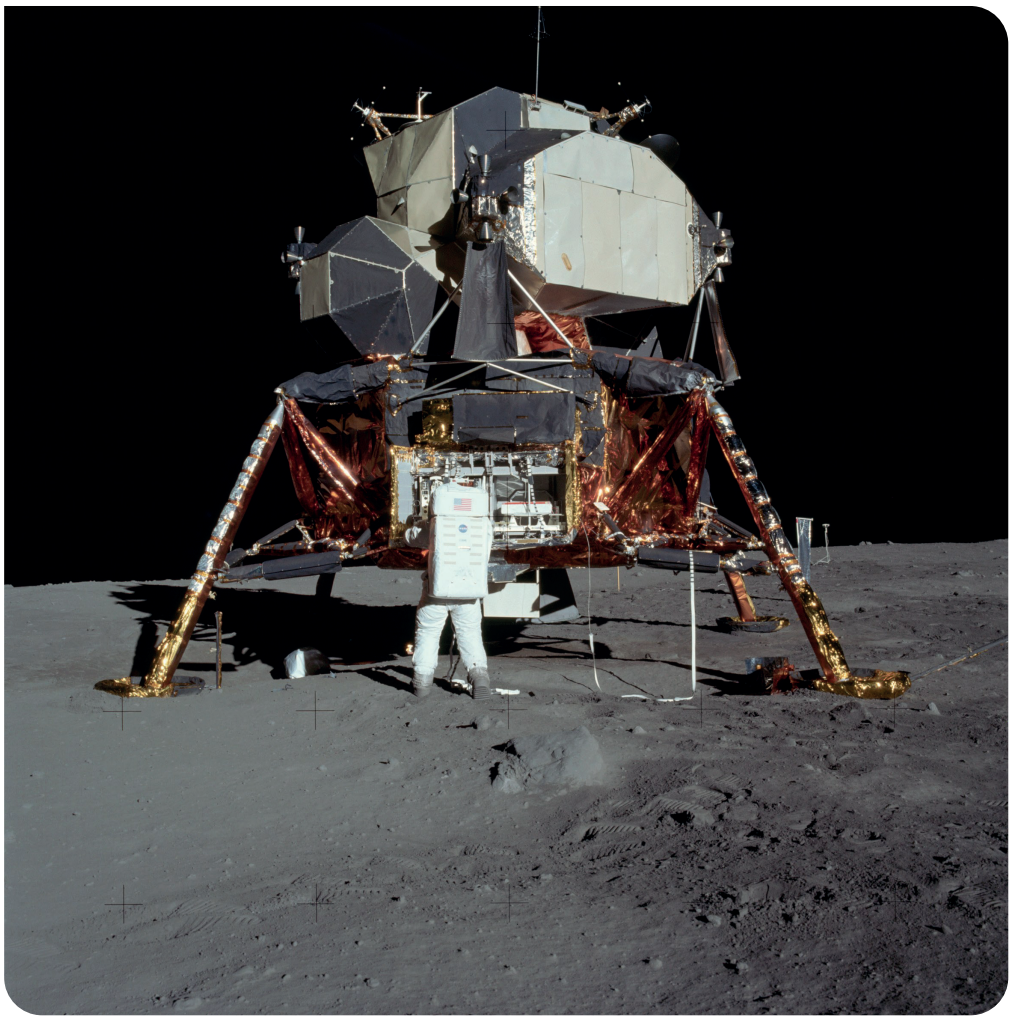
**Az első ember az űrben a szovjet Jurij Gagarin volt, aki 1961-ben kerülte meg egyszer a Földet. A Holdra elsőként 1969-ben Neil Armstrong amerikai űrhajós lépett. Az első magyar űrhajós, Farkas Bertalan 1980-ban vett részt űrrepülésen a szovjet Szoljut űrhajóval. Az űr meghódításához a rakétatechnika fejlődése elengedhetetlen volt. Ma már űreszközeink elérték a Naprendszer bolygóit, vizsgálják a Napot és az üstökösöket. A Nemzetközi Űrállomáson folyamatosan tartózkodik legénység.**

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Ismertesd az űrkutatás legfontosabb fejezeteit az első űrszondáktól jelen korunkig! Mikor juttattak fel először élőlényt az űrbe, és milyen élőlényről volt szó?
2. Meddig tartott az emberiség történetének leghosszabb emberes űrutazása, mikor volt, és ki vett benne részt?
3. Az 1960-as években űrverseny kezdődött az Egyesült Államok és az akkor még létező Szovjetunió között. Mit jelentett az űrverseny, és mi volt a célja?
4. Hányféle kozmikus sebesség van, és mi a jelentésük?
5. Milyen fizikai elvekre épül a rakéta működése?
6. Válassz ki egy jelenleg zajló űrexpedíciót, és ismertesd részletesen!
7. Milyen célokat tűztek ki az elmúlt évtizedek űrexpedíciói?
8. Milyen űrkutatással kapcsolatos aktuális híreket ismersz?
9. A jelenlegi elképzelés alapján mikorra várható, hogy ember utazik a Marsra?
10. Milyen alapvető oka és célja van az űrkutatásnak?
11. Miért jósolható meg nehezen előre, hogy egy ország űrprogramja hogyan fejlődik?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hogyan alakult az űrkutatás történetében a nemzetek közötti együttműködés?
2. Az embereken kívül kísérleti jelleggel milyen élőlényeket jutattak fel eddig az űrbe, és mit vizsgáltak velük?
3. Miért alkalmasabb hely egy űrexpedíció szempontjából a Mars, mint a Földhöz közelebb lévő Vénusz?
4. Melyek azok a Földtől legtávolabbra lévő égitestek, amelyeket földi űreszköz megközelített és lefényképezett?
5. Számos fantasztikus film foglalkozik az űr meghódításával, illetve más, értelmes civilizációk Földre irányuló expedícióival. Ezek némelyike elég sok hibát tartalmaz tudományos szempontból. Keress ilyen filmeket, filmrészleteket, és elemezd az elkövetett hibákat!



Apollo űrhajó a Holdon

# 66. | Űrkutatás az emberiség szolgálatában

*Az űrkutatás gyakorlati alkalmazásai a legkülönbözőbb területeken jelen vannak életünkben. Néha nem is gondolnánk, hogy egy-egy különleges anyagot, hatékony orvosi eljárást vagy technikai megoldást a világűr megismerése érdekében tett erőfeszítéseinknek köszönhetünk.*

**EMLÉKEZTETŐ**

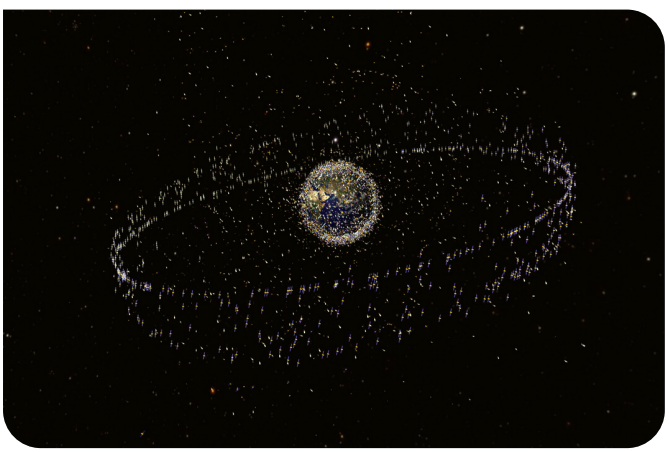
Az űrbe telepített eszközök nagyban segítik földi életünket. A legismertebb felhasználása a mesterséges holdaknak a meteorológiai műholdak, illetve a földi navigációt segítő GPS-holdak és más infokommunikációs holdak, melyek a Föld egész területére szórják a rádió- és a tévécsatornák adásait, szolgáltatják az internetet. A távközlési mesterséges holdak geostacionárius pályán keringenek az Egyenlítő síkjában, a Föld forgásával szinkronban keringve.

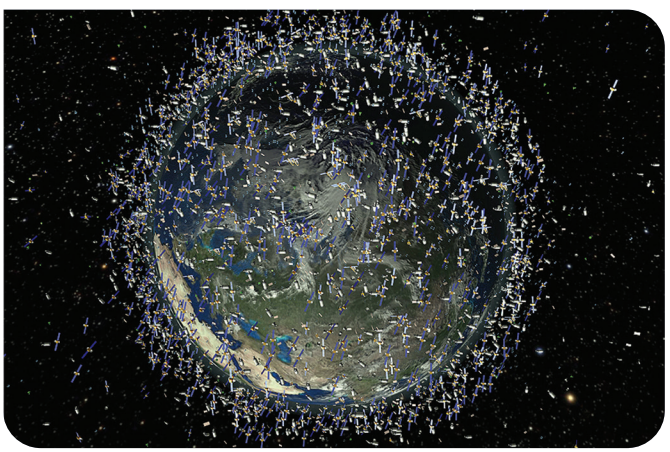
## Mesterséges holdak mindenütt

Mesterséges holdak segítenek a térképezésben, a mezőgazdaságban műholdak képei révén követhetjük a termények beérését vagy esetleges növénybetegségek terjedését, mesterséges holdak infravörös tartományban készített felvételei mutatják meg a halrajok vonulási irányát. Műholdak segítenek az ásványkincsek felkutatásában, a régészeti munkában, és mesterséges holdak felvételeivel ellenőrzik, hogy a gazda a kapott EU-s támogatásból tényleg bevetette-e a földjét a megfelelő növénnyel.

## A Föld gyűrűs bolygó

A Föld felett a legkülönbözőbb magasságokban keringenek mesterséges holdak. A geostacionárius pályán a távközlés igényei miatt különösen sok. Ez alapján kijelenthetjük, hogy a Föld gyűrűs bolygó. Ha a használaton kívül került mesterséges holdak nagy számát is figyelembe vesszük, nem túl nagy büszkeséggel azt is mondhatjuk, hogy a Föld a Naprendszer egyetlen szemétgyűrűs bolygója. És a gyűrű egyelőre gyarapodik…





Mesterséges holdak a Föld körül

## Hallottál róla?

Az űrszemét eltávolításának egyik lehetséges módja egy Földről indított erős lézernyaláb, mely az űrszemét pályáját úgy módosítja, hogy az a felső légkörbe merülve elégjen. Mivel az űrben a használhatatlanná vált eszközök száma nő, és ezek alkatrészei mind jobban szétszóródnak, az űrszemét az újabb űreszközök pályára állítását veszélyezteti.

## Űrkutatás és orvostudomány

Az űrkutatás és orvostudomány kapcsolata sokrétű. Az orvosok feladata a megfelelő fizikai állapotú űrhajósok kiválasztása. Ahogy egyre kényelmesebbé válik az emberek számára az űrutazás, annál többen juthatnak fel a világűrbe. Hamarosan ránk köszönt az űrturizmus korszaka, amikor már szinte bárki részt vehet űrutazáson, aki ezt anyagilag megengedheti magának. Az űrkutatás orvosi vonatkozásai közé tartozik olyan diagnosztikai eszközök kifejlesztése, melyek nagy távolságból, egyszerű módon vizsgálhatják az űrutasok fizikai állapotát. Ilyenkor az orvos a Földön tartózkodik, és onnan irányítja és értelmezi az orvosi műszerrel szerzett információkat. Fontos feladata az orvosoknak az űrhajóban, illetve az űrállomáson való tartózkodás biológiai következményeinek pontos felismerése, olyan eljárások kidolgozása, melyek az ezekből adódó veszélyeket csökkentik. A szív, a vérképző szervek, a csontok, az izmok, az anyagcsere szervei mind a földitől eltérő igénybevételnek vannak kitéve az űrben. Egy másik érdekes terület a súlytalanság állapotában végzett sejt- és szövettenyésztés. A tapasztalatok alapján a hagyományos földi sejttenyészetekben a sejtek viselkedése eltér attól, ahogy az élő szervezetek komplex rendszereiben viselkednek. A súlytalanság állapotában viszont éppen ez a zavartalan működés hozható vissza. Az elhalt izomszövet pótlása, a cukorbetegek hasnyálmirigyéből elkülönített szigetsejtek inzulintermelésének beindítása, de akár a legyőzendő vírusok tenyésztése gyógyszerkísérletek számára, egyre hatékonyabban oldható meg a mikrogravitációs környezetben.

## Különleges anyagok fejlesztése

Az űrkutatás jelentős hatást gyakorol az anyagtudományokra. A fejlesztések egy része az űrbeli különleges fizikai körülményeknek, illetve az űrutazás során fellépő extrém hatásoknak ellenálló anyagok létrehozására irányul. Egy másik érdekes csoportja a különleges anyagoknak az űrbeli körülmények között kifejlesztett változata, például a súlytalanság állapotában történő kristályosítás.

## Tűzálló és hőszigetelő ruhák

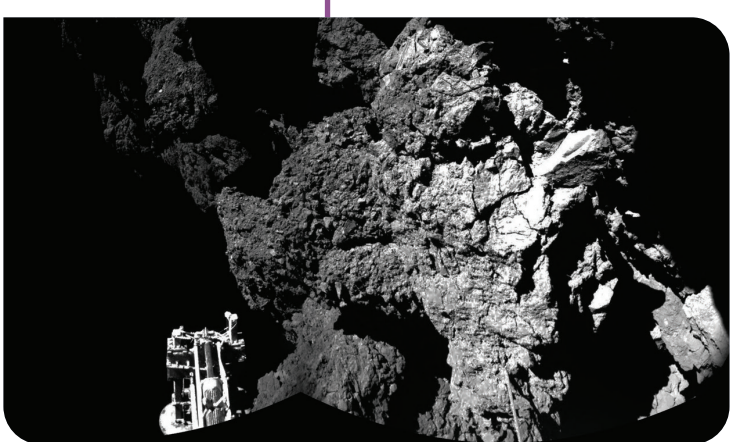
Az űrben, például egy űrséta során, a világűr hidegét, illetve a napsugárzás erős melegítő hatását is túl kell élni. Az űrhajó a Föld légkörébe való visszatérés során +1300 °C-ra melegszik. A tűzálló és kiváló hőszigetelő tulajdonságú anyagok kifejlesztése az űrkutatás egyik legfontosabb feladata lett, hiszen a hőszigetelés hiányosságai számos űrbaleset kiváltói voltak. Ezeket az anyagokat a mindennapi életben sikerrel használják a tűzoltók, megjelennek a repülőgépekben, az autókban.

## Légyirtó szer mint az űrkutatás melléktermék

A múlt század hetvenes éveiben a Viking szondák a Mars bolygó felszínét vizsgálták. Egyik feladatuk az volt, hogy életnyomokat találjanak. Ezért a marsi mikrobák kitenyésztésére a környezetet nem szennyező speciális anyagot fejlesztettek ki. Egyszer valamennyit az anyagból a kutatók a la-

### Hallottál róla?

A Rosetta üstökösszonda 2014-ben ért céljához, a Csurjumov–Geraszimenko-üstököshöz. Leszállóegysége az üstökös magján landolt. A leszállóegység lábait különleges többrétegű szénszálas anyagból készítették, melynek hatszor kisebb a sűrűsége, de másfélszer merevebb, mint az acél. Egy német cég nagy pontosságú lézeres vágógépeiben is ezt az anyagot használják.



A Rosetta landolása az üstökös magján 2014. november 12-én

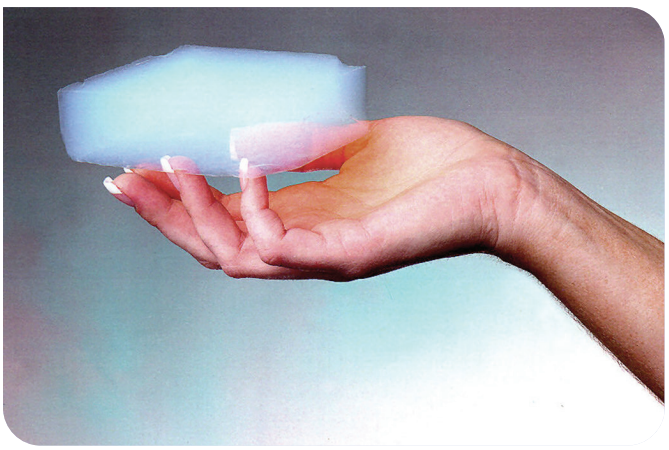
**NE HIBÁZZ!**

Sokan úgy gondolják, hogy az űrkutatás melléktermékeként fejlesztették ki a teflont, pedig ezt az anyagot már 1938-ban felfedezték.

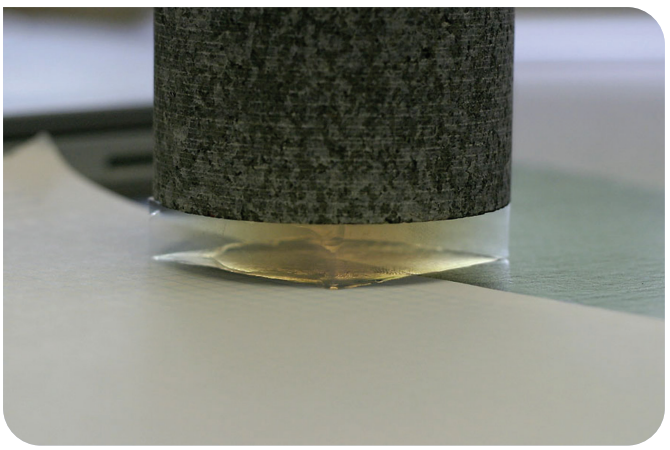
borasztalon felejtettek, és visszatérve meglepetten látták, hogy döglött legyek tömege veszi körül az edényt. Az anyag felválthatja az addig használatos környezetre ártalmas légyirtó vegyületeket.

## Az aerogél

A Stardust (csillagpor) űrszonda megközelítette a Wild–2 üstököst, és a belőle kilökődő porszemcséket hozta vissza elemzésre a Földre. A szemcsék befogására fejlesztették ki az aerogél nevű anyagot, mely rendkívül könnyű, mégis kellően erős, az űr hidegét jól tűrő tulajdonságokkal kellett hogy rendelkezzen. Fontos volt, hogy elég laza legyen a szerkezete, így a becsapódó porrészecskék ne égjenek el benne a súrlódás miatt. Bár az expedíció indításakor 1999-ben nem volt világos, hogyan szedik ki a porszemcséket az aerogélből, de 2006-ra, mire a Stardust visszatért, ezt is sikerült megoldani.



Bár látszatra olyan, mint egy hologram, az aerogél mégis szilárd



A 0,5 kg-os aerogél tégla egy 4 kg-os gránittömböt tart

## Magyarok az űrkutatásban

Alumíniumhab

Az űrkutatás egy országra jutó költségeit a nemzetközi összefogás csökkentheti. Ebben az együttműködésben a magyarok is kivették a részüket. A Föld körüli pályán keringő űrhajók és űrállomások utasai sokkal nagyobb kozmikus sugárzásnak vannak kitéve, mint a Föld felszínén, a levegőréteg védelme alatt élő emberiség. A magyar fejlesztésű Pille sugárzásmérő az űrhajósok sugárterhelését tudja kellő pontossággal mérni az űrutazás alatt. A műszer prototípusát 1980-ban készítették el a Központi Fizikai Kutató Intézetben.

Szintén magyar szabadalom a Miskolcon kifejlesztett űrkemence, melynek pontos neve az 1993-as szabadalmi bejegyzés szerint: **Berendezés irányított kristályosítás végzésére űrviszonyok között.** A 24 zónára bontható és zónánként külön fűthető egységek fűtését bonyolult elektronika szabályozza, ami nagyon változatos kísérletek elvégzését teszi lehetővé. A miskolci fejlesztések egyike például az a könnyű, nagy szilárdságú, jó szigetelő és kiváló energiaelnyelő fémhab (alumíniumhab) is, mely mind az űrtechnológiában, mind a földi felhasználás során sokoldalúan hasznosítható. Magyarország első műholdját, a Masat–1-et a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnök és Informatikai Karának hallgatói és oktatói készítettek el a Magyar Űrkutatási Iroda, illetve hazai cégek bevonásával. A műhold 2012-ben állt pályára.

## Űrturizmus

2001 és 2009 között heten már magánemberként keresték fel a Nemzetközi Űrállomást, miután kifizették az út 20-40 millió dolláros költségét. Ezt a lehetőséget az orosz űrprogram költségeinek csökkentésére találták ki, és a Szoljut űrhajók biztosítják a célba jutást. A programban részt vevők között volt a magyar születésű Charles Simonyi (kiemelkedően sikeres szoftverfejlesztő, Simonyi Károly mérnök, fizikus, tudós-tanár fia), aki már kétszer járt a világűrben (2008, 2009) második magyar űrhajósként.

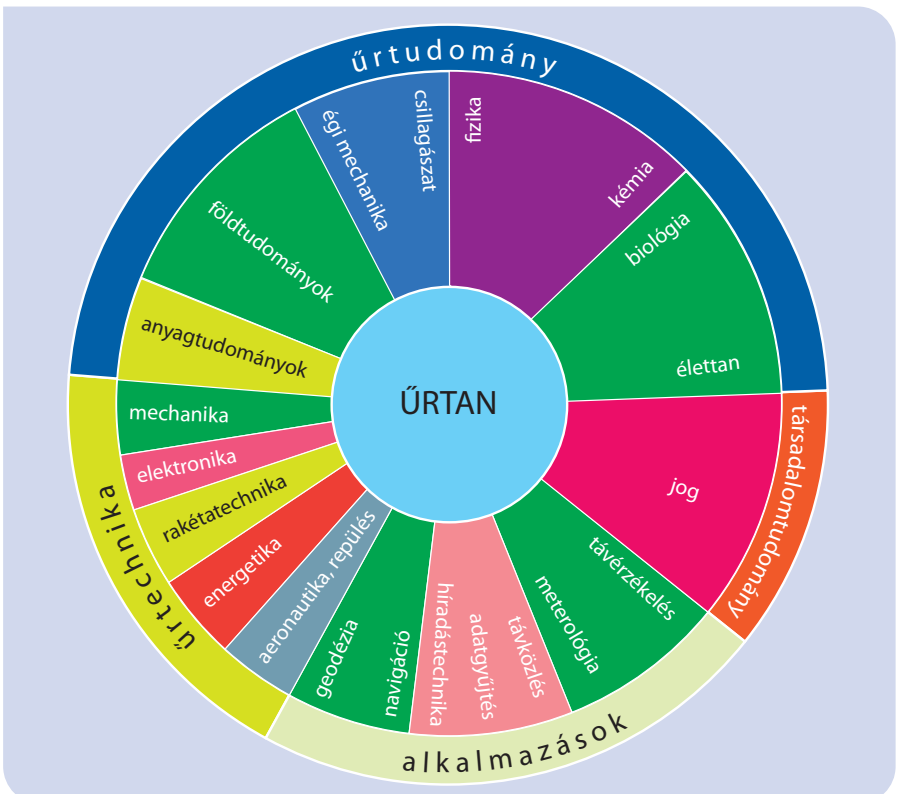
Virgin Galactic űrrepülője a SpaceShipTwo (SS2)

Az Egyesült Államok is tervez űrturista programokat részben saját magán űrhajókat, részben az orosz kapacitást kihasználva. A közeljövőben kezdi meg szolgáltatásait a Virgin Galactic nevű cég, melynek 200 000 dolláros utazásaira már több százan befizették a 20 000 dolláros foglalót. Átadták az űrrepülőteret (spaceport), és befejezéshez közeledik a tesztelése a hordozóegységnek és az űrrepülőnek. A hordozórepülő 15 km-re viszi fel a hat űrutas számára alkalmas űrrepülőt, amely saját hajtóművével 150 km magasra emelkedik, majd rövid ideig Föld körüli pályára állva biztosítja a Föld űrbeli látványát és a súlytalanság állapotának átélését.

2014 végén az egyik próbarepülés során a cég űrrepülője balesetet szenvedett, ami visszavetheti a magánűrhajózás programját.

**NE FELEDD!**

**Az űrkutatás földi alkalmazásai a tudomány és technika minden területére kiterjednek. Legjelentősebbek az infokommunikációs alkalmazások, a meteorológiai felhasználás és az űrkutatás anyagtudományra gyakorolt hatása.**




A tudományági kapcsolódások rendszere

## EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A magyar származású Charles Simonyi kétszer is járt a világűrben „magánűrutasként". Mikor történt ez a két esemény? Hogyan lehetséges, hogy nem csak évekig kiképzett űrhajósok juthatnak el a világűrbe? Milyen szempontok alapján döntöttek úgy a program működtetői, hogy lehetővé teszik a magánűrturizmust?
2. Milyen extrém körülményekre kell felkészülni egy űrutasnak, és ehhez milyen különleges tulajdonságú anyagokra, védőberendezésekre van szükség?
3. Kik jártak űrturistaként a Nemzetközi Űrállomáson?
4. Mi a feladata a Föld körül keringő mesterséges holdaknak? Sorolj fel minél több alkalmazást!
5. Hogyan magyarázható, hogy a halrajok vonulását infravörös hullámhosszon készült felvétellel lehet követni?
6. Milyen orvosi kérdéseket vet fel az űrkutatás?
7. Milyen speciális anyagtudományi vizsgálatok színtere lehet a világűr?
8. Milyen különleges anyagokat fejlesztettek ki az űrexpedíciók céljaira?

## ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen fejlesztésekkel vettek részt, vagy vesznek részt magyar tudósok nemzetközi űrkutatási projektekben?
2. Sajnos a sok sikeres űrexpedíció mellett számos sikertelen, emberéleteket követelőre is volt példa. Milyen technológiai és anyaghibák vezettek ezekhez a balesetekhez? Elemezz néhányat! Mit lehet a tragédiákból tanulni?
3. Keress az interneten olyan új anyagtudományi fejlesztéseket, melyet az űrkutatás ösztönzött!
4. Milyen körülmények és lehetőségek, kényelmi szolgáltatások fognak a közeljövő űrturistái rendelkezésére állni? Milyen hosszú űrutazásra kerülhet sor, mekkora távolságra a Föld felszínétől?
5. Elektromágneses jelek milyen hullámhosszon történő észlelésével lehet ellenőrizni az atomcsendegyezmény betartását? Milyen csillagászati kutatási irány nőtt ki ebből a katonai-biztonsági célú fejlesztésből?
6. Hogyan látod az űrturizmus helyzetét, milyen lehetőségeket jósolsz 2060-ra?
7. Milyen fizikai elv révén lehetséges intenzív lézerfénnyel űrobjektumok pályájának módosítása? Milyen irányból besugározva lehetne legjobb hatásfokkal egy műholdat a légkör sűrűbb rétegei felé irányítani?

Űrállomás belső képe

# NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ


3D tv 199
4G 170
5G 170

**A, Á**

abszolút fényesség 266
adatbázis 164
aggregátor 123
akkumulátor 64
aktivitás 239
aktív szemüveg 200
alapállapot 205
alfa-bomlás 233
alfa-sugárzás 232
állóhullám 149
állapotfüggvény 222
Ampere, André-Marie 59
ampermérő 69
amplitúdó 147
analóg jel 172
annihiláció 237
antenna 269
áramerősség 58
áramforrás 58
áramkör 59
áramütés 77
Arkhimédész 16
árnyék 324
árnyékolás 44
asztrológia 299
asztronómia 299
átlátszó anyagok 181
atom 205
atombomba 243
atomenergia 227
atomerőmű 227
atommag 231
atommagok stabilitása 242
attoszekundum 154
automata biztosíték 80

**B**

Bay Zoltán 96
becquerel, Bq 239
Becquerel, Henri 218
béta-bomlás 233
béta-sugárzás 233
bifokális lencse 181
binokulár 200
bionikus szerv 164
Bláthy Ottó 86
Bluetooth 172
Bohr, Niels 220
Bohr-modell 219
Brown-mozgás 212

**C**

camera obscura 190
CCD-érzékelő 267
Chadwick, James 219
COBE 283
CT 159
Curie, Pierre 233
Curie, Marie 233

**CS**

csavar 23
csillagok mérete 263
csillagok fényessége 266
csillagok színe 267
csillagok születése 276
csomópont 149
csóva (üstökös) 314
csúcshatás 45

**D**

Dalton, John 86
de Broglie, Louis 216
de Broglie hullámhossz 216
decibel 139
delokalizált elektronok 184
demonstrációs műszer 69
Démokritosz 204
Déri Miksa 129
Descartes, René 196
dielektromos állandó 49
digitális fényképezőgép 107
digitális jel 167
digitális zoom 213
dinamikus mikrofon 120
dioptria 181
domború lencse 188
domború tükör 185
Doppler-eltolódás 282

**E, É**

ebonitrúd 30
Edison, Thomas Alva 90
EEG 76
effektív dózis 240
egyenáram 58
egyenáramú motor 114
egyensúlyi helyzetek 18
egyoldalú emelő 21
egyszerű gép 21
Einstein, Albert 212
EKG 76
elektrolit 63
elektromágnes 109
elektromágneses indukció 118
elektromikroszkóp 216
elektromotor 114
elektroszkóp 31
elektrosztatika 31
elektromágneses háttérsugárzás 158
elektromágneses hullám 153
elektromágneses indukció 118
elektromágneses sugárzás 157
elektromos állapot 30
elektromos áram 54
elektromos csengő 111
elektromos megosztás 32
elektromos mező 40
elektromos potenciál 44
elektromos teljesítmény 84
elektromos térerősség 40
elektron 44
elektronbefogás 233
ellenállás 68
éleslátás 181
elliptikus galaxis 307
elnyelési színkép 204
emelő 21
endoszkóp 167
energiatakarékos izzó 208
Eötvös Loránd 106
Eratoszthenész 257
érintőképernyő 75
erőkar 10
erőmű 122
erős kölcsönhatás 242
Esthajnalcsillag 309
exobolygó 290

**F**

fajlagos kötési energia 242
Faraday, Michael 44
Faraday-kalitka 44
fáziskereső 75
fehér fény 192
fehér törpe 276
fekete lyuk 277
fekete törpe 276
félárnyék 178
felezési idő 235
fényelektromos hatás 211
fényelnyelés 195
fényév 262
fényképezés 189
fénykúp 274
fénymásoló 34
fénysugár 178
fényszennyezés 268
fényszórás 195
ferromágnes 102
fókuszpont 182
fókusztávolság 188
Föld 311
földelés 32
forgatónyomaték 10
fosszilis energiahordozók 219
fotocella 213
foton 215
fotoszféra 304
Franklin, Benjamin 39
Franklin-féle tábla 51
frekvencia 127
fúziós energia 244

**G**

Gábor Dénes 175
galaxis 264
galaxishalmaz 264
galaxismag 277
galaxisok mérete 264
galaxisok távolsága 264
Galilei, Galileo 316
Galilei-távcső 188
Galilei-holdak 317
galvánelem 62
gamma-sugárzás 232
geotermikus energia 227
gerjesztett állapot 205
generátor 121
globális éghajlatváltozás 229
gluon 223
görbült tér 280
gördülési ellenállás 13
gőzturbina 187
GPS 256
gravitációs hullám 223
gravitációs vöröseltolódás 283
graviton 223

**GY**

gyűrűs bolygó 332
gyűrűs napfogyatkozás 325

**H**

hagyományos izzó 96
halogén izzó 208
hang 136
hangerősség 139
hangmagasság 145
hangköz 145
hangszín 147
hangszóró 115
hatásfok 13
háttérsugárzás 239
heliocentrikus 250
hertz 137
Hevesy György 236

Hold 322
holdfázis 325
holdfogyatkozás 325
hologram 175
homogén fény 192
homogén mágneses mező 105
homorú lencse 182
homorú tükör 185
hőmérsékleti sugárzás 158
hősugárzás 153
hőveszteség 130
Hubble-űrtávcső 266
hullámhossz 153

I

ideális motor 11
ikerparadoxon 288
indukált feszültség 118
indukciós főzőlap 119
információs és kommunikációs technológia, IKT 163
infrahang 137
infrakamera 161
infravörös sugárzás 158
interferencia 197
izotóp 231
izotópdiagnosztika 237

J

Jedlik Ányos 113
joule-hő 83
Joule-törvény 83
Jupiter 316

K

kapacitás 48
katódsugárcső 168
Kepler I. törvénye 253
Kepler II. törvénye 255
Kepler III. törvénye 255
képtávolság 190
keringési sík 257
kétoldalú emelő 22
kibocsátási színkép 204
kóma (üstökös) 314
kommutátor 114
kompakt fénycső 208
kondenzátor 49
kontaktlencse 182
kozmikus sebesség 327
kozmikus sugárzás 334
kozmológiai vöröseltolódás 282
közegellenállás 10
Kuiper-öv 313
kvantumfizika 282
kvantumhipotézis 211
kvantummechanikai atommodell 222
kvarclámpa 211
kvark 222
kWh 84

L

labilis egyensúlyi helyzet 19
láncreakció 122
látás 178
látszólagos fényesség 266
látszólagos kép 185
LCD tv 168
Lebegyev, Pjotr 215
Leclanché-elem 63
LED 208
LED tv 168
lejtő 23
lézerfény 174
LIGO 223
Lítiumion-akkumulátor 62
Lorentz-erő 105
lumen 209

LY

lyukkamera 190

M

magerő 242
magfúzió 244
maghasadás 233
mágneses indukció 103
mágneses információtárolás 120
mágneses megosztás 102
mágneses monopólus 103
mágneses pólus 103
Mars 311
megújuló energiaforrások 226
mellékág 89
mélységélesség 213
merev test egyensúlya 17
Merkúr 309
mesterséges gravitáció 295
mesterséges hold 327
meteor 290
mikrohullám 157
mikrohullámú kozmikus háttérsugárzás 282
mikroszkóp 188
mobiltelefon 170
mozgókép 199
multifokális lencse 183
multiméter 69
műhold 327
müon 222

N

nagy felbontású tv 167
nagyítás 188
nagyító 187
napfogyatkozás 305
nanométer 157
nanotechnológia 164
napelem 214
napfolt 305
naprendszer 309
napszél 295
naptevékenység 306
negatív béta-sugárzás 232
neutrínó 222
neutroncsillag 277
Newton-rendszerű távcső 188
nukleonok 242

NY

nyomjelző izotópok 235
nyugalmi indukció 118

O, Ó

objektív 188
Ohm, Georg Simon 70
Ohm törvénye 70
oktáv 145
okulár 188
optikai zoom 213
optikai távcső 271
ózonpajzs 229

Ö, Ő

ökológiai lábnyom 228
önindukció 119
ősköd 319
ősrobbanás 281
összetett fény 192

P

parabolaantenna 269
párhuzamos kapcsolás 89
periódusidő 127
permeabilitás 110
PET-CT 236
pixel 167
Planck, Max 211
Planck-állandó 206
Planck szonda 283
plazma TV 168
próbatöltés 40
fényképezőgép 189
pontszerű test egyensúlya 16
pontszerű fényforrás 178
pozitív béta-sugárzás 233
pozitron 222
pozitron megsemmisülés 237
prizma 192
proton 205
protuberancia 304

R

radar 158
rádióablak 269
radioaktív izotóp 235
radioaktív sugárzás 239
rádióhullám 269
rádiótávcső 269
relatív dielektromos állandó 49
relé 111
rendszám 205
részecske-hullám kettősség 215

retina 167
robotok 170
röntgensugárzás 219
rövidlátás 181
Rutherford, Ernest 218

**S**

sarki fény 306
sávszélesség 170
Segner-kerék 45
Selényi Pál 37
SETI program 292
sievert, sv 239
síktükör 185
Simonyi Károly 335
sínfék 111
soros kapcsolás 88
sötét anyag 286
sötét energia 286
speciális relativitáselmélet 287
spirálgalaxis 307
stabil egyensúlyi helyzet 19
standard modell 222
sugársebészet 236
sugárterápia 235
sugárterhelés 239
sugárveszély 239
súlypont 18
súlyvonal 18

**SZ**

szabályos visszaverődés 185
szabálytalan galaxis 307
számítógépes röntgen-tomográfia 236
Szaturnusz 317
Szaturnusz gyűrűrendszere 315
szélenergia 227
szemlencse 179
szénkefe 114
szenzor 171
szigetelők 31
szikrainduktor 120
színképelemzés 206
színszűrős szemüveg 200
szivárvány 192
szupernóva-robbanás 277
szupravezető 73

**T**

tárgylencse 188
tapadási súrlódás 10
távcsövek 188
távirányító 161
távollátás 181
Tejútrendszer 306
terjedési sebesség 153
térlátás 199
tér tágulása 282
Tesla, Nikola 127
Thomson, Joseph John 218
Thomson-féle atommodell 218
tömegszám 231
tömegvonzás 255
törésmutató 181
törpebolygó 313
transzformátor 129
turbina 122

**U**

UHD 168
ultraibolya sugárzás 230
ultrahang 137
univerzum keletkezése 281

**Ü, Ű**

űrállomás 329
űrséta 333
űrszemét 332
űrszonda 163
űrtávcső 270
üstökös 312
üvegháztartás 229

**V**

vákuum 50
valódi kép 185
váltakozó áram 127
vasmag 129
Van de Graaf-generátor 45
vegyes kapcsolás 92
Vénusz 309
Vénusz fázisai 310
visszaverődés 185
vízenergia 227
Volta-féle oszlop 65
vonalas színkép 204
vöröseltolódás 281
vörös óriás 276

**W**

wifi 172
WMAP 283

**X**

Xerográfia 37

**Z**

zajártalom 141
zajszennyezés 141
zenei *a* hang 145
Zipernowsky Károly 129

# KÉPEK JEGYZÉKE

Fotók (a szám az oldalszámot, a betű az oldalon belüli képsorrendet jelöli):

**2MASS:** 307b, **Abby's Physics Blog:** 114b, **Alstom:** 122b, **Arecibo Observatory:** 270a, **Biblioteca Comunale di Trento:** 251c, **Big Ear Radio Observatory & NAAPO:** 292a, **Central Forensic Laboratory of the Polish Police:** 250c (Dariusz Zajdel), **CERN:** 104b (Maximilien Brice/CC BY-SA 4.0), **Cultiris:** 21a, 28b, 65a, 86a, 175b, 188b-c, 211, 216a, 220, 250a, **Cutoutandkeep.net:** 199b-c, **Daniel Rutter:** 107, **Deutsches Museum:** 122a (Jorge Royan/CC BY-SA 3.0), **Det Kgl. Bibliotek:** 251a, **Dianne Faw:** 103c, **Elektrotechnikai Gyűjtemény:** 101, **ESA:** 329a (CC BY-SA 3.0 IGO), 332, 333, **ESA/Hubble:** 276, **ESO:** 310, 313b (CC BY-SA 4.0), **ESO/EHT Collaboration:** 278/a (CC BY 4.0), **Essentialvermeer.com:** 190b, **ETH Library:** 41, **Flickr:** 8b (Nagyman/CC BY-SA 2.0), 12 (ClearFrost/CC BY-SA 2.0), 13 (tonal decay/CC BY-SA 2.0), 20b (jurvetson/CC BY 2.0), 23a (U.S. Army/CC BY 2.0), 28c (steevithak/CC BY-SA 2.0), 45/a (UCL Mathematical Physical Sciences/CC BY 2.0), 71c (oomlout/CC BY-SA 2.0), 73c (Oskay/CC BY 2.0), 120b (portableantiquities/CC BY 2.0), 134b (Sander van der Wel/CC BY-SA 2.0), 137b (shannonpatrick17/CC BY 2.0), 164b (CGP Grey/CC BY 2.0), 178a (photofarmer/CC BY 2.0), 184b (madnzany/CC BY 2.0), 186a (ePi.Longo/CC BY 2.0), 200c (vulpesfidelis/CC BY 2.0), 203 (johncarney/CC BY 2.0), 233 (Tekniska museet/CC BY 2.0), 256 (perpetualplum/CC BY 2.0), 306b (jurvetson/CC BY 2.0), 326b (sancho_panza/CC BY 2.0), 334b (kaszeta/CC BY-SA 2.0), **Frederiksborg Hillerod Museum:** 251b, **HyperPhysics:** 204, **Időkép:** 105, **iStock:** 39b, 60, 125a, 190a, 190c, 191, 202c, 216d, 265, 279b, 321, **ITER:** 245, **Jedlik Ányos Gépipari és Informatikai Középiskola:** 113b, **Jedlik Ányos Társaság:** 115c, **Library of Congress:** 57b, 199a, 248, **Magyar Nemzeti Galéria:** 96, **MTI Fotó:** 52b, 228, **NASA:** 39a, 113a, 160e, 182a, 224a-b, 230, 246b-c, 247, 249b, 258, 264, 267, 270c-d, 271, 275a, 277, 283a, 290, 293, 295, 296a-b (Don Davis), 296c (Rick Guidice), 296d-e, 304a-b, 305, 307a, 307c-d, 308a, 311-312, 313a, 316-317, 318a. 318c-d, 320a, 322-323, 325b, 327a (Goddard Space Flight Center), 328, 330-331, 334a, 336, **NASA/ESA:** 318b, **NASA/JPL-Caltech/ESA:** 283b, **NOAA:** 46a, 254, **Nordiska Museet:** 109c (CC BY 4.0), **Northwestern University:** 223, **OSZK:** 106b-c, **OU History of Science Collections:** 259, Österreichische **Nationalbibliothek:** 212a, **PACSI:** 263a, **Paksi Atomerőmű:** 122c, **Paramount Pictures:** 279a, **Pedro Ré:** 257, **Penn Libraries:** 16, **Phl.upra.edu:** 297b, **Pixabay:** 147, **Popular Science:** 142a, **RMN Grand Palais:** 38b, **Sághegyi Múzeum:** 106a, **Science Alert:** 150b, **Science Niblets:** 149 (Elmar Bergeler/CC BY-SA 3.0), **Shutterstock:** 14a, 15 (Natursports), 17, 21b-c-d, 22b, 23b, 25a (Robson90), 25b, 26, 27b (Gaid Kornsilapa), 32, 33b, 34, 35, 38a, 42b, 43a, 43/b (James Kirkikis), 47, 48b, 50b (goodbishop), 54, 55a, 56c, 69a (Mariano N. Ruiz), 71a, 73b, 74, 76-78, 79a, 79c, 80, 81b, 82, 83b, 88, 90, 94, 95a, 98-100, 104a, 111b, 119b, 121a, 123d, 125c, 136, 137a, 137c, 144 (Fabio Pagani), 150a, 152 (Ferenc_Szelepcsenyi), 159a-b, 160d, 163, 164a, 164c (Adrian Mars), 164d, 166b, 176a, 176b (Uladzimir Gudvin), 176c, 177, 181, 182c, 185c, 189a, 195-196, 197c-e, 200a, 202a-b, 208, 214b (Se-rgey), 216b, 216e, 225, 227e (Vladimir Mulder), 231c, 269a, 275b, 292b, 294, 298, 299a, 306a, 308b-c, 309, **SKA Project:** 269b, **Smithsonian Libraries:** 219, **Sovfoto:** 327b, **Sparkmuseum:** 115b, **Spectral Instruments:** 212b, **Stift Kremsmünster:** 253, **SZTE Fizikai Intézet:** 19c, **The Conversation:** 161, **The Geek Spot:** 175a, **Thinkstock:** 67, 315, **University of Toronto Library:** 249a, **UNSW Australia:** 139b, **Uppsala University Hospital:** 159c (Mikael Häggström/CC0), **U.S. Air Force:** 134c, 162c, **U.S. National Archives Catalog:** 23d, 24a, **U.S. National Institutes of Health:** 137d, **U.S. National Library of Medicine:** 231b, 301 (Elaine & Arthur Shapiro), **U.S. Navy:** 8c, **USGS:** 320b (David John Roddy), **Vadász Sándor:** 45/b, **Veritasium:** 174, **Verkehrshaus der Schweiz:** 160a (IDuke/CC BY 2.5), **Vidame Creation:** 184a, **Wellcome Collection:** 118b (Maull & Polyblank/CC BY 4.0), 291 (CC BY 4.0), **Wikimedia:** 8a (Horemu/CC BY-SA 3.0), 9 (Pe-Jo/CC0), 10 (CC0), 11 (Tennen-Gas/CC BY-SA 2.5), 14b (annandbilly/CC BY-SA 2.0), 19a (JC Maxwell/CC BY 3.0), 19b (Domokos/CC0), 20a (ThomasWeise/CC BY-SA 3.0), 22a (Pe-Jo/CC0), 23c (Szőcs Tamás/CC BY-SA 3.0), 24b (Horemu/CC BY-SA 3.0), 27a (Honza Groh/CC BY-SA 3.0), 28a, 29 (Raymond „Peaceray" Leonard/CC BY 3.0), 33a (Hannes Grobe/CC BY-SA 2.5), 37 (CC0), 42a (CC0), 44 (Raymond „Peaceray" Leonard/CC BY 3.0), 46b (Harp/CC BY-SA 2.5), 48a (Sven Brinkhoff/CC BY-SA 3.0), 50a (Fabian R/CC BY-SA 3.0), 51a (John Tyndall, 1876: Lessons in Electricity at the Royal Institution/CC0), 51c (Socram8888/CC BY-SA 2.0), 52a (Lead holder/CC BY-SA 3.0), 52c (HNH/CC BY-SA 3.0), 53 (Jean-Christophe BENOIST/CC BY-SA 3.0), 55b (Lukaszsym/CC BY-SA 3.0), 55c (Camerafiend/CC BY-SA 3.0), 56d (Zwergelstern/CC BY-SA 3.0), 57a (Gina Clifford/CC BY-SA 4.0), 59 (Catalin.Fatu/CC BY-SA 3.0), 61, 62a (Loadmaster/CC BY-SA 3.0), 62b (Jbruso/CC BY-SA 3.0), 63 (Lead holder/CC BY-SA 3.0), 64 (Frettie/CC BY 3.0), 65b (GuidoB/CC BY-SA 3.0), 70 (CC0), 71b (Movzx/CC0), 72b (Tolopito/CC0), 73a (Julien Bobroff, Frederic Bouquet/CC BY-SA 3.0), 79b (Kemenymate/CC BY-SA 4.0), 81a (Jimbob82/CC0), 84 (Kristoferb/CC BY-SA 3.0), 86c-d (CC0), 95b (Dickbauch/CC0), 97a (Afrank99/CC BY-SA 2.0), 97b (Hautala/CC0), 97c (SomnusDe/CC0), 102a (Nevit Dilmen/CC BY-SA 3.0), 103b (Mike1024/CC0), 110b (Peter nussbaumer/CC BY-SA 3.0), 115a (CC0), 123a (lexander Seetenky/CC BY-SA 3.0), 123b (CZmarlin/CC0), 123c (Kokuzin/CC0), 124b (Le Grand Portage/CC BY 2.0), 126 (Zerind/CC0), 129a (ifj. Zátonyi Sándor/CC BY-SA 3.0), 129b (Stefan Riepl/CC0), 129c-d (ifj. Zátonyi Sándor/CC BY-SA 3.0), 131 (LittleJoe/CC BY-SA 3.0), 132a (CC0), 132b (Zolika76/CC0), 134a (U.S. Marine Corps/CC0), 135 (Etan Tal/CC BY 3.0), 139a (Adrian Pingstone/CC0), 142b (Atlantica/CC BY-SA 3.0), 143, 153 (Motolaura/CC0), 160c (Wilhelm Röntgen/CC0), 162a (High Contrast/CC BY 3.0 DE), 162b (Clipper/CC BY-SA 3.0), 166a (4028mdk09/CC BY-SA 3.0), 167b (kallerna/CC BY-SA 3.0), 169 (Diliff/CC BY-SA 3.0), 170 (Jojhnjoy/CC0), 171 (Justin Smith/CC BY-SA 2.5), 178b (Jitka Erbenová/CC BY-SA 3.0), 179 (No-w-az/CC BY-SA 4.0), 185b (Laura Batalla/CC BY-SA 3.0), 187a (Michal Reiter/CC BY-SA 3.0), 187b (Xaviateur/CC BY-SA 3.0), 192 (Suidroot/CC BY-SA 3.0), 197a (Jeff Kubina/CC BY-SA 2.09, 197b (Anton/CC BY 2.0), 200b (Solomon203/CC BY-SA 3.0), 200d (Sbittante/CC BY-SA 4.0), 210 (Junkyardsparkle/CC0), 214a (Saintfevrier/CC0), 216c (CC0), 217 (Andrzej Mirecki/CC BY-SA 3.0), 222 (Carlo Barraco), 224c (David Monniaux/CC BY-SA 3.0), 226a (Mike Gonzalez/CC BY-SA 3.0), 226b (Eclipse.sx/CC BY-SA 3.0), 227a (Obra19/CC BY-SA 3.0), 227b (Raiden32/CC BY-SA 4.0), 227c (Ardfern/CC BY-SA 3.0), 227d (Educerva/CC BY-SA 3.0), 231a (Henri Becquerel/CC0), 236a (CC0), 236b (Brudersohn/CC BY-SA 3.0), 244 (Manfred Werner/CC BY-SA 3.0), 246a (Lsmpascal/CC BY-SA 3.0), 260 (CC0), 262a-b (Lsmpascal/CC BY-SA 3.0), 263a (Derzsi Elekes Andor/CC BY-SA 3.0), 263b (Dave Jarvis/CC BY-SA 3.0), 268a (H. Raab/CC BY-SA 3.0), 270b (Alessandro Cai/CC0), 272 (Thomas Bresson/CC BY 3.0), 285 (The Virgo collaboration/CC0), 288 (MsSaraKelly/CC BY 2.0), 297a (D Mitriy/CC BY-SA 3.0), 299b (H. Raab/CC BY-SA 3.0), 304c (Manoj.dayyala/CC BY-SA 3.0), 314 (Mkfairdpm/CC BY-SA 3.0), 324a (H.Seldon/CC0), 325a (Kalan/CC BY 3.0), 326a (Luc Viatour/CC BY-SA 3.0), 326c (Steevie/CC BY-SA 3.0), 329b (Ralf Vandebergh/CC BY-SA 3.0), 334c (Stehfun/CC BY 3.0) 335 (Virgin Galactic/Mark Greenberg/CC BY-SA 3.0)

Grafikák (a szám az oldalszámot, a betű az oldalon belüli rajzsorrendet jelöli):

**Mészáros Ákos, Varga Zsófia,** kivéve - **David Darling:** 189c, **Hegedűs-Egeresi Ilona Lilla:** 16, 18, 40b-c, 49d-e, 58b, 59-60, 69, 72, 87, 91b, 92a, 105b, 106, 149c, 219b-c, **HyperPhysics:** 114b, **NASA:** 157, 284a, **One-minute Astronomer:** 284b, **Shutterstock:** 37, 45b, 58a, 63a, 75, 77, 110, 138, 172, 198, 213b, 231, 278, **twistedphysics:** 168a, 168c, **Wikimedia:** 95 (Fastfission/CC0), 103 (Mirek2/CC BY-SA 2.5), 128 (Ime Prezime/CC0), 237 (Jens Maus/CC0), 250a (Fastfission/CC0), 281b (LucasVB/CC0), 281c (Georg Wiora/CC BY-SA 3.0), 282 (TxAlien/CC BY-SA 3.0), 283 (Vlad2i/CC BY-SA 3.0), 322 (Orion 8/ CC BY-SA 3.0)