



OKTATÁSI
HIVATAL

NAT
2020

9–10
I. kötet

Fizika

tankönyv

FIZIKA 9–10.

I. kötet

A kiadvány 2020. 06. 12-től 2025. 08. 31-ig tankönyvi engedélyt kapott a TKV/3198-7/2020. 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 tankönyvvé nyilvánítási eljárásban közreműködő szakértők: KONDOROSI TAMÁSNE

Tananyagfejlesztők: DR. EGRI SÁNDOR, HORÁNYI GÁBOR, SIMON PÉTER

Kerettantervi szakértő: DR. ÁDÁM PÉTER

Lektor: VARGA BALÁZS

Korrektor: MANDLER JUDIT

Fedélterv: NAGY ÁRON, BÁNÁTI JÁNOS

Látvány- és tipográfiai terv: OROSZ ADÉL, SEPLER BÉLA

Illusztrációk: MÉSZÁROS ÁKOS, VARGA ZSÓFIA, SIMÓ ESZTER

Fotók: Shutterstock, Cultiris, Dremstime, Pixabay, Wikipedia, OH archív és a projekt keretében készült fotók

Fedéllillusztáció: Nagy Áron

Szerkesztették az Oktatási Hivatal Tankönyvfejlesztési Osztályának munkatársai.

A tankönyv szerkesztői ezúton is köszönetet mondanak azoknak az íróknak, költőknek, képzőművészeknek, akiknek alkotásai tankönyveinket gazdagítják.

© Oktatási Hivatal, 2021

ISBN 978-615-6178-26-8

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

A kiadásért felel: Brassói Sándor mb. elnök
Raktári szám: OH-FIZ910TA/I
Tankönyvkiadási osztályvezető: Horváth Zoltán Ákos
Műszaki szerkesztő: Orosz Adél
Grafikai szerkesztő: Nagy Áron
Nyomdai előkészítés: Gados László
Terjedelem: 29,61 (A/5) ív, tömeg: 632,53 gramm
1. kiadás, 2021

A könyvben felhasználtuk a Fizika 9. című művet. Raktári szám: FI-505040901/1.
Tananyagfejlesztők: dr. Ádám Péter, dr. Egri Sándor, Elblinger Ferenc, Horányi Gábor, Simon Péter
A könyvben felhasználtuk a Fizika tankönyv 10. osztályosoknak című művet. Raktári szám: FI-505041001/1.
Tananyagfejlesztők: dr. Ádám Péter, dr. Egri Sándor, Elblinger Ferenc, Horányi Gábor, Simon Péter

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

TARTALOM

ELŐSZÓ	5
TÁJÉKOZÓDÁS ÉGEN-FÖLDÖN	7
A tér és az idő tartományai	8
A távolságok és az idő mérése	12
Helymeghatározás	17
I. EGYSZERŰ MOZGÁSOK	23
1. Mozgó járművek	24
2. Gyorsuló járművek	28
3. Közlekedjünk biztonságosan	32
4. Eső testek	36
II. A KÖZLEKEDÉS ÉS A SPORTOLÁS FIZIKÁJA	40
5. Gyorsítsuk az autót!	42
6. Az erők világa	48
7. Az erők játéka	55
8. Tömegvonzás	62
9. Készítsünk rakétát!	65
10. Folyadékok tulajdonságai	69
11. Testek a vízben	74
12. Légnyomás, légellenállás, repülés	80
III. ENERGIA	86
13. Munka	88
14. Energiafajták	92
15. Energiaátalakulások	96
16. A belső energia	101
17. A táplálkozás és az energia	105
18. Legfontosabb energiaforrásaink	112
19. A napenergia felhasználása	119
20. Atomenergia	127
21. Energiagondok	135
IV. ISMÉTLŐDŐ MOZGÁSOK	140
22. Vigyázz, kanyar!	142
23. Műholdak (kiegészítő anyag)	147
24. Rezgés, lengés	152
25. Rezonanciakatasztrófák	158
26. La Ola	164
27. Földrengések (kiegészítő anyag)	168

V. A MELEGÍTÉS ÉS A HŰTÉS KÖVETKEZMÉNYEI	174
28. Termikus kölcsönhatás, hőtágulás, hőmérsékletmérés	176
29. A hó mint az energia egy formája, a hőtan első főtétele	181
30. Halmazállapotok és halmazállapot-változások	186
31. A folyamatok iránya	194
VI. VÍZ ÉS LEVEGŐ A KÖRNYEZETÜNKBEN	198
32. Csapadékok	200
33. A hó terjedése	206
34. Globális felmelegedés	214
35. Korszerű házak, lakások	217
NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ	227
KÉPEK JEGYZÉKE	230
PROJEKTFELADATOK	231

ELŐSZÓ

Fantasztikus világban élünk. Hihetetlen technikai eszközök segítik életünket, egymás után jelennek meg újabb és újabb ötletes fejlesztések mindennapjainkban. Hatalmas mennyiségű információ áramlik felénk a médiából és érhető el mindenki számára az interneten. A fejlődés mögött a tudományok eredményei, fizikusok, kémikusok, biológusok, mérnökök, informatikusok és más szakemberek munkája áll. De vajon megértheti-e ezt a tudást mindenki, eligazodhatunk-e az információk között, hozzájárulhat-e ez a tudás ahhoz, hogy boldogabban éljünk?

Bár eszközeink működése, a körülöttünk lévő jelenségek, az ismert környezeti, energetikai és más problémák többnyire rendkívül összetettek, ennek a tankönyvnek a szerzői hisznek abban, hogy a feltett kérdésre a válasz igen, és ehhez a fizika tanulása alapvetően járulhat hozzá. Hisszük azt is, hogy ehhez nem kellene különleges képességek, és a megértéshez alapfokú matematikai jártasság is elegendő. Ezért döntöttünk úgy, hogy nem a fizika tantárgy hagyományos fejezeteit követve mutatjuk be a minket körülvevő színes és izgalmas világot, hanem a gyakorlat, az alkalmazás lesz az a rendező elv, amely mentén a tananyagot csoportosítjuk. Így a tankönyvünkben lévő ismeretek könnyen és eredményesen használhatóak a mindennapi életben, otthon, a munkában, szórakozás közben, vagy ha döntéseket kell hoznunk, például egy környezetünket érintő népszavazáskor. Emellett ne feledjük, hogy a fizika egy sajátos, az élet minden területén jól használható gondolkodásmódra is nevel minket. Megtanít tapasztalataink értelmezésére, és az értelmezés révén a jövőbeli lehetőségek felmérésére, biztonságos jóslatok készítésére. A jövőt nem láthatjuk, ahogy nem tudhatjuk azt sem, hogy akár csak 10-20 év múlva pontosan milyen világ fog körülvenni minket. De abban biztosak lehetünk, hogy ha nem ijedünk meg a jelenségek összetettségétől, ha tudunk rendszerben gondolkodni, ha tudjuk használni a rendelkezésünkre álló eszközöket, nemcsak eligazodni és boldogulni fogunk ebben a jövőbeli világban, hanem majd alakítani is tudjuk azt. Ebben próbálunk segítséget nyújtani könyvünkkel, melynek elkészítése során a jelenségek, technikai alkalmazások sokoldalú bemutatására törekedtünk, bízva abban, hogy mindenki talál könyvünkben olyan megközelítést, amely felkelti érdeklődését, és a fizikával, az adott témával való foglalkozásra serkenti.

Ahogy a dolgok sokfélék, úgy a dolgok leírásában is a sokféleségre törekedtünk. A megértést segítik tankönyvünk állandó keretei.

A fejezetek elején rövid bevezető olvasható, ami vagy összefoglalja azokat a korábban megismert információkat, melyekre a fejezet épít, vagy valamilyen, a témával kapcsolatos információt, meglepő tény, esetleg véleményt közöl.

A folyamatos szöveget aktivitásra buzdító felszólítások tagolják.

KÍSÉRLETEZZ! **MÉRD MEG!** *Gondold meg!* **FIGYELD MEG!**

Ezek célja, 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, a tévképzetek, a félreértések elkerülésében segít a **NE HIBÁZZ!** rész.

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

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

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

Az **EMLÉKEZTETŐ** keretben található a lecke anyagának megértéséhez szükséges előismeretek.

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

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

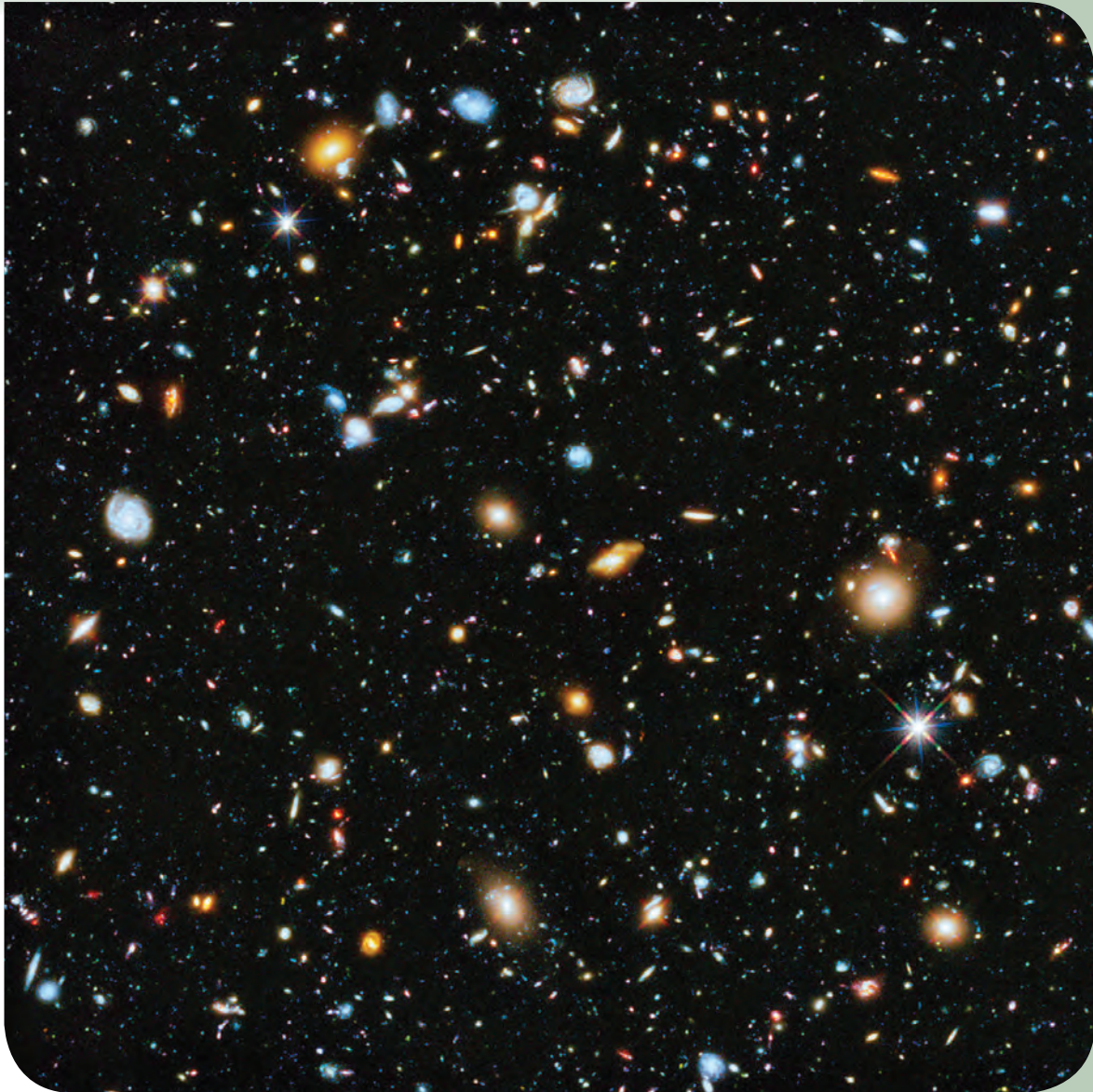
A leckék végén található **ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK**

nagyobb kihívás elé állítják a diákokat, ezek olyan tanulóknak készültek, akik szeretnek fizikával kapcsolatos problémákon gondolkodni. Mérnöki, orvosi és természettudományi irányú felsőfokú tanulmányokra készülőknél 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

TÁJÉKOZÓDÁS ÉGEN-FÖLDÖN



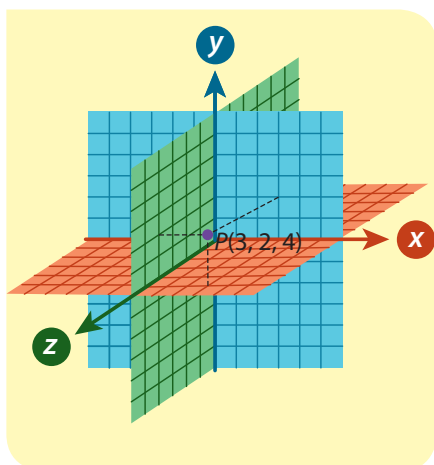
Csillagok vagy galaxisok

láthatók ezen a képen?

Nem is kell sokáig néznünk a felvételt ahhoz, hogy kitaláljuk a választ. Ilyen képeket (is) készített a Hubble-űrtávcső már több mint tíz évvel ezelőtt.

A tér és az idő tartományai

Alapvető tapasztalatunk a térről és az időről, hogy a kicsik felé haladva nem ütközünk korlátba: nincsen olyan kicsi, melynél ne tudnánk kisebbet elképzelni; ugyanígy a nagyok felé haladva is ezt érezzük: nincsen olyan nagy, melynél nem lehetne nagyobbát kigondolni. Mai tudásunk alapján azonban a kép árnyaltabb, fizikai értelemben beszélhetünk a legkisebbről és a legnagyobbbról egyaránt.



■ Térbeli, háromdimenziós, Descartes-féle derékszögű koordináta-rendszer

Amikor térben és időben el akarjuk helyezni magunkat, mindig viszonyítunk valamihez. Ez lehet a térben akár az íróasztalunk sarka, a ház, amelyben lakunk, vagy például a Föld mint égitest. Az időbeli viszonyítás alapja lehet egy tetszés szerinti esemény, egy tanóra kezdete, a születésnapunk vagy a keresztény hagyomány alapján Krisztus születése.

Térben és időben élünk

Mindazt, ami a világban történik, nevezhetjük például „eseménynek”, ami a tér és idő egy adott pontjában helyezkedik el. **Ezt a pontot négy jellemző adat írja le. Van helye a háromdimenziós térben**, amit például a Descartes-féle derékszögű koordináta-rendszerrel adhatunk meg, melynek origója a térbeli viszonyítási pontunk, **és van ideje**, melyet egy önkényesen választott nulla időponthoz képest tudunk megadni. Az események három térkoordinátáját $(x; y; z)$ -vel, az időkoordinátát t -vel szoktuk jelölni.

Távlatok az időben

Jelenlegi ismereteink alapján a világegyetem nagyjából 13,8 milliárd évvel ezelőtt jött létre (az elmúlt két-három évtizedben az univerzum korát minden számítás 10 és 20 milliárd év közöttire tette, az utóbbi években a 13,8 milliárd éves kor vált a legelfogadottabbá). A Föld 4,5 milliárd éves. Ha a Föld történetét az eltelt idővel arányos hosszúságú 4500 oldalas könyvnek képzeljük, akkor a könyvnek a modern ember megjelenéséről szóló része mindössze az utolsó sora, és az emberiség írott történelme mindössze egyetlen szó lenne.

Mikor jött létre, meddig tart?

Hétköznapi tapasztalataink alapján szinte lehetetlen elképzelni, hogy a világ véges idővel ezelőtt jött létre. Hiszen feltehetjük magunknak a kérdést: mi

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: A zsidó naptár szerint a legutóbbi londoni olimpia 5772-ben volt. Mikor volt a nándorfehérvári diadal a zsidó naptár szerint? (A zsidó újév általában szeptemberre, néha október elejére esik.)

Az iszlám naptár kezdőnapja Kr. u. 622. július 16. Az iszlám év 12 holdhónapból, átlagosan 354,36 napból áll (az évek 354 vagy 355 naposak). Az iszlám naptár hányadik évében volt a legutóbbi londoni olimpia, melyet a ma használatos Gergely-naptár szerint 2012. július 27. és augusztus 12. között rendeztek meg?

Megoldás: A legutóbbi londoni olimpia 2012-ben volt, ami azt jelenti, hogy a zsidó naptár $(5772 - 2012 =)$ 3760 évvel előbbre jár (a zsidó újévtől december 31-ig pedig 3761 évvel jár az általánosan használatos Gergely-naptár

előtt). Hunyadi János vezetésével 1456. július 22-én sikerült a magyar seregnek legyőzni a nagy túlerőben lévő törököket Nándorfehérvár, a mai Belgrád falainál. Ekkor a zsidó naptárban 5216-ot írtak.

A Gergely-naptárban egy év átlagosan 365,24 napból áll. Ennek felhasználásával kiszámíthatjuk, hogy a londoni olimpia kezdőnapja előtt hány nappal kezdődött az iszlám naptár. $(2012 - 622) \cdot 365,24 + 11 = 507\,695$ nappal ezelőtt (amibe beleszámítottuk a július 16. és július 27. közötti 11 napot is). Ha ezt elosztjuk az iszlám naptár átlagos évi napjainak számával, akkor $507\,695 : 354,36 = 1432,7$ évet kapunk.

De mivel minden naptár első éve nem a nulla, hanem az 1, ezért a legutóbbi londoni olimpia az iszlám naptár 1433. évében volt.

volt azelőtt? De a végtelen idő fogalmát sem tudjuk felfogni. Ugyanígy nehéz elképzelnünk azt, hogy az idő egyszer véget érhet, a világegyetem nem örökké létezik. Hiszen saját létünk végességének elfogadása is rendkívül nehéz. Jelenlegi tudásunk szerint a tér és az idő nem létezhet önmagában, az anyagtól függetlenül. Segíthet megbarátkozni ezzel a gondolattal, ha úgy képzeljük el az időt, mint a világmindenség részét. Augustinus (354–430) tanítása szerint Isten a világmindenséget nem az időben, hanem az idővel együtt hozta létre. (A fizika és a csillagászat tudománya jelenleg még nem képes eldönteni, hogy a világegyetem örökké létezni fog vagy véges idejű.)

Hogyan következtethetünk a dolgok korára?

A tudomány számos olyan eljárást ismer, melyek segítségével múltbeli események időpontjára, régi tárgyak korára következtethetünk. Ilyen lehet egy fa évgyűrűinek száma, a radioaktívan bomló elemek mennyisége egy anyagban, melyből – egyéb ismereteket is felhasználva – a bomlási folyamat kezdetének időpontjára következtethetünk, vagy a kihűlő magmába fagyott mágnesség, mely a magma kiáramlásának időpontjára utal. A geológusok a kőzetekben rejlő ősmaradványok rendszerezésével kronológiai táblázatokat készítettek. A galaxisok távolságára fényük utal, és mivel a fény terjedéséhez idő kell, mi már csak múltbeli állapotukat látjuk. Ennek segítségével következtethetünk a világegyetem születésének körülményeire.

Világunk a kicsik és a nagyok között

A következő oldalon lévő táblázatban áttekintjük a legkisebb és legnagyobb ismert távolságokat néhány konkrét példa segítségével, természetesen közelítő értékeket használva.



■ Augustinus vagy Szent Ágoston



■ Egy 357 éves amerikai sárgafenyő évgyűrűi 5 nagy tűzvész nyomával

Gondold meg!

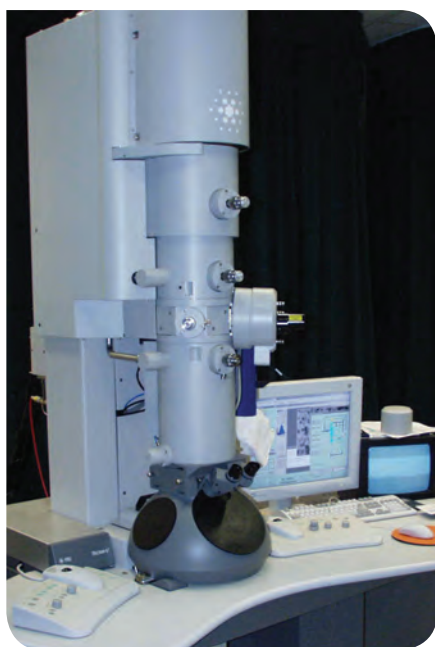
Ami legtávolabb van tőlünk

A Földtől egyre távolabbi objektumokat fedezünk fel az egyre erősebb és a láthatót a vörösön és az ibolyán egyaránt túllépő színtartományban észlelésre képes távcsöveinkkel. 2017 végén a legtávolabbi kisméretűnek (pontszerűnek) látszó objektum a Földtől az SPT0615–JD jelű galaxis, mely 13,3 milliárd fényévre, azaz közel 126 000 000 000 000 000 000 méterre ($13,3 \cdot 1\,000\,000\,000 \cdot 365 \cdot 86\,400 \cdot 300\,000\,000$) van tőlünk. Mikor ezt a könyvet olvassátok, ez a határ már biztosan kitolódott. A látható fényvel rokon természetű mikrohullámú elektromágneses sugárzás tartományában észlelt sugárzás 13,7 milliárd évvel ezelőtt indult útjára.

Abban a korszakban még nem kezdődött meg a világegyetem anyagának helyenkénti besűrűsödése, amelyből az első galaxisok kialakultak, ezért abból a távolságból nem remélhetjük pontos források felfedezését, akármilyen erős távcsöveket sikerüljön is kifejleszteni a jövőben. Úgy is fogalmazhatunk, hogy az elektromágneses hatásokon alapuló eszközeinkkel észlelhetően számunkra a mikrohullámú háttérsugárzás keletkezésének tartományánál van a világegyetem határa. Jelenleg már működnek a gravitációs hullámoknak nevezett, Einstein által megjósolt és 2015-ben kísérletileg is kimutatott jelenségre alapozott eszközök is, amelyek ezt a tartományt még távolabbra tolják majd ki.

Egy proton (az atommagot felépítő egyik részecske) mérete	0,000 000 000 000 001 méter
Egy közepes atommag mérete	0,000 000 000 000 01 méter
A legrövidebb röntgensugarak hullámhossza	0,000 000 000 005 méter
Egy hidrogénatom sugara	0,000 000 000 05 méter
A csavar alakú DNS-molekula átmérője	0,000 000 002 méter
Egy HIV-vírus mérete	0,000 000 09 méter
Egy emberi vörösvérsejt átmérője	0,000 007 méter
A ködben és felhőben lévő vízcseppek jellegzetes mérete	0,000 01 méter
Egy óriás amőba hossza	0,000 5 méter
Egy átlagos vöröshangya hossza	0,005 méter
Egy golfabda átmérője	0,043 méter
Egy liliputi mérete Gulliver utazásaiban	0,15 méter
Egy átlagos méretű ember magassága	1,7 méter
Egy tízemeletes panelház magassága	32 méter
A Gellért-hegy tengerszint feletti magassága	235 méter
A Magas-Tátra legmagasabb pontja, a Gerlachfalvi-csúcs tengerszint feletti magassága	2655 méter
A Budapest–Hatvan vasútvonal hossza	67 000 méter
A Duna magyarországi szakaszának hossza	417 000 méter
A kínai nagy fal hossza	6 400 000 méter
A Föld Egyenlítőjének hossza	40 075 000 méter
A Hold távolsága a Földtől	384 000 000 méter
A Nap átmérője	1 390 000 000 méter
A Nap és a Föld átlagos távolsága	150 000 000 000 méter
A fény által légüres térben egy nap alatt megtett távolság	25 900 000 000 000 méter
A Proxima Centauri nevű (a Nap után a hozzánk legközelebbi) csillag távolsága	39 900 000 000 000 000 méter
Galaxisunk, a Tejútrendszer átmérője	946 000 000 000 000 000 000 méter
Az Androméda-köd nevű (hosszánk legközelebbi) galaxis távolsága	22 300 000 000 000 000 000 000 méter
A jelenleg ismert, Földtől legtávolabb eső galaxis	126 000 000 000 000 000 000 000 000 méter

Az SI-rendszerben sok tizedesjeggyel vagy hosszú számsorral kifejezhető méretek kényelmesebb kezelése adja meg speciális (nem SI) mértékegységek (pl. az atomfizikában az angström vagy a csillagászatban a fényév) bevezetésének értelmét.



■ Transzmissziós elektronmikroszkóp

Mi a legkisebb?

A természettudomány alig több mint kétszáz éve találta az első (kémiai természetű) bizonyítékokat az emberi környezetben megtalálható, végtelen változatosságú anyag univerzális közös alkotórészeinek létezésére. A XIX. század végén és a XX. század elején megalkották azokat a kísérleti berendezéseket, amelyekkel ezeket – az alkotórészeknek (az atommagoknak és az elektronoknak) a természetét elkülönítve – sikerült vizsgálni. Az elmúlt száz évben megújuló erőfeszítésekkel keresték ezek további alkotórészekre bontásának a lehetőségét. Amikor ezt a könyvet olvassátok, a részecskefizikai kutatások központi kérdése az, hogy a 2012-ben megtalált Higgs-részecskének van-e belső szerkezete. Ezek a kutatások olyan részecske esetleges létezését igyekeznek felderíteni, amelynek mérete a 0,000 000 000 000 000 001 m tartományba esne. A modern fizika a kvantummechanika és a gravitáció együttes elméletére hivatkozva az elvileg értelmezhető legkisebb távolságot az úgynevezett Planck-hosszban határozta meg. Ennek értéke 0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 16 m. A szám azt is jelenti, hogy a Planck-hossznál nem mérhető meg semmi pontosabban. Az előző két szám nagyságrendjét összehasonlítva láthatjátok, hogy még óriási a bejáratlan tartomány a legkisebb méretek világában is.

Hogyan észleljük a kicsi dolgokat?

A szem felbontóképessége a tisztánlátás távolságában, vagyis kb. 25 cm-nél körülbelül 0,08 mm. 1 méter távolságból már csak két 0,3 mm-re levő pontot tud egymástól a szemünk megkülönböztetni. 10 méterről pedig 3 mm-re nő ez az érték. A szem felbontóképességét különböző eszközökkel növelhetjük. Az egyszerű nagyítón, a fénymikroszkópon, a különböző elektronmikroszkópokon, a kvantummechanika eredményeit felhasználó alagútmikroszkópon keresztül vezet az út azokhoz a képfelbontó eljárásokhoz, melyeket a legkisebb részletek megfigyelésére alkalmazhatunk. Az anyagszerkezet vizsgálatával foglalkozó laboratóriumokban ma használt legfejlettebb technikával egy atomot is láthatóvá tehetünk. Ugyanezen elv alapján tették láthatóvá az óriásgyorsítóknál végzett egyedi kísérletekkel a protont és a neutronot alkotó kvarkokat. Ma már olyan rajzfilmet is készítettek, melyen a képeket különálló atomok rajzolják ki.



■ Az „atomi” rajzfilm címe: Egy fiú és az atomja (A boy and his atom).

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mikor született a legrégebben született ismert ősed?
2. Milyen korú a család birtokában lévő legrégebbi tárgy?
3. Készíts rövid összefoglalót Descartes legfontosabb tudományos eredményeiről!
4. Hányszorosra a Nap és a Föld átlagos távolsága a Nap átmérőjének?
5. Mit jelent a fényév? Fejezd ki SI mértékegységekkel! Illeszd be a 10. oldalon található táblázatba! Használd az internetet!
6. Hány méter távolságból tudunk két, egymástól 1,5 cm-re lévő pontot megkülönböztetni? A szükséges információkat megtalálod a tankönyvben.
7. A nagyon nagy és a nagyon kicsi mennyiségek leírására sok „0”-t kellene használnunk. Ehelyett a mértékegységek elé sokszor úgynevezett prefixumokat teszünk. Keresd meg a prefixumokat a függvénytáblázatban!

NE FELEDD!

Fizikai értelemben létezik legkisebb és legnagyobb méret és időtartam. Ez azt jelenti, hogy ennél kisebb, illetve nagyobb méreteknek és időtartamoknak nem tudunk értelmes jelentést adni.

A körülöttünk zajló események helyének és idejének meghatározását három térbeli adat (három térkoordináta) és egy időkoordináta megadásával végezhetjük.

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hányszor nagyobb az ember által észlelt legnagyobb távolság a legkisebb távolságnál?
2. Cseréld ki minél több adatot a méreteket bemutató táblázatunkban hasonló nagyságrendű más adatokra!
3. Készíts az idő nagyságrendjeire a térbeli távolságokhoz hasonló táblázatot! Használd az internetes keresőprogramokat!
4. A téridő mely pontjában születél? Válaszolj a kérdésre a lehető legpontosabban! Kérdezd meg szüleidet!
5. Mit jelent ez a mondat: A világegyetem nem az időben, hanem az idővel együtt jött létre. Mennyiben mond elent ez az állítás a világról kialakult képünknek?
6. Szobád sarkát egy Descartes-féle koordináta-rendszer origójának tekintve add meg a mennyezetten függő csillár hozzávetőleges koordinátáit!
7. Mekkora a legnagyobb és a legkisebb Nap–Föld-, illetve Hold–Föld-távolság?
8. Becsüld meg a Hold átmérőjét annak ismeretében, hogy napfogyatkozásakor a Hold nagyjából teljesen lefedti a napkorongot! A szükséges adatokat a tankönyv táblázatában megtalálod!
9. Hogyan lehet a fából készült tárgyak korát az évgyűrűk vizsgálatával meghatározni? Nézz utána az interneten! Jellegzetesen milyen korú tárgyakra alkalmazzák ezt az eljárást?
10. Milyen kormeghatározási eljárások lehetségesek a tankönyvben felsoroltakon kívül? Tájékozódj az interneten!
11. Honnan lehet tudni, hogy a Föld 4,5 milliárd éves? Hogyan döntenéd el, hogy a Hold a Földből kiszakadt anyagdarab vagy a Föld vonzereje által befogott kisbolygó?

A távolságok és az idő mérése

A Föld felfedezése és meghódítása minden nagy birodalom célja volt. Ellenőrizni a kereskedelmet, eredményesen csatát vívni az ellenséggel csak az tudott, aki sikeresen tájékozódott a szárazföldön és a tengereken, pontos térképekkel, megbízható időmérő eszközökkel rendelkezett. A távolság és az idő mind pontosabb mérésére irányuló tudományos kutatás mára birodalmi érdekből a világ teljesebb megismerésére törekvő emberiség egyetemes érdekévé vált.



■ Homokóra

A távolságot méterben (milliméter, centiméter, deciméter, kilométer stb.), az időt másodpercben (perc, óra, nap, év stb.), mérjük. A mérés valamilyen általunk választott egységgel való összehasonlítást jelent. Az idő múlását legközvetlenebbül a periodikus csillagászati ciklusok jelzik. A Föld egy nap alatt fordul meg a tengelye körül, a Hold közel egy hónap alatt kerüli meg a Földet, és a Föld Nap körüli útja egy évig tart. Persze ezek a csillagászati periódusok korántsem pontosan ennyire szabályosak, ezzel számos megoldandó feladatot adva a naptárkészítőknek.

A napóra

A napóra a legősibb időmérő eszköz, melynek működése azon alapul, hogy a Nap árnyékának iránya (és nagysága) függ a Nap helyzetétől az égbolton. Az egy nap időt, amely a Nap két delelése között telt el, az árnyék megfigyelése révén osztották kisebb részekre.

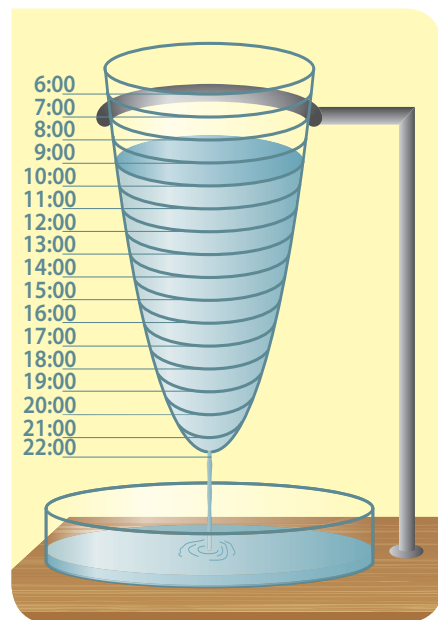
A mechanikus órák megjelenéséig a napóra volt a legfontosabb időmérő eszköz. A napóra készítése még a XVIII. századi Európában is megbecsült tudomány volt.



■ Napóra

Egy ősi időmérő szerkezet borús napokra: a klepszidra

Az ábra egy ősi időmérő eszköz, a klepszidra működését mutatja. Az edényből kifolyó víz szintje mutatja az idő múlását. Az edény olyan alakú, hogy benne egyenletesen csökken a vízszint magassága.



■ Klepszidra

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen hosszú időszakot tud mérni a klepszidra egy feltöltéssel?
2. Miből lehet következtetni arra, hogy a kifolyás nem egyenletes?
3. Hogyan változik az idő múlásával a kifolyás sebessége?
4. Mi lehet a változás magyarázata?
5. Hogyan oldották meg az eszköz készítői, hogy a vízszint magassága egyenletesen csökkenjen az edényben?
6. A klepszidra mai „testvére” lehet a homokóra. Miben hasonlít és miben különbözik a képen látható homokóra működése a bemutatott vízórától?

Az idő etalonja

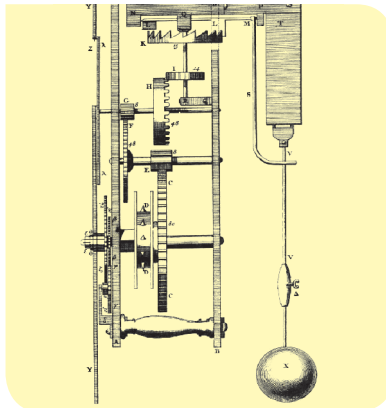
Az idő alapegysége a másodperc. A másodpercet a némileg eltérő hosszúságú napok (egy nap a Nap két egymást követő delelése között eltelt idő) átlagos hosszának 86 400-ad részeként értelmezték. 1967-ben **új meghatározás született** azért, hogy a másodperc pontos értékét bárhol a Földön (egy megfelelő laboratóriumban) rekonstruálni lehessen. A másodpercet a cézium nevű elem 133-as tömegszámú izotópjához kötötték úgy, hogy az elem egy gerjesztett atomja által kibocsátott elektromágneses hullám rezgési periódusának 9 192 631 770-szeresét tekintették egy másodperccnek. Ezt a definíciót akkor kell majd megújítani, ha a jelenlegi 10 jegynél pontosabban lesznek képesek mérni valamilyen periodikus folyamat periódusidejét (frekvenciáját). Az időt ma legpontosabban atomórával mérik, amelyből 2011-ben a legpontosabb 138 millió év alatt siethet vagy késhet egy másodpercet. Mivel a Föld tengely körüli forgása lassul, az atomórák már sokkal pontosabbak, mint a Föld mozgásán alapuló időmérés.

Hogyan volt régen?

Christiaan Huygens holland tudós (matematikus, fizikus és csillagász) 1656-ban bejegyzett szabadalma, az ingaóra forradalmasította az időmérést. Huygens egész élete során folytatta az órák tökéletesítését, különösen fontosnak tartotta a tengerészek számára használatos órák kifejlesztését, melyek elengedhetetlenek voltak a tengeri navigációhoz. Nem véletlen, hogy az órák fejlesztésében egy másik tengeri nagyhatalom zseniális fizikusa, az angol Robert Hooke volt a versenytárs, akivel nagyjából egy időben, de egymástól függetlenül alkották meg a hajszálrugós órát. Az elsőbbség kérdése 2006-ban dőlt el Hooke javára, amikor egy hampshire-i konyhaszekrényből előkerültek Hooke elveszettnek hitt jegyzeteinek másolatai, melyeket a Royal Society (angol tudományos társaság) ülésére készített, és ez igazolta elsőbbségét. Huygens 1673-ban jelentette meg az órákról szóló legfontosabb könyvét „*Horologium Oscillatorium sive de motu pendulorum*” címmel.



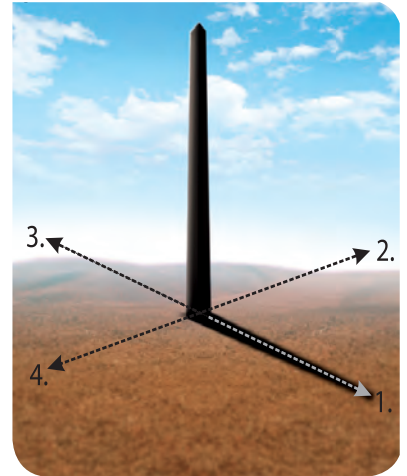
■ A fiatal Christiaan Huygens (1629–1695) és találmánya, az ingaóra



■ Robert Hooke (1635–1703)

társa, akivel nagyjából egy időben, de egymástól függetlenül alkották meg a hajszálrugós órát. Az elsőbbség kérdése 2006-ban dőlt el Hooke javára, amikor egy hampshire-i konyhaszekrényből előkerültek Hooke elveszettnek hitt jegyzeteinek másolatai, melyeket a Royal Society (angol tudományos társaság) ülésére készített, és ez igazolta elsőbbségét. Huygens 1673-ban jelentette meg az órákról szóló legfontosabb könyvét „*Horologium Oscillatorium sive de motu pendulorum*” címmel.

Gondold meg!



A fényképen egy oszlopot és az árnyékát figyelhetjük meg. Tudjuk, hogy a kép délben készült az északi félgömbön. Válaszolj az alábbi kérdésekre!

1. Hozzávetőlegesen milyen irányból süt a Nap a képen?
2. A Föld északi félgömbjének melyik részén készülhetett a kép, ha azt is tudjuk, hogy március 21-én fényképezték?
3. Merre van a képészak?
4. Hogyan változik az árnyék hossza az idő múlásával?
5. Merre mozdul el az árnyék az idő múlásával?
6. Körülbelül hol fog lemenni a Nap a képen ábrázolt napon?

KÍSÉRLETEZZ!

Készíts egyméteres fonálingát, vagyis 1 m hosszú fonál végére rögzíts egy kisméretű testet (a fonál felfüggesztése és az ingatest közepe közötti távolság legyen minél pontosabban 1 m)!

Térítsd ki az ingát nem túl nagy, 5-10 fokos kitéréssel, és mérd meg a fél lengésidejét, azt az időt, amely alatt az ingatest az egyik szélső helyzetből a másikba jut! Ne egy lengést mérd, hanem legalább tízet! Hasonlítsd össze az így megmért fél lengésidőt az 1 másodperccel!



■ XIII. Gergely pápa (1502–1585)

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy teljes Nap körüli fordulathoz képest hány ezrelékkal végez kevesebbet a Föld azokban az években, amikor nincs szökőnap, és hány ezrelékkal végez többet szökőnapos években?

Körülbelül mennyi idő alatt toldna el a tavaszi napforduló június 22-re, ha nem alkalmaznák a szökőnapot?

Megoldás: A Föld 365,2422 nap alatt tesz meg egy fordulatot a Nap körül. Amikor nincs szökőév, akkor $365/365,2422 = 0,99934$ fordulatot tesz meg, ami 0,66 ezrelékkal kevesebb az egynél. Szökőévekben $366/365,2422 = 1,002$ fordulatot tesz meg, ami 2 ezrelékkal nagyobb az egy fordulatnál.

Március 21. és június 22. között nagyjából 90 nap van. Szökőnapok nélkül a naptár gyorsabban haladna, mégpedig négyévente egy nappal. Tehát nagyjából 360 év alatt toldna el a naptár egy év-szakkal.

NE FELEDD!

A csillagászati periódusokhoz kötött időmérés nehézségét az jelenti, hogy ezek a periódusok nem pontosan egymás egész számú többszörösei. A Föld forgásán és keringésén alapuló naptárunkba ezért kell szökőnapokat illeszteni.

A naptár és a szökőév

A jelenleg használt naptárat 1582-ben vezette be XIII. Gergely pápa. Neve Gergely-naptár. Magyarországon 1587 óta használjuk. Lényege, hogy figyelembe veszi a Föld 365 napnál nagyobb keringési idejét, ezért az évek sorába szökőnapokat illeszt be. A szökőnap mindig február 24-én van. Ha egy évben 366 nap van, akkor az szökőév. Mivel a Föld keringési ideje 5 óra 48 perc 46 másodperccel nagyobb, mint 365 nap, így minden negyedik év szökőév. Mivel a pontos keringési idő nem 6 órával (negyed nappal) haladja meg a 365 napot, hanem annál egy kicsit kevesebb idővel, ezért minden 100-zal osztható évben kima-rad a szökőnap. De sajnos a számítás így sem tökéletes, ezért minden 400-zal osztható évben mindig van egy szökőnap. Az így kapott eljárás 3000 évenként okoz egy nap eltérést. A fentiek értelmében a Föld keringési ideje a Nap körül 365,2422 nap.

A távolság mérése

A hosszúság egységét a fény sebessége rögzíti a magyar Bay Zoltán javaslata alapján, aki a második világháború után a fény sebességének a lehető legpontosabb megmérése érdekében fáradozott. Kiváló honfitársunk javaslatára 1965-től egy méter az a távolság, amelyet a fény légüres térben megtesz a másodperc 299 792 458-ad része alatt. Fény mindenütt van a világban, ezért ha a métert a fényhez kötjük, ugyanarra a távolságra gondolunk mindenütt.

Hogyan volt régen?

Az első távolságegységeket az emberi test arányaihoz viszonyítva határozták meg. Így születtek olyan egységek, mint ujj, könyök, láb, hüvelyk stb.

A mértékegységek területén a XIX. századig teljes káosz uralkodott. Nemcsak a különböző országokban, hanem egyes városokban is eltérő mértékegységeket használtak. Más-más mértékegységei voltak a különböző szakmák követőinek is.

Például a magyarországi szűrszabók hosszsmértékei a következők voltak: percentés, fúrás, tenyér, fertály, láb, sing.

1 percentés	=	1,945 cm
1 fúrás	= 2 percentés	= 3,89 cm
1 tenyér	= 2 fúrás	= 7,78 cm
1 fertály	= 2 tenyér	= 15,56 cm
1 láb	= 2 fertály	= 31,12 cm
1 sing	= 2 láb	= 62,24 cm

A mértékegységek nagyságát még a nevük sem tette egyértelművé, az azonos nevű egységek pontos értéke azon múlt, hogy mely szakma követői vagy mely nemzet fiai használták azt az egységet.



■ Jakob Köbel 1536-ban Frankfurtban megjelent könyvében egy metszeten az látható, ahogy a templomból kijövő 16 véletlenszerűen választott ember egymás mögé helyezte bal lábát, amellyel a távolságot lemérik. Ennek 16-od része volt a hivatalos „láb”.

A Hold „megtapogatása”

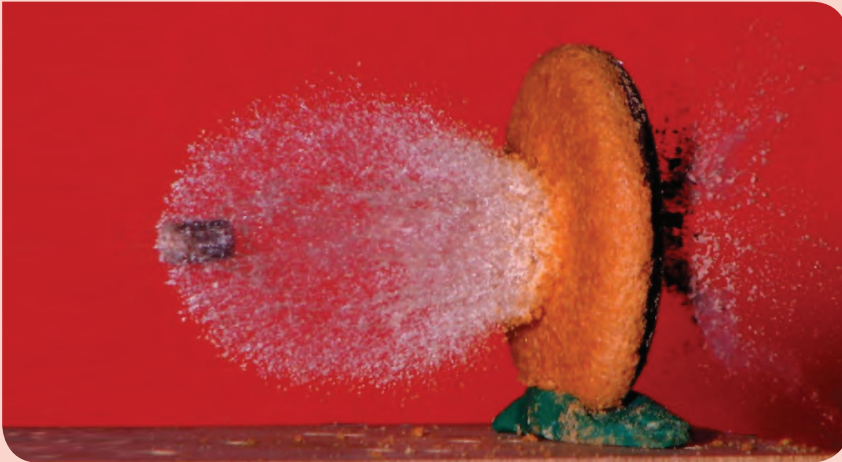
A radar a második világháborúban már fontos szerepet töltött be a léghárításban. Elsőként Bay Zoltán és tőle függetlenül egy amerikai kutatócsoport gondolt arra, hogy a radarhullámok nemcsak repülőkről, hanem égitestekről is visszaverődhetnek. A magyar kutatócsoport rendkívül ötletes eljárással, saját fejlesztésű radarrendszert használva mutatta ki a Holdról visszaverődő rádióhullámokat 1946-ban, néhány héttel az amerikaiakat követően.

A nagy sebességű kamera

Modern korunkban a rendkívül kicsi távolságok és idők mérésére egyaránt alkalmas kamerákat fejlesztettek ki, melyek nagyon rövid idő alatt nagyon sok felvételt tudnak készíteni. Így az anyagon létrejövő változás mértékét (távolság) és ütemét (idő) tanulmányozhatjuk. A ma (2015-ben) ismert legjobb kamerák 200 millió képkockát tudnak rögzíteni másodpercenként, de a fejlődés folyamatos, ez az eredmény még nagyságrendekkel meghaladható. Ezek az eszközök az anyagkutatás új lehetőségeit teremtik meg.

FIGYELD MEG!

A nagy sebességű kamerákkal történő gyorsfényképezés teszi lehetővé, hogy olyan fényképeket készíthessünk, mint amit az alábbi képek mutatnak. Ezeken lövedékek hatolnak át tárgyakon. Figyeld meg, hogy a kekszről, illetve a citromból a lövedék kimenőnyílásán át távozik anyag, a bemeneti nyíláson alig okoz sérülést. Mi lehet ennek az oka?



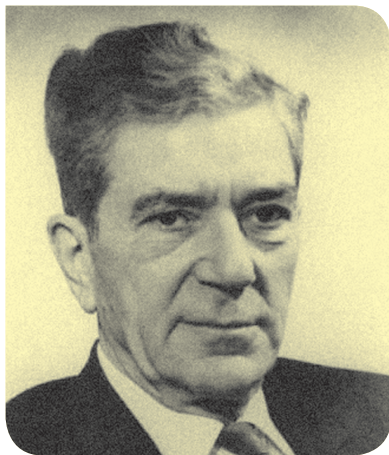
Hallottál róla?

A XVII. század végén (másokkal együtt) Ole Rømer (magyarosan Olaf Römer) dán csillagász (aki elsőként mérte meg a fénysebességet csillagászati eszközökkel, meglepően nagy pontossággal) tett javaslatot a távolságegység rögzítésére. Ő a távolságot az idővel kötötte össze, és azt javasolta, hogy a távolság egysége az a matematikai inga legyen (zsinóron függő nehezék), melynek fél lengése (az egyik szélső helyzettől a másikig) éppen egy másodpercig tart. Az ötlet megvalósíthatatlannak bizonyult, mert az inga lengésideje kismértékben függ a földrajzi helyzetétől.



■ Méterrúd

1791-ben Párizsban a méter egységet a Párizson átmenő hosszúsági kör negyvenmilliomod részeként definiálták. A földmérések elvégzése után elkészítették a mintamétereket, idegen szóval etalonokat. Az 1875-ös párizsi nemzetközi méteregyezmény keretében 30 darab 90%-ban platina, 10%-ban irídium anyagú, gondosan tervezett méterrudat készítettek, melyeket az egyezményben részt vevő országok kaptak meg. Az Egyesült Államok például a 27-es számút, Magyarország pedig a 14-es számút. Az első számút azóta is a francia Sèvres-ben őrzik egy külön erre a célra emelt épületben. Ezzel **a méter a hosszúság alapegysége** lett, melyet a világ országai elfogadtak.

Hallottál róla?

■ Bay Zoltán

Iskoláit a Debreceni Református Kollégiumban végezte, fizikát Berlinben tanult, kutatásait Szegeden folytatta, ahol megismerkedett Szent-Györgyi Alberttel. Később Budapesten az Egyesült Izzó laboratóriumában, majd a Műszaki Egyetem Atomfizika Tanszékén dolgozott. A háború alatt kifejlesztette az ellenséges gépeket érzékelő radart. Nevezetes Hold-radar kísérlete után két évvel, 1948-ban az USA-ba távozott, ahol együttműködött többek közt Neumann Jánossal is. Nevéhez fűződik a méter mai definíciója, mely a vákuumban terjedő fény sebességén alapul.

NE FELEDD!

Az idő és a távolság mérésének legpontosabb módja, ha olyan fizikai folyamatokhoz kötjük ezek alapegységeit, melyek minden helyzetben, minden körülmények között, minden időben azonos módon zajlanak. A távolság alapegységét, a métert a fény sebességén keresztül a másodperc definíciójához kötjük Bay Zoltán javaslatára, az idő alapegységét, a másodpercet a gerjesztett céziumatom atomi szintű elektromágneses sugárzásának rezgési periódusával kapcsoljuk össze.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Határozd meg, hogy hány „percentés” a hüvelykujjad!
2. Készíts részletes életrajzot Bay Zoltánról!
3. Miért nem alkalmas a pulzusunk megfigyelése időmérésre?
4. Hány lépés az osztályotok hossza és szélessége? Min múlik az eredmény?
5. Mikor élt Ole Rømer, aki az első nagyságrendileg pontos módszert dolgozta ki a fény sebességének meghatározására?
6. Keress az interneten további nagy sebességű kamerafelvételeket! Mi jelenleg a nagy sebességű kamerák teljesítményének a határa?
7. Néha az idő repül, máskor ólomlábakon halad. Mire utalnak ezek a kifejezések?
8. Mérd meg a magasságodat mutatóujj (vagy arasz) egységekben! Vajon azonos magasságrend jön ki az osztályban, ha mindenki a saját mutatóujját (araszát) használja egységként? Próbáljátok ki!
9. Keress lehetséges időmérő-eljárást a tárgyalatokon kívüül!
10. Becsüld meg az egypercnyi idő hosszát úgy, hogy fejben követed az idő múlását! Mennyire sikerült pontosnak lenned? Min múlik a siker?
11. Határozd meg lakásotok kerületét úgy, hogy mérd meg, milyen hosszú utat teszel meg addig, amíg a lakás egy pontjától elindulva, bal kezeddal mindig a falat érintve, vissza nem érsz ugyanoda!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mik azok a radarhullámok?
2. Vajon miért platina és irídium ötvözetéből készítették a méterrúdetalonokat?
3. Centiméterszalag segítségével mérd meg az iskolatáskád megfelelő méreteit, és állapítsd meg, hogy hány literes az űrtartalma!
4. Készíts időetalont, azaz hozz létre olyan fizikai folyamatot, mely mindig azonos ideig, például 10 másodpercig tart!
5. Volt olyan időszak a Föld történetében, amikor egy földi év 400 napig tartott. Ha feltételezzük, hogy a Föld Nap körüli keringési ideje nem változott azóta, milyen hosszú volt a nap?
6. Milyen módszerrel mérte meg Ole Rømer a fénysebességet?
7. Hány fénypercre van tőlünk a Nap?
8. Mennyi idő alatt érte el a Holdat a Földről indított radarhullám?
9. Milyen hosszú egy 2 másodperc lengésidejű fonálinga, úgynevezett másodpercinga zsinórja? (A feladatot méréssel tudod megoldani!)
10. A Velencei-hegységben, Nadap mellett van Magyarországon a szintezési ősjegy, amelyhez a hazai tengerszint feletti magasságokat mérik. Miért pont ezt a helyet választották ki?
11. Egy egyenesen mozgó szekér mellett, vele egy irányban haladva 15 lépéssel érünk a végétől az elejéig. Az elejétől a végéig, szemben haladva a szekérrel, 10 lépést kell tennünk. Hány lépés hosszú a szekér? A szekér haladásához képest hányszor gyorsabban lépkedünk?

Helymeghatározás

Helyzetünket a Föld felszínén a hosszúsági és a szélességi körök rendszerének segítségével határozzuk meg. A London melletti Greenwichen halad át a nullás hosszúsági kör, illetve az Egyenlítő a nullás szélességi kör. Magyarország a 45,8 és 48,6 fokos szélességi, valamint a 16,1 és 22,9 fokos hosszúsági körök között helyezkedik el, az északi félgömbön, Greenwich-től keletre.

Helymeghatározás a Föld felszínén

Az elemi geometria szabályai szerint két ismert pont helyzetéből iránymérés segítségével meghatározható egy harmadik pont helyzete. Ahogy meg tudunk szerkeszteni egy háromszöget alapjának hosszából és az alapon fekvő két szögéből, úgy ki is tudjuk számítani egy pont távolságát, meg tudjuk adni helyzetét akkor, ha két egymástól ismert távolságra eső pontból meghatározzuk a vizsgált pont irányát. Az így rögzített harmadik pont segítségével egy negyedik pont helyzetét határozhatjuk meg, tehát egy háromszögekkel lefedett hálózatot hozunk létre. A háromszögelés mint helymeghatározási, távolságmérési eljárás már az ókorban is használatos volt, de még ma is alkalmazzák.

Az idők során sokat fejlődött a mérési eljárás, és így a pontosság is. Érdekesként említhetjük meg, hogy megélhetési célból rövidebb ideig Carl Friedrich Gauss, a matematika fejedelme is foglalkozott földméréssel, melynek során kifejlesztette a görbült felületek differenciálgeometriáját, sőt új földmérő eszközt is kifejlesztett (heliotropnak nevezte el), melynek működése a napsugarak visszaverődésén alapult.

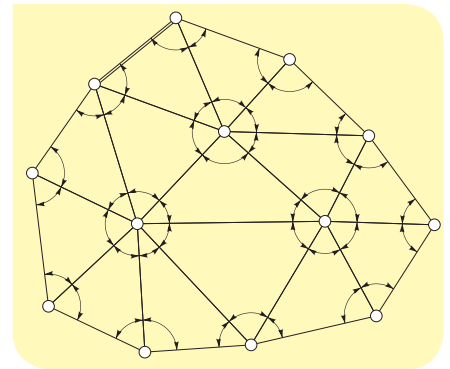
Hol vagyunk? Merre van észak?

Az északi irány meghatározása még néhány évtizeddel ezelőtt is nehézséget jelentett például egy kirándulónak, aki tájolni szeretne volna papírból készült térképét, és nem rendelkezett iránytűvel. Ekkor ugyanis még nem voltak beépítve a mobiltelefonokba azok az alkalmazások, melyek nemcsak az irányokat, hanem a pontos helyünket is megadják, pozíciónkat beépített térképeken rögzítik, az égbolt csillagait azonosítják. Nemcsak érdekes, hanem tanulságos is megismernünk, hogyan lehet meghatározni az északi irányt nappal és éjszaka, ha sem korszerű elektronikus eszközök, sem iránytű nem áll rendelkezésünkre.

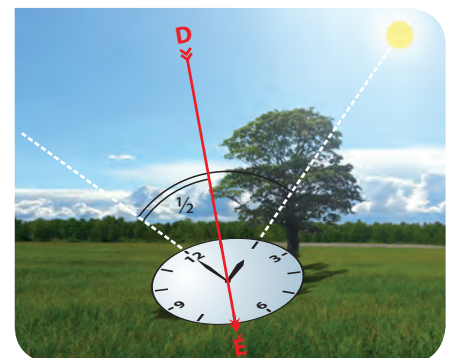
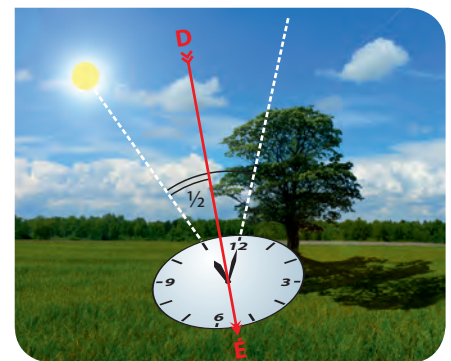
Az északi irány meghatározása mutatós óra és a Nap segítségével

Rajzoljunk egy papírlapra egy mutatós órát (mert nem biztos, hogy olyan van a karunkon), mely a pontos időt mutatja. A kismutatót irányítsuk a Nap felé, majd a kismutató és a 12-es közötti szöget felezzük meg. A szögfelező az ábrákon látható módon kijelöli az észak–déli irányt. A nyári időszámításnál az óraállítást figyelembe kell venni, tehát a műveletet úgy érdemes elvégezni, hogy gondolatban visszaállítjuk a kismutatót egy órával, vagy a 12-es helyett az 1-es és a kismutató közti szöget felezzük meg.

Az űrutatás fejlődésével műholdak sokasága árasztotta el a Föld kozmikus környezetét. Ezeknek az eszközöknek köszönhetjük, hogy tájékozódásunk átalakult, és Földünkéről rengeteg információ vált közvetlenül elérhetővé mindnyájunk számára.



- Háromszögeléssel adott pontok koordinátáit lehet kiszámítani. Miért nehezebb a számítás dombos vidéken, mint sík területen?



- Így határozhatjuk meg az északi irányt mutatós óra segítségével

Hallottál róla?

A hajósok tájékozódását a nyílt vizeken éjszaka elsődlegesen a csillagképek segítették. Nappal a Nap helyzetéből vontak le következtetéseket, melynek irányát a sextáns nevű műszer segítségével mérték. Ez tulajdonképpen egy tükrökkel felszerelt szögmérő volt, mellyel a Nap és a csillagok pozícióját lehetett meghatározni a horizonthoz képest. A sextánszt az 1730-as évektől használták. A sextáns elődje a kvadráns volt, ami egy függőleges tengelyű nagy szögmérő, és főleg a csillagok helyzetének meghatározására használták a távcső felfedezését megelőzően, már az időszámításunk kezdete előtti századok óta. Készítettek kis kézi változatokat, de hatalmas méretűek is épültek, mint Ulug bég háromemeletes kvadránsa a közép-ázsiai Szamarkandban vagy Tycho Brahe dán csillagász szobányi műszere Uranienborgban.



■ Sextáns



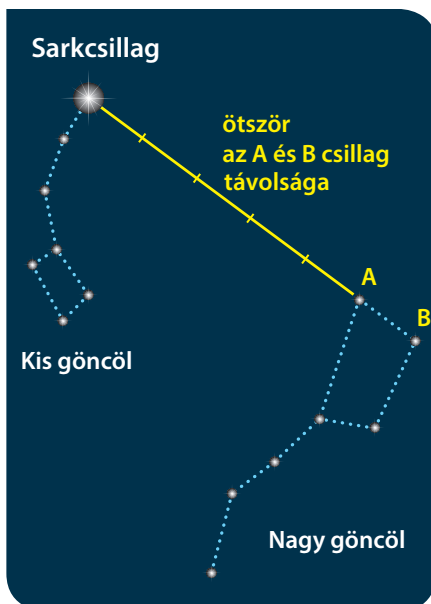
■ Ulug bég kvadránsa



■ Tycho Brahe dán csillagász szobányi műszere



■ Az augsburgi kvadráns másolata



- Így találhatjuk meg az északi irányt jelző Sarkcsillagot az égbolton a Gőncölszekér segítségével

Északi irány meghatározása csillagképek segítségével

Az északi félgömbön a csillagképek látszólagos mozgásukat a Sarkcsillag körül végzik. Erre mutat jelenleg a Föld tengelye, tehát erre van észak. Azonosítása a Gőncölszekér segítségével történhet, ami a Nagy Medve csillagkép része. A Sarkcsillagot úgy a legkönnyebb megtalálni, hogy a Gőncölszekér két hátsó kerekét alkotó csillag közötti távolságot a két csillagot összekötő egyenes mentén az ábrának megfelelően ötször felmérjük. Persze a Sarkcsillag sem egészen pontosan észak felé található, hanem attól majdnem háromnegyed fokra eltér, tehát az északi égi pólushoz képest ilyen kicsi szögben körbejár.

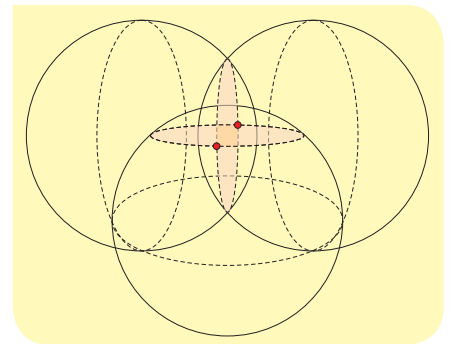
A földi pozíció meghatározása GPS segítségével

A GPS-rendszer (Global Positioning System) eredetileg katonai célokra készült az Egyesült Államokban. A GPS-rendszer célja, hogy a Föld körül keringő műholdak segítségével határozzuk meg a vizsgált pont (GPS-vevőkészülék) pozícióját. **A helymeghatározás elve a távolságmérésen alapszik.** A Föld körül keringő GPS-műholdak pontos atomórákkal vannak felszerelve (minden műholdon két atomóra van), melyek folyamatosan szinkronban járnak. Ebben segítenek a földi állomások is. A műholdról küldött rádiójel kibocsá-

tásának és beérkezésének időpontja között eltelt idő megadja a GPS-vevő távolságát egy adott pillanatban a műholdtól. Elvileg három egyidejű távolságmérés három különböző GPS-műhold felhasználásával azonosíthatja a keresett pont helyzetét. A rendszert úgy dolgozták ki, hogy egy pont azonosításához minimum négy műhold jelére van szükség. Sík vidéken egy adott pontról minimum hat, maximum tizenkét GPS-műhold látható. Gyakran előfordul, hogy városokban, magas épületek között a GPS-készülék nem „lát” elegendő számú műholdat, ezért ideiglenesen leáll a működése. A műholdak 20 200 km magasan keringenek, 12 óra a keringési idejük, és hat különböző pályán pályánként 4-4 műhold kering. Ennek megfelelően jelenleg 24 műhold szolgáltatásán alapszik a GPS-rendszer, mely a 3 tartalék műholddal együtt összesen 27 mesterséges égitestből áll.



- GPS-műholdak elhelyezkedése; 24 műhold 6 pályasíkon, minden pályán 4 műhold, 20 200 km magasságban, az Egyenlítő síkjához képest 55°-ban döntött pályasíkokban



- Három gömbnek alapesetben két metszéspontja van

Egy kis geometria

Ha ismerjük egy pont műholdtól vett távolságát, akkor tudhatjuk, hogy a pont egy olyan gömbön helyezkedik el, melynek a sugara ez a távolság, és középpontja a műhold az adott pillanatban. A három műhold távolságára nyert mérési adat három gömböt határoz meg, ezek két metszéspontja (az ábrán két piros pötty) a GPS-vevőkészülék lehetséges helye. Elvileg két ilyen hely van, az egyik azonban mindig a Föld mélyébe vagy a világűrbe esik, tehát ezt a készülék ki tudja zárni. Ámde a fenti eljárás csak akkor ad pontos eredményt, ha a vevő órája szinkronban jár a műholdakéval. Ezt a 4. műhold segítségével oldják meg, mely segítségével a földi készülékekben lévő olcsó kvarcórát szinkronizálják a GPS-műholdak drága atomóráival. Ezért kell legalább 4 műholdat figyelni, és ezért nem kell atomórát építeni a vevőkészülékbe.

A GPS-készülék alkalmazási területei

A GPS-készülék nemcsak a saját pozícióját határozza meg a műholdak segítségével, hanem segíti tulajdonosát egy tetszés szerinti helyre eljutni. Ehhez pontos, folyamatosan aktualizált térképekre, naprakész adatbázisokra van szükség. A mai GPS-készülékek megtervezik az utazó optimális útvonalát az interneten keresztül online frissített adatok segítségével, szükség esetén szóbeli instrukciókkal segítik a sofőrt, akár egy elágazásról, akár a sebesség túllépéséről van szó, akár egy csúcsforgalmi közlekedési dugót kell elkerülni. Ezek az eszközök képesek a közlekedés biztonságát nagymértékben növelni. Segítségükkel a kiránduló papír alapú térkép nélkül járhatja be a turistautakat, jelzést kaphat a célhoz való eljutásig hátralevő időről, továbbá pontos adatokat nyerhet a megtett és az előtte álló útvjáról, a leküzdött szintkülönb-

SZÁMOLD KI!

Ha egy GPS-műhold 20 200 km-re van a Föld egy adott pontjától éppen a fejünk felett, mennyi idő alatt ér el a rádiójel a műholdtól a vizsgált pontig, ha a rádióhullámok sebessége 300 000 km/s?

Hallottál róla?

A mobiltelefonba épített iránytűk és a GPS korszakában aligha gondolnánk, hogy a hagyományos tájolókra még szükség lehet egy tájfutóversenyen kívül. Ugyanakkor a korszerű eszközök különleges körülmények között csődöt mondanak. A bűvárok ma is előszeretettel használják a hagyományos mágnesűs tájólót a zavaros vízben a tájékozódás segítésére, ugyanis a vastag vízréteg elnyeli a GPS-jeleket.



- Autós és kirándulós GPS-készülékek. Nézz utána miben különböznek egymástól a gépkocsi vezetését és a kirándulók helyváltoztatását elősegítő készülékek?

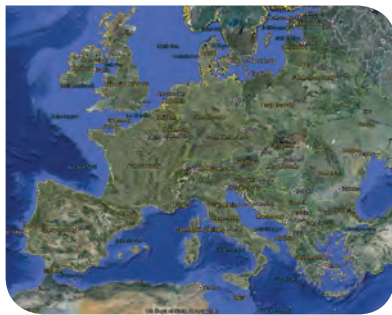
Hallottál róla?

Egy-egy GPS-műhold tömege nagyjából 2000 kg, napelemeinek feszítávolsága 18 méter, teljesítményfelvétele 2 kW, tervezett élettartama pedig 15 év.

Az USA-tól való függőség csökkentésére az EU kiépítette a Galileo műholdrendszert, mely 27 működő és 3 tartalék műhoddal fog működni, melyek 23600 km magasan keringenek a Föld körül. A GPS- és Galileo-rendszer összehangolásának feltételeit elemezték az USA és az EU szakemberei 2010-ben. Ez a lépés növelni fogja a helymeghatározás biztonságát az egész világon. 2011-ben lötték fel az első két európai műholdat. 2016 óta nyújt szolgáltatásokat a rendszer, míg a teljes kapacitású működés 2020-tól várható.

Hallottál róla?

A Google Föld fejlesztése olyan ütemben zajlik, hogy a rendszer előző bekezdésben leírt képességeit már biztosan felülmúlják az újak. Az alkalmazások sokszínűsége és egyszerűsége szinte naponta fejlődik, így naprakész tananyagot készíteni belőle nem lehet, csak a program használatára hívhatjuk fel a figyelmet.



■ A Google Föld egy részlete

FIGYELD MEG!

Keress meg a Holdon azt a helyet, ahol az első ember a Holdra lépett! Keress meg a Naprendszer jelenleg ismert legmagasabb hegyét, az Olympus Monst a Marson!

ségről. A GPS-rendszer révén kaphat tájékoztatást a buszmegállóban várakozó a várakozási időről, a busz várható célba érésének időpontjáról. A gyors ütemben fejlődő GPS-rendszer előfutára lehet az automatikus irányítású (sofőr nélküli) közlekedésnek.

A Google Föld (Google Earth)

A Google Föld ingyenes szolgáltatás nagy felbontású műholdképekkel az egész Földet lefedte. A felszínhez közelíthetünk, virtuális utazásokat tehetünk a világ távoli tájaira. A felszín feletti magasságunkat, a koordinátáinkat folyamatosan követni tudjuk. Útvonalakat tervezhetünk, a felszínre térképet fektethetünk, az útvonalak mentén távolságot mérhetünk, de megállapíthatjuk két pont légvonalbeli távolságát is.

A Google Street szolgáltatás révén végigsétálhatunk távoli városok utcáin, épületeket figyelhetünk meg három dimenzióban, továbbá ilyeneket helyezhetünk fel a felületre magunk is. Bejelölhetjük kedvenc helyeinket, fényképeket csatolhatunk hozzájuk. A program segítségével nyomon követhetjük a nappal és az éjszaka változásait, mi több, előre és hátra mozgathatunk az időben.

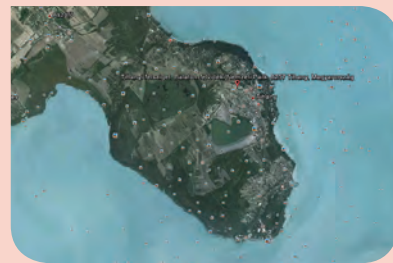
A Google Égbolt (Google Sky)

A program segítségével a Holdon, a Marson és a csillagok között lehet képzeletbeli utazást tenni. Kijelölhetők a csillagképek, azok határai, megtalálhatók a legkülönbözőbb csillagkatalógusok által rendszerezett csillagok, galaxisok, ködök és ezek Hubble-űrtávcsővel készített fényképei.

Ha valaki járatosabb az égi geometriában, a program segítheti a távcsöves megfigyeléseit is. A Mars és a Hold felszínét kráterről kráterre bebarangolhatjuk. Megismerkedhetünk a felszíni alakzatokkal (ezekre keresni is lehet) és az égitestekre küldött űrexpedíciók helyszíneivel.

MÉRD MEG!

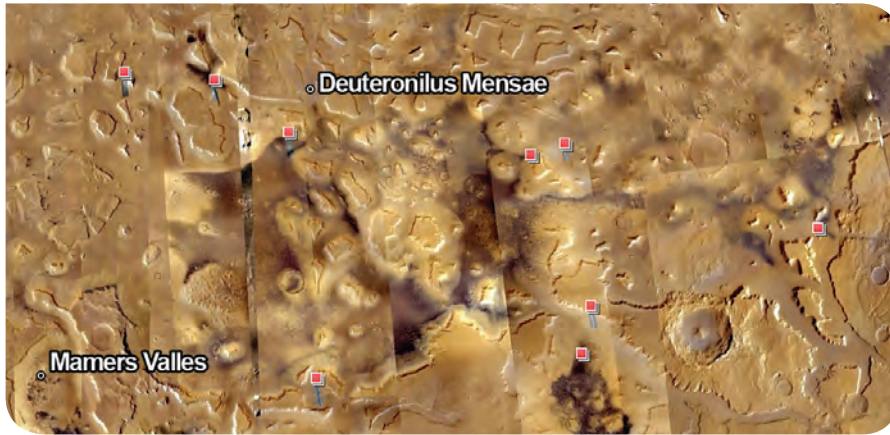
1. Határozd meg a Google Föld segítségével a lakóhelyed és az iskolád közötti távolságot légvonalban és közúton!
2. Határozd meg Debrecen és Pécs észak–déli távolságát egy hosszúsági kör mentén!
3. Mérd meg a budapesti Margit híd hosszát!
4. Állapítsd meg a Tihanyi-félsziget partvonalának hosszát! Először 10 pontból álló tört vonalat (egymáshoz csatlakozó szakaszok) használj, majd készíts részletesebb közelítést (pl. 20 és 50 pont)! Hasonlítsd össze az eredményeket, keress magyarázatot az eltérés lehetséges okára!



5. Mérd meg a Balaton-part két legtávolabbi pontjának távolságát!



6. Határozd meg a repülőút hosszát a Budapest–Barcelona–Kanári szigetek (Tenerife) útvonalon!



■ A Google Sky két kiragadott képernyőoldala

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi a GPS helymeghatározási rendszer működésének elve?
2. Mire használhatók a GPS-készülékek?
3. Sorolj fel néhány olyan programot, mely a Földet, illetve kozmikus környezetünket mutatja be!
4. A Sarkcsillag helyzete nem változik az égbolton, míg a közeli csillagképek a Sarkcsillag körül elmozdulnak. Mi a jelenség magyarázata?
5. Mikor szoktunk áttérni a nyári időszámításra, és meddig tart ez az időszak? Milyen előnyei lehetnek a nyári időszámítás használatának?
6. Milyen hosszúsági és szélességi körön helyezkedik el otthonod?
7. Milyen magasan keringenek a GPS-műholdak, és mekkora a keringési idejük?
8. Milyen szerepe van/lehet a GPS-rendszernek a tömegközlekedésben?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen jelenlegi alkalmazásai vannak a GPS-rendszernek a tankönyvben szereplő példákon kívül?
2. A tankönyvünk születésekor egy akkor ismert alkalmazásként mutattuk be a Google Földet és a Google Égboltot. Hogyan bővült vagy módosult ez a rendszer a leírtakhoz képest a könyv kiadása és olvasása között eltelt időben?
3. Ha egy 20 200 km magasan keringő GPS-műhold az Egyenlítő felett helyezkedik el Szomália DK-i csücskén, akkor közelítőleg melyik pont fölött fog elhelyezkedni 12 óra múlva? Mely pont felett lesz 6 óra múlva?
4. A legenda szerint csak az lehetett az egyiptomi fáraók testőre, aki szabad szemmel meg tudta állapítani, hogy a Göncölszékér melyik csillaga kettős (vizuálisan kettős, egymás mellett látszanak, de a tér más mélységében helyezkednek el). Melyik ez a csillag? Egy rajzon jelöld meg!
5. Mekkora a Galileo műholdrendszer műholdjainak keringési ideje? Nézz utána!
6. Hogyan lehet használni az északi irány meghatározására a mutatós órákat a déli félgömbön?
7. A 27 műholdból álló GPS-rendszer minden holdja ugyanazon magasságban kering a Föld felett (20 200 km). Hogyan kerülhető el, hogy összeütközzenek?

Hallottál róla?

A közeli jövőben elterjedhetnek a sofőr nélküli autók az utakon. Ehhez minden technikai feltétel adott, és a fejlesztések gyors ütemben folynak. Szériatartozékként már megjelentek olyan rendszerek, melyek megakadályozzák a koccanásos ütközéseket. Az autó radarjelekkel érzi az előtte haladó jármű távolságát, és ha a dugóban figyelmenlenné váló vezető nem fékez időben, akkor a rendszer a vezető helyett fékezi le a járművet. Ugyanígy megjelentek a követési távolságot tartó automatikus rendszerek is, melyek például ködben teszik sokkal biztonságosabbá a haladást.



■ Vezető nélkül közlekedő kísérleti jármű 2020-ból

NE FELEDD!

A földi tájékozódást a Föld körül keringő összehangolt GPS mesterséges holdak rendszere segíti.

A Földről szerzett információinkat mesterséges holdakról készített felvételek segítségével a Google Earth program teszi mindenki számára hozzáférhetővé.

A Google Sky segítségével részletesen megismerhetjük a Holdat, a Marsot, a csillagos ég látványát és legfontosabb objektumait.

A GPS-rendszer és a Földet, valamint kozmikus környezetét bemutató programok rohamos ütemben fejlődnek. Érdemes mindig a legújabb fejlesztéseknek utánanézni!

Milyen sebességet
érhet el a leggyorsabb
szárazföldi emlős, a gepárd?



Milyen pályán mozog
a földről visszapattanó
teniszlabda?



Hogyan készülhetett
ez a kép?
Milyen mozgást végez
a repülő?



I. EGYSZERŰ MOZGÁSOK



Zürichi utcakép

Milyen igényeket kell teljesíteni a nagyvárosok közlekedésével kapcsolatban?

Miért nehéz a nagyvárosok közlekedését jól megoldani?

1. | Mozgó járművek

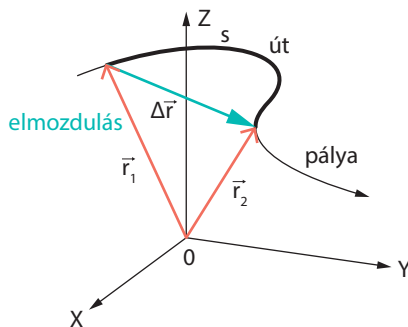
Gyalogosan nemigen jutunk messzire, lóháton pedig manapság kevesen közlekednek. Ezért helyváltoztatásunkhoz gyakran járművekre van szükségünk. Nagyon sokféle jármű közlekedik a Földön, közös érdekünk, hogy megtanuljuk a biztonságos közlekedés szabályait.



- A TGV francia gyorsvasút – ami nem mágnesvasút – 2007-ben Metz közelében 574,8 km/h-s sebességgel megdöntötte a vasúton elért sebességi világrekordot



- A Wright testvérek repülőgépe 1893-ban hagyta el először a talajt. A hangsebességet (kb. 340 m/s-ot) az 1940-es évek végén lépték át először a katonai vadászgépek. Ma már a NASA kísérleti modelljeinek sebessége meghaladja a 10 machot (a hangsebesség 10-szeresét) is



- Helyvektor (\vec{r}), elmozdulás ($\Delta\vec{r}$), út (s)

A térbeli és időbeli tájékozódáskor mindig viszonyítunk valamihez. Amikor meghatározzuk helyünket vagy egy időpontot, akkor mindig valamihez viszonyítva tesszük ezt. Tudományosan azt mondjuk, hogy a tér- és időkoordinátáinkat adjuk meg. Ilyenkor nagyon sokszor a nulla időpont azt jelenti, amikor elkezdjük vizsgálni a mozgást (elindítottuk a stoppert), a térbeli koordináták pedig a szabadon választható nulla helyhez, az origóhoz képesti térbeli adatainkat jelentik.

A mozgás viszonylagos



- Mi mozog? Mihez képest?

A természetben a legegyszerűbben megfigyelhető jelenség a mozgás. A mozgás viszonylagos, idegen szóval relatív fogalom. Mindig meg kell neveznünk azt a testet, amihez a vizsgált mozgást viszonyítjuk.

Egyenes vonalú egyenletes mozgást végez egy test, ha egyenes pályán halad, és egyenlő időközönként ugyanakkora utakat tesz meg.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egyenes úton közlekedő autó mozgásállapotát igen könnyen vizsgálhatjuk egy stopper segítségével. Figyeljük az út mentén elhelyezett kilométerköveket (manapság inkább kilométertáblákat)! Jegyezzük fel az óra indítása óta eltelt időt, amikor egy kilométerkő mellett haladunk el! A stoppert akkor indítjuk, amikor az 5-ös kilométerkő mellett haladunk el. Az alábbi táblázat egy ilyen megfigyelés során keletkezett:

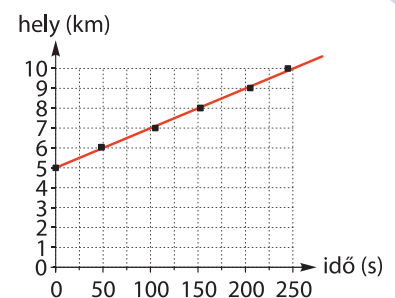
Km-kő sorszáma	5	6	7	8	9	10
Idő (s)	0	48	101	153	201	249

Milyen megállapításokat tehetünk a mért adatok alapján?

Megoldás: Célszerű az adatpárokat hely-idő grafikonon ábrázolni:

A grafikonot megfigyelve megállapíthatjuk, hogy

- kb. 50 másodpercenként 1000 métert tesz meg az autó;
- ennek megfelelően másodpercenként kb. 20 méter utat tesz meg a jármű.



A sebesség

A mozgás gyorsaságát a sebességgel jellemezzük. **A sebesség számértéke az időegység alatt megtett utat adja meg:**

$$\text{A vizsgált autó sebessége } v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1000 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Egyenes vonalú egyenletes mozgás esetén a hely-idő grafikonról leolvashatjuk a sebességet, a sebesség éppen a grafikonon látható egyenes meredekségének feleltethető meg:

$$\text{Sebesség (m/s)} = \frac{\text{megtett út (m)}}{\text{eltelt idő (s)}} \rightarrow \text{képlettel: } v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

A hétköznapokban a sebességet km/h-ban adjuk meg. A két mértékegység közötti kapcsolat:

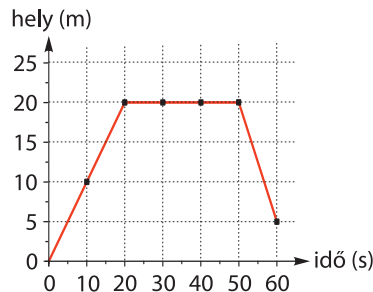
$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{1}{3600} \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{3600 \text{ km}}{1000 \text{ h}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy elképzelt mozgás hely-idő grafikonját látjuk.

Jellemezzük a mozgás 3 szakaszát a következő szempontok alapján!

- A megfigyelt test áll vagy mozog a vonatkoztatási rendszer kezdőpontjához képest?
- Ha mozog, akkor egyenletesen mozog-e?
- Távolodik vagy közeledik?
- Számoljuk ki a sebességeket!
- Készítsük el a teljes mozgás sebesség-idő grafikonját!



Megoldás: A mozgás I. szakaszában (0–20 s) a test mozog, egyenletesen távolodik az origótól (a vonatkoztatási rendszer kezdőpontjától), a sebessége

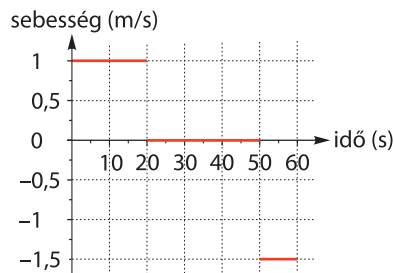
$$v_1 = \frac{20 \text{ m}}{20 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A mozgás II. szakaszában (20–50 s) a test áll, az origótól mért távolsága nem változik, a sebessége

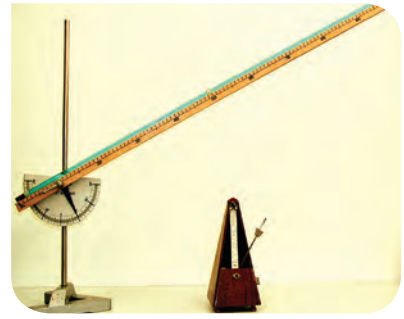
$$v_2 = \frac{0 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 0$$

A mozgás III. szakaszában (50–60 s) a test mozog, egyenletesen közeledik az origóhoz, a sebessége

$$v_3 = \frac{-15 \text{ m}}{10 \text{ s}} = -1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



EMLÉKEZTETŐ



- Kísérlet Mikola-csővel.
Milyen kapcsolat van a buborék helye és az eltelt idő között?

Az egyenes vonalú egyenletes mozgást a tanteremben legegyszerűbben Mikola-csővel vizsgálhatjuk. A Mikola-cső egy kb. 1 méter hosszú, 1 cm vastag üvegcső, amelyben festett víz van és egy légbuborék.

A cső állandó dőlésszöge mellett a buborék mozgása során mérj meg különböző utak (20, 40, 60 és 80 cm) megtételéhez szükséges időtartamokat!

A mérési eredményeket foglald táblázatba, és az összetartozó értékpárokat ábrázold hely-idő grafikonon!



- Mikola Sándor (1871–1945)

A Mikola-cső névadója Mikola Sándor, a budapesti Fasori Evangélikus Gimnázium fizikatanára, majd később igazgatója.

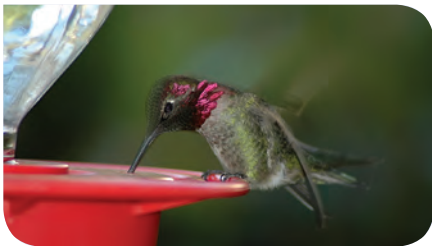
Több, a fizikaoktatást segítő új demonstrációs eszközt készített. Pedagógiai munkássága jelentős, számos későbbi híres tudós (például Neumann János és Wigner Jenő) középiskolai tanára volt.



■ Rövid távon a leggyorsabb négy lábú állat a gepárd. Fél percig akár 110 km/h-s sebességgel is haladhat. Mekkora úton tud ilyen gyorsan futni?



■ Rövidtávfutó



■ Anna-kolibri

Tőled függ!



■ Sebességkorlátozó közúti tábla

Napról napra több jármű közlekedik az utakon. Biztonságunk érdekében nagyon fontos, hogy betartsuk a közlekedési szabályokat. Nézz utána, hogy mekkora a megengedett legnagyobb sebesség Magyarországon lakott területen, lakott területen kívül és autópályán!

Egyenes mentén történő mozgás leírásakor a sebességet skalármennyiségként célszerű kezelni. Mivel ekkor is vektor, de csak két irányba lehet, amit egy előjellel kényelmes kezelni.

A tőlünk távolodó test hely-idő grafikonja növekedő, sebessége pozitív érték.

A hozzánk közeledő test hely-idő grafikonja csökkenő, sebessége negatív érték.

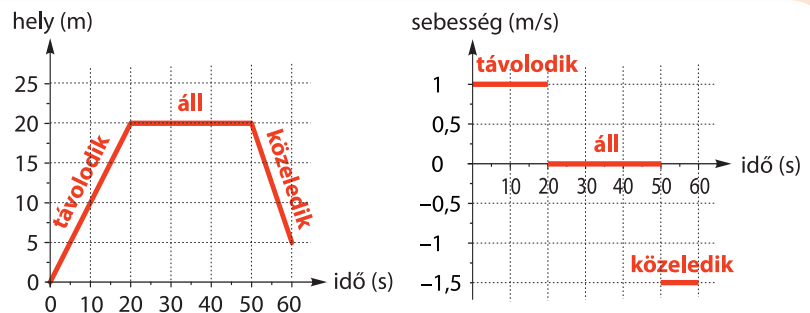
Hallottál róla?

- Az emberi haj a növekedési szakaszában 2-3 nap alatt nő 1 mm-t.
- A legjobb rövidtávfutók több mint 10 métert futnak másodpercenként. Keress meg a világhálón a jelenlegi világcsúcsot 100 méteren! Ez mekkora átlagsebességet jelent?
- Testméretéhez képest az Anna-kolibri vezeti a gyorsasági listát. Maximális sebessége akár 26 m/s is lehet, másodpercenként akár 385 testhosszat is megtehet. Zuhanórepülésével a tojót kívánja elkápráztatni a hím. A vándorsólyom képes a legnagyobb sebességgel siklani, akár 250 km/h-val.
- A sebesség alkalmas fogalom arra, hogy a testek helyének időbeli változását megadja. A sebességfogalom általánosításával bármely más mennyiség időbeli változásának a gyorsaságát is megadhatjuk. Például: népességszám, infláció, relatív árszínvonal változási sebessége.
- Az adatátviteli sebesség számértéke egy átviteli csatornán az egységnyi idő alatt átvihető jelek számát adja meg. Mértékegysége a bit/s.

NE FELEDD!

Egy test mozgását mindig egy másik test mozgásához viszonyítjuk.

Az egyenes vonalú egyenletes mozgás hely-idő grafikonja egyenes. A hely-idő grafikon alapján megszerkeszthetjük a sebesség-idő grafikon is.



■ A szakaszonként egyenletes mozgás hely-idő grafikonján töréspontok, a sebesség-idő grafikonján szakadási helyek vannak. Ezeknek a pontoknak a környezetében nem igaz, hogy azonos idő alatt azonos távolságot tesz meg a test.

Egyenletes mozgás esetén érvényes a következő összefüggés:

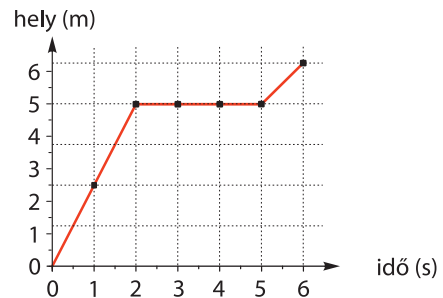
$$\text{Sebesség (m/s)} = \frac{\text{megtett út (m)}}{\text{eltelt idő (s)}}$$

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Sorolj fel olyan hétköznapi jelenségeket, melyek során egy test egyenes vonalú egyenletes mozgást végez!
2. Egy személyvonat 60 km/h sebességgel áthalad a vasútállomáson. Mekkora a sebessége az egyik fülkében ülő embernek az állomáshoz, illetve a szerelvényhez képest?
3. Egyenletes mozgást vizsgálunk. A sebesség (v), út (s), idő (t) mennyiségek mindegyikét fejezd ki a másik kettő segítségével!
4. Egy autó 10 másodperc alatt tesz meg 200 métert. Egy másik jármű 1 óra alatt 50 km-t. Tippeld meg, melyiknek nagyobb a sebessége! Állításodat számítással igazold!
5. Az emberi haj 3 nap alatt akár 1 mm-t nőhet. Becsüld meg, mennyit nőhet 1 hónap alatt!
6. Lakott területen – ha más tábla ezt nem szabályozza – a megengedett legnagyobb sebesség 50 km/h. A szabályosan haladó autós legfeljebb hány métert tesz meg másodpercenként?
7. Egy autó 3 órán keresztül halad 80 km/h sebességgel előre, majd 2 órán keresztül 60 km/h sebességgel vissza.

Összesen mekkora utat tesz meg? Készítsük el a mozgás hely-idő, út-idő, sebesség-idő grafikonjait!

8. Az ábra egy gyalogos hely-idő grafikonját mutatja. Készítsük el a mozgás sebesség-idő grafikonját!



9. Az otthoni internetünk átlagos adatátviteli sebessége 10 Mbit/s. Hozzávetőlegesen mennyi idő alatt tölthetünk le egy 1,2 Gbyte-os dokumentumot? (1 byte = 8 bit)
10. Gyűjts érdekes sebességadatokat, sebességrekordokat az interneten (autók, focilabda, teniszlabda, jégkorong, sportolók, állatok sebessége)!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egyenes autópályán, egymáshoz közeledve halad egymással szemben két autó. A talajhoz képest a sebességük 40 km/h, illetve 50 km/h. Mekkora az egymáshoz viszonyított sebességük?
2. Egyenes autópályán, egymástól távolodva halad ellentétes irányban két autó. A talajhoz képest a sebességük 40 km/h, illetve 50 km/h. Mekkora az egymáshoz viszonyított sebességük?
3. Egyenes autópályán, azonos irányban halad két autó. A talajhoz képest a sebességük 40 km/h, illetve 50 km/h. Mekkora az egymáshoz viszonyított sebességük? Függ-e az eredmény attól, hogy melyik autó van elől?
4. A 60 méter hosszú mozgólépcsőn állva 60 másodperc alatt érünk fel a metró kijáratához. Egy másik alkalommal sietünk, ezért a lépcsőhöz képest még egyenletesen haladunk felfelé. Most 20 másodperc alatt érünk a felszínre. Mekkora a mozgólépcső sebessége? A második esetben mekkora sebességgel haladunk a lépcsőhöz képest?
5. A delegáció egyenletesen haladó konvojának végéről 100 másodperc alatt ér a motoros rendőr a konvoj elejére. Az elejéről a végére 20 másodperc alatt ér a motoros. Mekkora a konvoj hossza és sebessége, ha a motoros rendőr sebessége mindkét esetben 90 km/h?
6. Autópályán 90 km/h sebességgel halad egy autó. Mekkora úton, mennyi idő alatt éri utol az autó mögött 1 km-ről 120 km/h sebességgel közeledő motoros rendőr?
7. A 80 méter széles folyón leghamarabb 10 másodperc alatt úszik át András. Eközben 20 métert sodródik lefelé. Milyen irányú és mekkora András sebessége a vízhez képest? Mekkora a folyóvíz parthoz viszonyított sebessége?
8. Egy autó sebessége 30 m/s, egy másiké 40 m/s. Lehetséges-e, hogy egymáshoz képesti sebességük 50 m/s? Válaszodat indokold!
9. Egy vasúti kocsit lassan, egyenletesen gurul az állomáson. Menetirányban lépkedve mellette a földön 34 lépésnek találjuk a kocsi hosszát, ellentétes irányban 26 lépésnek. Mindkét esetben a talajhoz viszonyított sebességünk azonos és állandó, valamint a lépések egyenlő hosszúak. Hány lépés hosszú a vasúti kocsi?
10. Mérd meg különböző dőlésszögek (pl. 15, 30, 45, 60, 75, 90 fok) mellett a Mikola-csőben mozgó légbuborék adott út (pl. 80 cm) megtételéhez szükséges idejét! A mérési eredményeket foglald táblázatba, majd az összetartozó út-idő adatokból számolj sebességeket! Ábrázold a légbuborék sebességét a cső dőlésszögének függvényében! Próbáld értelmezni a jelenséget!

2. | Gyorsuló járművek

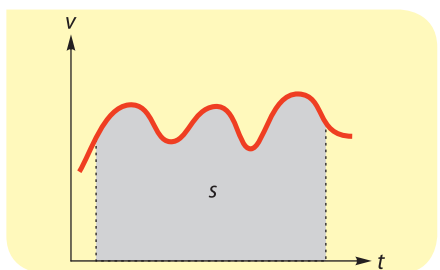
Ha egy test állandó sebességgel mozog, akkor valamikor régebben fel kellett vennie ezt a sebességet. Ugyanígy a környezetünkben állandó sebességgel mozgó testek később megváltoztatják a sebességüket, lelassulnak, megállnak. Ez a jelenség a járművek mozgásának természetes velejárója. Az utcákon néha megjelenő fantasztikus sportkocsik lenyűgözően (néha ijesztően) rövid idő alatt gyorsulnak fel, és ugyancsak hihetetlenül hamar tudnak lefékezni.

Hallottál róla?

A leggyorsabb szárazföldi állat a gepárd. A gyorsulása is lenyűgöző, 2 másodperc alatt eléri a 72 km/h-s sebességet.



- A Pécs és Budapest közötti 228 km-t az IC 3 óra alatt teszi meg. Mekkora a vonat átlagsebessége?



- Általánosan igaz: a v - t grafikon alatti terület számértéke a megtett utat adja.

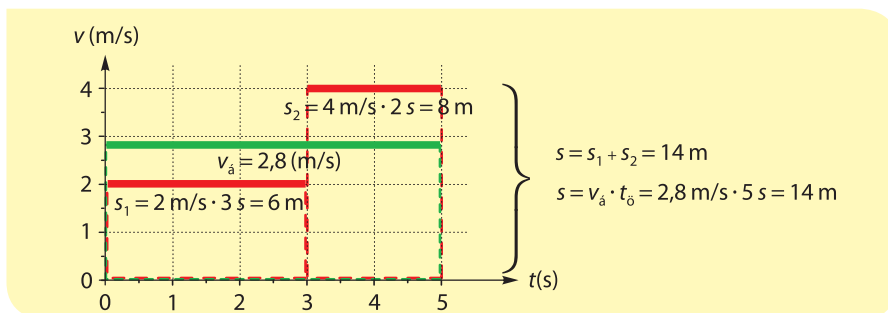
A természetben és a technikai környezetünkben előforduló mozgások jelentős része nem egyenletes mozgás. Például egy legelő tehén egész napos mozgása a mezőn vagy egy autó mozgása a városi forgalomban látszólag összevisszának tűnik.



- Milyen jellegű mozgásszakaszokból áll a tehén, illetve az autó mozgása?

Az átlagsebesség

Az egyenes vonalú mozgások többsége nem egyenletes. Vizsgáljuk meg egy elképzelt mozgás sebesség-idő grafikonját (piros egyenes szakaszok)!



- Észrevehetjük, hogy amikor az első szakaszban megtett utat számítjuk ki $(2 \text{ m/s}) \cdot (3 \text{ s}) = 6 \text{ m}$, akkor ez olyan, mintha egy téglalap területét számítanánk. Ugyanezt láthatjuk a második szakasz esetén is: $(4 \text{ m/s}) \cdot (2 \text{ s}) = 8 \text{ m}$. Ha ugyanennyi ideig állandó sebességgel, vagyis az átlagsebességgel mozog a test, akkor a nagy téglalap területe $(2,8 \text{ m/s}) \cdot (5 \text{ s}) = 14 \text{ m}$ megegyezik a két kis téglalap területével: $14 \text{ m} = 6 \text{ m} + 8 \text{ m}$.

A változó mozgás jellemzésére nagyon hasznos bevezetnünk az átlagsebesség fogalmát:

$$\text{Átlagsebesség (m/s)} = \frac{\text{összes út (m)}}{\text{eltelt idő (s)}}, \text{ képlettel: } v_{\text{átlag}} = \frac{s_{\text{összes}}}{t_{\text{összes}}}$$

Az átlagsebességen azt a sebességet értjük, amellyel a test egyenletesen mozogva ugyanazt az utat ugyanannyi idő alatt tenné meg, mint változó mozgással.

A pillanatnyi sebesség

A mozgás részleteiről ad felvilágosítást a **pillanatnyi sebesség** fogalma, amit lehet úgy értelmezni, mint egy nagyon rövid időtartamhoz tartozó átlagsebességet:

$$v(t) = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

(a Δt nagyon kicsiny időtartamot jelöl, a Δs az ez alatt megtett kicsiny utat).

Pontosabb értelmezés szerint a pillanatnyi sebesség vektormennyiség, iránya minden pillanatban a mozgás irányát mutatja:

$$\vec{v}(t) = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

(a Δt nagyon kicsiny időtartamot jelöl, $\Delta \vec{r}$ pedig az ez alatt megtett elmozdulásvektort).

$$\text{pillanatnyi sebesség (m/s)} = \frac{\text{elmozdulásvektor (m)}}{\text{eltelt idő (s)}}$$

A sebességet változó irányú mozgásoknál célszerű vektorként leírni.

A gyorsulás

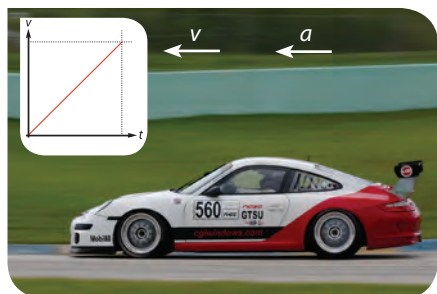
A grafikonon azt látjuk, hogy az egyenes úton mozgó autó pillanatnyi sebességének nagysága egyenlő időtartamok alatt ugyanannyival változik. Az ilyen mozgást egyenes vonalú egyenletesen változó mozgásnak nevezzük.

A sebességváltozás gyorsaságát jellemzi a gyorsulás:

$$\text{Gyorsulás} = \frac{\text{sebességváltozás}}{\text{a változás időtartama}}, \text{ képlettel: } a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$



- Egy futó gyorsulása induláskor lehet akár 3 m/s^2 is. Mennyi idő alatt gyorsul fel 6 m/s sebességre?



- Gyorsuló autó

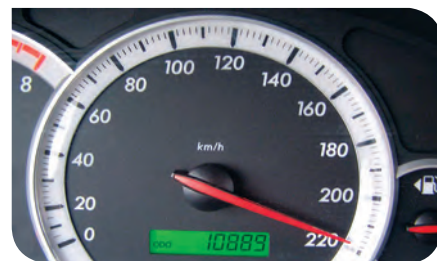
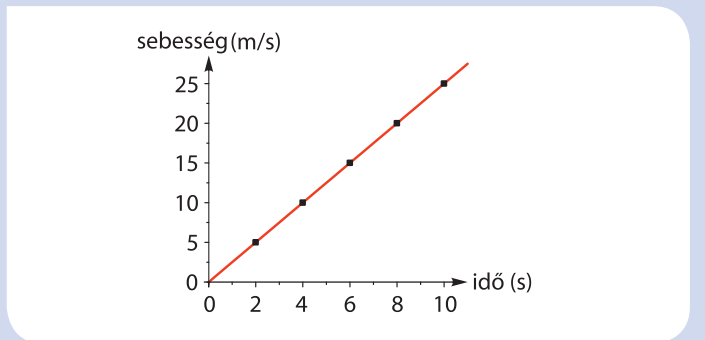
SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy gondolkísérlet során egy autó egyenes úton történő mozgását vizsgáljuk. A gyorsulási teszt adatait mutatja az alábbi táblázat:

Az indulástól eltelt idő (s)	0	2	4	6	8	10
Pillanatnyi sebesség (m/s)	0	5	10	15	20	25

Az összetartozó sebesség-idő adatokat ábrázoljuk koordináta-rendszerben!

Megoldás:



- Az autó sebességmérője az autó pillanatnyi sebességének nagyságát mutatja



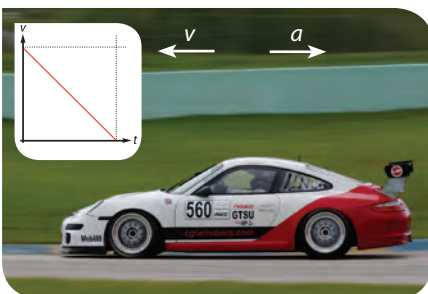
- Egy focilabda gyorsítási ideje elrúgáskor $0,1 \text{ s}$ nagyságrendű, az átlagos gyorsulása akár 400 m/s^2 is lehet. Mekkora sebességre tesz szert a labda az elrúgás végén?

A gyorsulás mértékegysége:

$$[a] = \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} = \frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

A gyorsulás számértéke az egységnyi idő alatt bekövetkező sebességváltozást adja meg:

$$\Delta v = a \cdot \Delta t$$



- Lassuló autó

SZÁMOLD KI!

A legjobban gyorsuló autók 0-ról 60 mérföld/óra ($\approx 96 \text{ km/h}$) sebességre kevesebb mint 2 másodperc alatt gyorsulnak. Legalább mekkora a gyorsulásuk?

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Mekkora az autó gyorsulása, és mekkora utat tett meg az előző feladatban szereplő teszt alatt? Készítsük el a mozgás út-idő grafikonját!

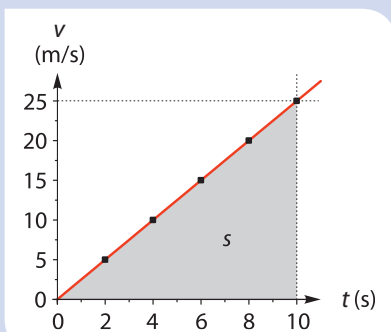
Megoldás: A gyorsulás definíciója alapján:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{25 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \text{ s}} = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

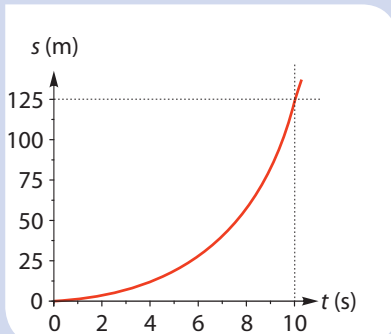
Használjuk fel, hogy a v - t grafikon alatti terület számértéke a megtett utat adja:

$$s = \frac{v \cdot t}{2} = \frac{at \cdot t}{2} = \frac{1}{2} at^2,$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (10 \text{ s})^2 = 125 \text{ m}.$$



A mozgás út-idő grafikonja egy félparabolaív:



NE HIBÁZZ!

A $v = s/t$ összefüggést csak akkor használhatod a sebesség kiszámolására, ha a vizsgált mozgás egyenletes. Az s/t hányados a mozgás átlagsebességét adja, és nem a végsebességet. Gyorsuló (egyenletesen változó) mozgás esetében ezt az összefüggést nem használhatjuk. Általánosan érvényes szabály, hogy egy probléma vagy feladat megoldása során először állapítsuk meg, hogy milyen jelenséget vizsgálunk, majd használjuk az erre a területre érvényes fogalmakat, összefüggéseket.

A gyorsulás vektormennyiség, iránya a sebességváltozás irányát mutatja.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Egyenes vonalban gyorsuló test esetén a sebesség- és a gyorsulásvektorok egyirányúak. Egyenes vonalban lassuló autó esetén a két vektor ellentétes irányú. A lassulást a fizika szaknyelvében negatív gyorsulásnak nevezzük.

Egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgások esetén nagyon hasznos az átlagsebesség fogalma. Ilyen esetekben igaz, hogy a kezdő- és a végsebesség számtani közepe adja meg az átlagsebességet: $v_{\text{átlag}} = \frac{v_1 + v_2}{2}$. Ha már tudjuk

az átlagsebességet a vizsgált $\Delta t = t_2 - t_1$ időtartam alatt, akkor a megtett utat így számolhatjuk ki:

$$s = v_{\text{átlag}} \cdot \Delta t$$

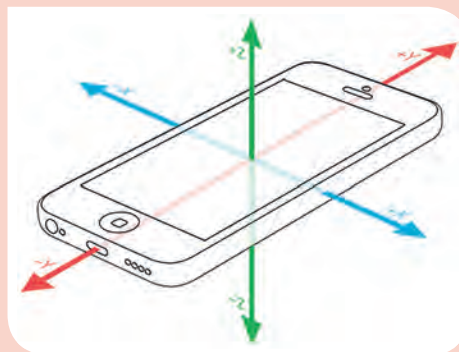
KÍSÉRLETEZZ!

A legtöbb okostelefon rendelkezik beépített gyorsulásérzékelővel. A tér három irányában (a telefonhoz rögzített koordináta-rendszer tengelyei mentén) képes mérni a telefon gyorsulását, és rögtön grafikon is készít a gyorsulás időbeli alakulásáról.

Keress ilyen programot, töltsd le a telefonodra!

Fektesd a telefont vízszintes asztalra, és próbáld meg egyenletes gyorsulással csúsztatni! Mennyi ideig sikerült?

Dönts meg az asztallapot! Ha elég meredek az asztallap, a telefon mozgása egyenletesen gyorsulóvá válik. Olvasd le a gyorsulásértéket!



NE FELEDD!

Az átlagsebesség definíciója:

$$\text{Átlagsebesség (m/s)} = \frac{\text{összes út (m)}}{\text{eltelt idő (s)}}$$

A $v(t)$ pillanatnyi sebesség a nagyon rövid időtartamhoz tartozó átlagsebességet jelenti.

A gyorsulás definíciója:

$$\text{Gyorsulás (m/s}^2\text{)} = \frac{\text{sebességváltozás (m/s)}}{\text{a változás időtartama (s)}}$$

A gyorsulás (a) számértéke az időegység alatt bekövetkező sebességváltozást (Δv), a sebesség számértéke (v) pedig az időegység alatt megtett utat (Δs) adja meg.

A sebesség és a gyorsulás is vektormennyiség: $\vec{v}(t) = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$, $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Egyenletesen gyorsuló mozgást vizsgálunk. A gyorsulás (a), sebességváltozás (Δv) és az időtartam (Δt) mind-egyikét fejezd ki a másik kettő segítségével!
- Péter 15 perc alatt jut el kerékpárral az otthonától 3,5 km távol lévő iskolába. Mekkora átlagsebességgel halad?
- A 2012. évi nyári olimpiai játékokon a 10 km-es nyílt vízi női úszás versenyszámát Risztov Éva nyerte meg a Hyde Parkban 1:57:38,2-es idővel. Mekkora volt a sportoló átlagsebessége?
- Egy okostelefonra telepíthető alkalmazás segítségével meg tudjuk nézni, hogy az egymást követő kilométereket mennyi idő alatt tettük meg. Ilyen adatsort tartalmaz a következő táblázat:

1	2	3	4	5	6
03:57	02:38	03:24	0:55	02:45	01:24

Számold ki az egyes kilométerekre, illetve az egész útra vonatkozó átlagsebességet!

- Egészítsd ki az alábbi mondatokat a következő szavak megfelelő alakjával:
gyorsulás, átlagsebesség, pillanatnyi sebesség
A(z) ... nem tájékoztat a mozgás részleteiről.
Amikor egy test pillanatnyi sebessége tartósan állandó, akkor a test ... nulla.
Amikor a ... egyenletesen változik, akkor a test gyorsulása állandó.
- Álló helyzetből induló autó gyorsulása $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Mekkora lesz a sebessége 5 s alatt? Mekkora utat tesz meg? Készítsd el a mozgás s - t , v - t grafikonjait!

- A fékező autóra igaz a következő összefüggés: $s = \frac{v^2}{2|a|}$, ahol s a fékút, v a fékezés előtti sebesség, $|a|$ pedig a gyorsulás nagysága (abszolút értéke). Egészítsd ki a következő mondatokat:
 - 2-szer nagyobb sebesség ...-szer nagyobb fékutat eredményez.
 - 3-szor nagyobb sebesség ...-szer nagyobb fékutat eredményez.
 - nagyobb abszolút értékű gyorsulás ... fékutat eredményez.
- Egy autó álló helyzetből 10 másodperc alatt gyorsul fel egyenletesen 100 km/h sebességre. Egy másik jármű álló helyzetből egyenletesen gyorsulva 5 másodperc alatt 37,5 méter utat tesz meg. Melyiknek nagyobb a gyorsulása? Állításodat számítással igazold!
- Egy test sebessége kezdetben 5 m/s. Ez egyenletesen elmentés irányúra és 3 m/s nagyságúra változik 4 másodperc alatt. Mekkora a test sebességváltozása és gyorsulása?
- A Formula-1-es autók fékrendszere elképesztő. A fékek képesek az autót 320 km/h-ról 3 másodperc alatt 80 km/h-ra lassítani. Mekkora az autó átlagos gyorsulása ezalatt, és mekkora utat tesz meg a fékezés közben?
- Lehetséges-e, hogy egy autó észak felé halad, de dél felé mutat a gyorsulása?
- Lehet-e egy testnek nullától különböző gyorsulása abban a pillanatban, amikor éppen nulla a sebessége?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Két települést egymással párhuzamosan egy csatorna (állóvíz) és egy folyó is összeköt. Ugyanazzal a motorcsónakkal elmegyünk az egyik településről a másikba, rögtön megfordulunk, majd visszaérünk a kiindulási helyünkre. Melyik esetben lesz kisebb a teljes menetidő, ha a folyón, vagy ha a csatornában mozog a csónak?
- András a közeli postaládáig 5 m/s, visszafelé csak 3 m/s átlagsebességgel halad. Milyen messze van a postaláda, ha András 20 perc alatt megfordul, és a postaládánál gyakorlatilag nem időzik?
- Két település között az autóbusz átlagsebessége az egyik irányban 70 km/h, a másik irányban 80 km/h. Mekkora a jármű átlagsebessége egy oda-vissza útra vonatkoztatva?
- Két település között az autóbusz átlagsebessége az egyik irányban 75 km/h. Mekkora a jármű sebessége a másik irányban, ha az oda-vissza útra vonatkoztatott átlagsebessége 60 km/h?
- Egy 20 km/h sebességgel haladó kerékpáros 3 másodperc alatt egyenletesen lassulva megáll. Mekkora a lassulása? Mekkora úton áll meg?
- Egy 90 km/h sebességgel haladó személyautó az egyenes úton 6 másodperc alatt fékeződik le egyenletesen lassulva. Mekkora volt az autó lassulása, és mekkora úton állt meg az autó?
- Egy jármű a fékezési idő első felében 15 métert tesz meg. Mekkora a teljes fékútja? A jármű sebessége egyenletesen csökken.
- Az egyenes kifutópálya elején álló helyzetből egyenletesen gyorsít a repülőgép. A kifutópálya hosszának 80%-ánál eléri a felszálláshoz szükséges sebesség 90%-át. Sikerül-e a felszállás? Állításodat számítással igazold!
- Igazold, hogy az álló helyzetből egyenletesen gyorsuló testnek az egymást követő azonos időtartamok alatt megtett útjai úgy aránylanak egymáshoz, mint az egymást követő páratlan számok 1-től kezdődően!
- Álló helyzetből egyenletesen gyorsuló test a 3. másodpercben 10 métert tesz meg. Mekkora a tömegpont gyorsulása? Mekkora utat tesz meg a 2. másodpercben? Mekkora utat tesz meg az első három másodpercben?

3. | Közlekedjünk biztonságosan

Az utóbbi száz évben elképesztő mértékben megnőtt a közlekedésben részt vevő járművek száma. Különösen a gépkocsik és a repülőgépek száma növekedett rendkívüli módon. Ennek ellenére a halálos közlekedési balesetek, repülőgép-katasztrófák száma az utóbbi évtizedekben csökkent. Ennek az a magyarázata, hogy a ma használatos járműveink sokkal biztonságosabbak, mint amilyenek a régebbiek voltak.

Tőled függ!

A közlekedési szabályok betartása nagyon fontos, mert ez a feltétele annak, hogy csökkenjen a közlekedési balesetek száma.



A magyarországi autópályán a megengedett legnagyobb sebesség 130 km/h. Legfeljebb hány autó halad át percenként a két sávban, ha mindenki szabályosan közlekedik, és betartja a minimális követési távolságot? (Az autók átlagos hosszát tekintjük 5 méternek.)

A közlekedéssel kapcsolatos biztonsági eszközök két csoportra oszthatók: aktív és passzív védelmet biztosítóakra. Az aktív biztonsági módszerek az ütközések elkerülését segítik. A passzív biztonsági megoldások a bekövetkezett ütközés miatti sérülések súlyosságát csökkentik.

Követési távolság

A közlekedés során nagyon fontos, hogy betartsuk a helyes követési távolságot. A követési távolságra azért van szükség, mert amikor az előttünk haladó autó fékezni kezd, mi nem tudjuk ugyanabban a pillanatban elkezdni a fékezést. Az ember átlagos reakcióideje 0,7 másodperc, amihez még hozzáadódik az úgynevezett fékfelfutási (fékkésedelmi) idő (0,2 s), ami azt jelenti, hogy a fékpedál megérintése és a hatásos fékezés között ennyi idő telik el. Ez összesen 0,9 s, amit egy másodpercre szoktak kerekíteni. Tehát mi nagyjából egy másodperccel később kezdünk fékezni, mint az előttünk haladó autó, ezért **a minimális követési távolság az általunk egy másodperc alatt megtett út**. Ha például a gépkocsink 72 km/h = 20 m/s sebességgel halad, akkor a minimális követési távolság 20 m. Biztonsági okokból (hiszen vezetés közben sokszor lankad a figyelem) az **ajánlott követési távolság** megegyezik a 2 másodperc alatt általunk megtett úttal.

Féktávolság

Vezetés közben legtöbbször lassító fékezéseket végzünk. A személy- és a va-gyonbiztonság megóvása érdekében viszont időnként rákényszerülünk a hirtelen fékezésre. A fékezés az egyik legveszélyesebb vezetéstechnikai feladat. A következő oldali ábra segítségével elemezhetjük a fékezés folyamatát! Vegyük észre, hogy **a féktávolság nem azonos a követési távolsággal!**

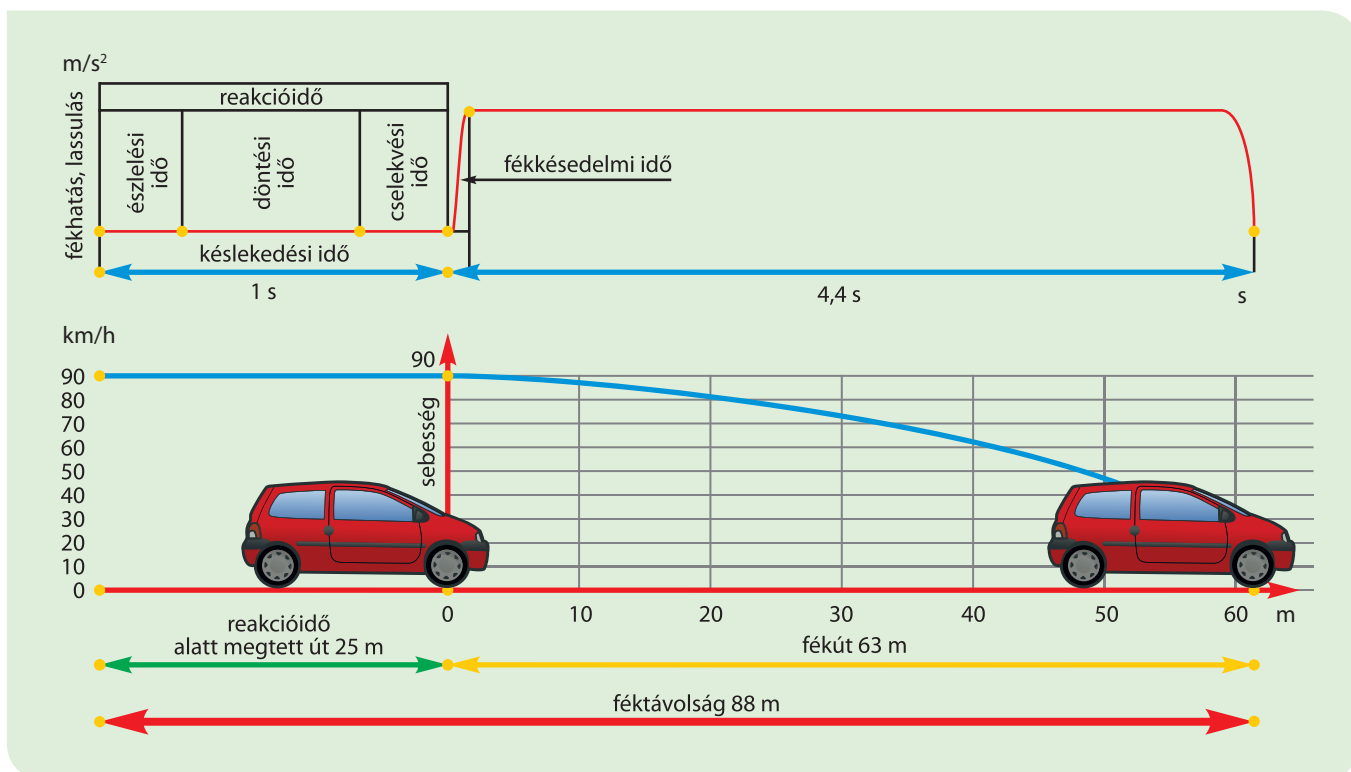
A fékezés helyes folyamata:

- az akadály észlelése (észlelési idő),
- a fékpedál megérintése (döntési idő),
- a fékpedál megnyomása/vészfékezés (cselekvési idő),
- a fékbetét és a fékdob, illetve a féktárcsa közötti távolság megtételéhez szükséges idő (fékkésedelmi idő).

A felsoroltakat együttesen **reakcióidőnek** hívjuk, ami nagyjából 1 másodperc. A reakcióidő alatt az autó még egyenletesen halad.

- A fékezés utolsó fázisa a **fékút**. Ekkor a kerekek fékezett állapotban vannak, az autó lassul. Nagy sebességek esetén ez a távolság a fázisok között a leghosszabb.

Az akadály észlelésétől a megállásig megtett út a féktávolság.



■ A fékezés folyamata. Az akadály észlelésétől a megállásig megtett út a féktávolság

A fékezés két tipikus hibája:

- A fékezés megkezdését nem a fékpedál, hanem a kuplungpedál (tengelykapcsoló) megnyomásával kezdjük. Ez a rossz lábtartásnak köszönhető. Így jelentősen megnő a reakcióidő és a féktávolság is.
- Helyes pedálsorrendet használunk, de nem nyomjuk a fékpedált maximális erővel a fékezés első pillanatától kezdve. Az ilyen fékezési hiba kiküszöbölésére fejlesztették ki a „fékasszisztent”, más néven pánikfékrendszert.



SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Amikor csak a sárga lámpa világít, akkor a forgalom iránya hamarosan változni fog, tilos jelzés következik. A biztonságos közlekedés érdekében legalább milyen időtartamú legyen a sárga jelzés lakott területen, ahol a megengedett legnagyobb sebesség 50 km/h?

Használd az alábbi fékezési táblázatot! Tegyük fel, hogy a kereszteződés 40 méter széles!

Fékezési táblázat. Néhány konkrét adat különböző sebességről fékezve

Sebesség (km/h)	Reakcióút (m)	Fékút (m)	Féktávolság 5,8 m/s ² lassulás esetén (m)	Ajánlott követési távolság (m)
20	5,6	4,6	10,2	11
50	14	22	36	28
90	25	63	88	50
110	30	92	122	60
130	36	126	162	72

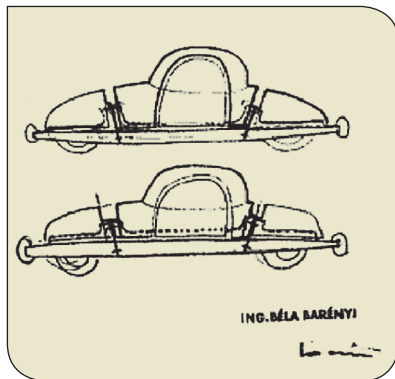
Megoldás: A lakott területen megengedett legnagyobb sebességhez, az 50 km/h-hoz 36 méteres féktávolság tartozik. Ha a gépkocsi vezetője ennél messzebből észleli a sárga jelzést, akkor meg fog állni a kereszteződés előtt. Ha a lámpától csak 36 méterre van vagy közelebb, akkor fékezés nélkül halad át a kereszteződésen. Ekkor tehát $36 \text{ m} + 40 \text{ m} = 76 \text{ m}$ utat tesz meg $50 \text{ km/h} = 13,9 \text{ m/s}$ sebességgel, amihez $76 \text{ m} / 13,9 \text{ m/s} = 5,5 \text{ s}$ -ra van szüksége. Ha tehát azt akarjuk, hogy a szabályosan közlekedő vezetők még a sárga jelzés vége előtt elhagyják a 40 m széles kereszteződést, akkor a sárga jelzést $5,5$ másodperc hosszúságúra kell beállítani. Ha a forgalomirányítók megelégednek azzal, hogy a sárga jelzés végére a szabályosan közlekedők legalább a kereszteződés felén legyenek túl, akkor elegendő a sárgát $56 \text{ m} / 13,9 \text{ m/s} = 4 \text{ s}$ hosszúságúra állítani.

Hallottál róla?

Az apai ágon magyar Barényi Béla (1907–1997), a biztonságos autózás megalapozója Bécsben végezte el a műszaki egyetemet. Az 1920-as évek végén kezdett el dolgozni az autógyártásban. A Műszaki Egyetem után az Austro-Daimlernél, majd az Adlernél dolgozott. 1939-ben jelentkezett a Mercedes-Benzhez, ahol a meghallgatáson a következőt mondta:

„Uraim, önök mindent rosszul csinálnak!” Egyből felvették. Megalapította, majd 1972-ig irányította a gyár biztonságtechnikai részlegét. Barényi részt vett a „bogárhátú” tervezésében: tömegekben gyártható autó, kétajtós kocsiszerkezet, hátsó motor, váltó és meghajtás.

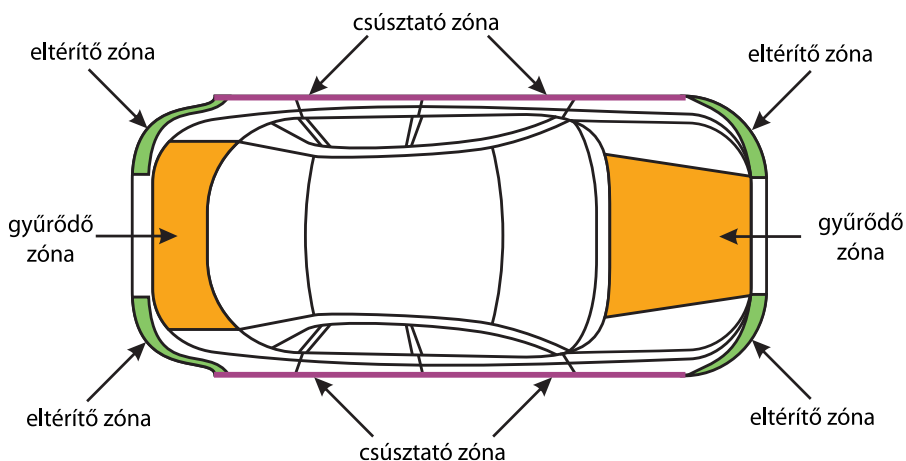
Több mint 2500 újítása közül a legfontosabbak: biztonsági kormányoszlop, gyűrődési zóna, biztonsági utaselejtő, párnázott műszerfal, letörő visszapillantó tükör, megerősített ülések, biztonsági zárszerkezet, töréscsukló.



- 1951-ben szabadalmaztatta az első és hátsó gyűrődési zónát mint passzív biztonsági módszert. Miért növeli a biztonságot a gyűrődési zóna?

Személygépkocsik biztonsági berendezései

A személyautók passzív biztonsági rendszerébe tartozik az első és hátsó gyűrődési, eltérítő, illetve csúsztató zóna, biztonsági öv, övfeszítő, légszák, fűgőnylégzsák.



- Az eltérítő és csúsztató zóna használata milyen újabb veszéllyel jár?

Az autózást kényelmessé teszik a következő eszközök: tempomat, tolatóradar, távolságtartó radar. Járj utána, milyen célt szolgálnak ezek az eszközök!



- Losonczy István: *Körforgalom*
A hagyományos útkereszteződésekben történik a legtöbb baleset. A körforgalom biztonságosabbá teszi a forgalmat. Miért?

Hallottál róla?

A vezető vészfékezéskor, ha el is „találja” a fékpedált (a kuplung helyett), nagyon sokszor túl gyengén nyomja. Először a Mercedes-cég használta a „fékasszisztenszt” (pánikfékrendszert). Az autóban egy speciális elektronika azt az időtartamot érzékeli, ami a vezető lábának a gázpedálról való levételétől a fékpedál megnyomásáig telik el. Ha ez az időtartam kicsi, akkor a rendszer a műveletet vészfékezésnek tekinti, és maximális fékhatást vezérel a kerekekre attól függetlenül, hogy a vezető milyen erővel nyomta a fékpedált. Napjainkban ez a biztonsági rendszer egyre több kisautóban is megjelenik.

NE FELEDD!

A közlekedés szabályait mindig be kell tartani. A biztonságos közlekedésnek vannak aktív előírásai (követési távolság, sebességhatár, közlekedési szabályok betartása) és passzív megoldásai (gyűrődési, eltérítő, csúsztató zónák, biztonsági öv, övfeszítő, légszák).

A technikai újítások biztonságosabbá, olcsóbbá és kényelmessé teszik a közlekedést.

A közlekedésbiztonsági szabályok, eszközök működésének háttérében a fizika törvényei húzódnak meg.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen tényezők határozzák meg, befolyásolják a reakcióidő hosszát?
2. Milyen tényezők határozzák meg a személyautó féktávolságát?
3. Két várost 30 km hosszú országút köt össze. Hány perccel hamarabb érünk célba, ha a megengedett 90 km/h helyett 100 km/h átlagsebességgel haladunk? Megéri?
4. Mekkora sebességgel mozoghatott az autó, ha a reakcióidő alatt megtett út nagyobb, mint a fékút? Mekkora sebességgel mozoghatott az autó, ha a fékút nagyobb, mint a reakcióidő alatt megtett út?
5. Ködös időben a látótávolság 40 méterre is lecsökkenhet. A fékezési táblázatot használva keresd meg azt a sebességet, amivel még biztonságosan lehet haladni az úton!
6. Mit gondolsz, melyik a takarékos közlekedés: egyenletesen haladni vagy maximálisan felgyorsulni, azután vészfékezni? Miért? Sorolj fel ötleteket olyan vezetési technikákra, amelyek csökkentik az autó fogyasztását! Miért fontos az energiatakarékos közlekedés?
7. Miért biztonságosabbak azok az autók, amelyek nagy méretű gyűrődési zónával, illetve légzsákkal rendelkeznek?
8. Miért nagyon fontos, hogy az autókban minden utas használja a biztonsági övet? Keresd meg az interneten, hogy Magyarországon mióta kötelező autókban a biztonsági öv használata! Járj utána annak is, hogy ennek hatására hogyan változott a halálos közúti balesetek száma!
9. Sorolj fel érveket amellet, hogy miért ne lépje túl egy autós a sebességkorlátozást!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy magyarországi nagyvárosban a lakók birtokában 50 ezer személyautó van. A városból 5 út vezet ki. Végezz számításokat arra vonatkozóan, hogy ügyes szervezéssel hány óra alatt hagynák el az emberek autókkal a várost, a sebességkorlátozás és a követési távolság betartása mellett!
2. Vészfékezéskor a rossz pedálhasználat miatt a reakcióidő kb. a duplájára nő. A fékezési táblázat használatával határozzuk meg, mekkora lesz most a féktávolság lakott területen!
3. Egy autó 50 km/h sebességgel ütközik a falnak. 1,5 méteres deformáció keletkezik a járműben. Becsüljük meg, mennyi ideig tartott az ütközés! Mekkora az átlagos lassulás?
4. Egy személyautó 60 km/h sebességgel halad. Egy másodperces reakcióidőt és 6 m/s²-es lassulást feltételezve, mekkora a féktávolsága?
5. Egy versenyautó 8 m/s² gyorsulásra és 12 m/s²-es vészfékezésre képes. A tesztpálya teljes hossza 540 méter. Mekkora a legrövidebb idő, ami alatt végigmegy az álló helyzetből induló, majd a tesztpálya végén megálló autó a pályán az elejétől a végéig? Mekkora a mozgás során a legnagyobb sebessége?

Hallottál róla?

- A ló vontatta járművek időszakából (XV. század), a Komárom-Esztergom megyei Kocs község nevéből származik a kocs szavunk (a szó angolul „coach”, franciául „coche”, németül „Kutsche”).
- Felmérések szerint a vezetők csaknem 90%-a nem tud helyesen fékezni.
- Az első piros-sárga-zöld jelzőlámpák 1919-ben jelentek meg Detroitban.
- A világon minden hatodik másodpercben meghal egy ember közúti balesetben. Magyarországon a statisztika alapján 15 óránként hal meg valaki így.
- A társadalomban általánosan elterjedt vélemény, hogy a női autósok több hibát követnek el vezetés közben, mint a férfiak. A felmérések viszont azt mutatják, hogy a két nem vezetési kultúrája közel azonos.
- A biztonsági öv kötelezővé tétele felére csökkentette a halálos közúti balesetek számát.
- A XIX. század végén a nehezen fékező gőzgépek miatt a vonatok és az autók előtt zászlós ember, majd a sebesség növekedésével zászlós, kürtös lovas haladt.

Tőled függ!

A fémsíneken közlekedő, fémkerékű, nagy tömegű járművek: vonatok, villamosok fékútja sokkal hosszabb, mint az autóké, mert nem képesek olyan mértékben lassulni, mint a jól tapadó gumike-reken futó autók. Nagyon fontos, hogy piros jelzésnél sose hajtunk be a vasúti keresztvezetőbe!

4. | Eső testek



■ Galilei és az ejtési kísérlet legenda szerinti helyszíne



Milyen gyorsan esnek le a testek?

A testek esése régóta foglalkoztatta a tudósokat, például Arisztotelészt, aki közel két és félezer éve leírta, hogy a nehezebb testek gyorsabban esnek, mint a könnyebbek. Ha elengedünk egy acélgolyót és egy papírlapot, akkor az acélgolyó gyorsan leesik, függőleges egyenes mentén mozog, a papírlap viszont lassabban éri el a talajt, és mozgása közben szabálytalanul és kiszámíthatatlanul ide-oda lengedezik. Ha egy héliummal töltött léggömböt engedünk el, az viszont nem esik le, hanem felszáll. Rájöhetünk arra, hogy a levegő hatással van a testek mozgására. Amikor Galilei több mint négyszáz éve erről gondolkodott, akkor még nem tudtak légüres teret létrehozni (sőt abban hittek, hogy képtelenség a Földön légüres teret, vagyis vákuumot csinálni, mert ezt a természet nem engedi a „horror vacui”, az üres terektől való félelem miatt). Galilei kísérleti vizsgálatait (a legenda szerint a pisai ferde toronyból azonos méretű fa- és vasgolyókat dobott le) és elméleti megfontolásait mégis arra vezették, hogy a testek tömegüktől függetlenül egyforma gyorsan esnek.

Amióta sikerül egyre jobb vákuumot létrehozni, a kísérletek nagy pontossággal azt igazolják, hogy légüres térben minden test ugyanakkora gyorsulással esik. 1971-ben az Apollo-15 Holdra szállásakor a számos tudományos vizsgálat közben az űrhajósok (kissé megváltoztatva) megismételték Galilei ejtési kísérletét. David Scott parancsnok egy geológiai kalapácsot és egy sólyomtollat ejtett el ugyanabban a pillanatban, melyek egyszerre estek le a Hold felszínére. A Holdnak nincs légköre, ami befolyásolhatta volna az eső testek mozgását. 1990-ben adták át a Brémai Egyetem 146 méter magas ejtőtornyát, amelyben meglehetősen jó vákuumot tudnak létrehozni. A szivattyúk másfél óra alatt a torony ejtőcsövében lévő levegő 99,999%-át eltávolítják, így az ejtési kísérletek közben lényegében nem vehető észre a még bent maradt kevés levegő hatása.

A testek azért esnek le, mert vonzza őket a Föld. Ezt a hatást nehézkedésnek, **tömegvonzásnak**, idegen szóval **gravitációnak** hívjuk. A Föld egy adott helyén, légüres térben bármely test (akármilyen anyagból van, akármekkora tömegű) ugyanakkora gyorsulással esik. Ezt a gyorsulást **nehézségi gyorsulásnak** nevezzük. Jele: g .

A testek azért esnek le, mert vonzza őket a Föld. Ezt a hatást nehézkedésnek, **tömegvonzásnak**, idegen szóval **gravitációnak** hívjuk. A Föld egy adott helyén, légüres térben bármely test (akármilyen anyagból van, akármekkora tömegű) ugyanakkora gyorsulással esik. Ezt a gyorsulást **nehézségi gyorsulásnak** nevezzük. Jele: g .

Értéke Magyarországon $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, amit számítási feladatokban gyakran $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ -tel közelítünk.



■ A Brémai Egyetem ejtőtornya. Milyen magasból esik le az a test a toronyban, ami 4,5 másodpercig esik szabadon?



■ A Hold felszínére ejtett toll és kalapács. Mennyi idő alatt estek le 1,5 m magasról? (A Hold felszínén a nehézségi gyorsulás mindössze egyhatoda a földi értéknek.)

Szabadesés

A testeknek azt a mozgását, amelyet csak a Föld vonzása okoz, **szabadesésnek** nevezünk. A szabadesés elnevezést szűkebb és tágabb értelemben is használhatjuk. Legsűkebb értelemben az a szabadesés, ha a földfelszín közelében, nyugalmi állapotból elengedünk egy testet, és a test függőleges egyenes mentén leesik. Olyan testek ejtésekor mondhatjuk azt, hogy a levegő elhanyagolható mértékben befolyásolja a mozgásukat, melyek nagy sűrűségűek. Ilyenek például az acél- vagy az ólomgolyók. Ha ezeket az asztal felett elengedjük, akkor ezek egyszerre koppannak az asztalon.

Tágabb értelemben akkor is szabadesésről beszélünk, ha a testet nem nyugalomból engedjük el, hanem eldobjuk, kezdősebességet adunk neki. Az ilyen szabadeséseket **hajításoknak** hívjuk. A kezdősebesség irányától függően beszélhetünk felfelé és lefelé történő függőleges hajításról, vízszintes, illetve ferde hajításokról is. Függőleges hajítások esetén a testek egyenes vonalban mozognak, a többi esetben görbült pályán. Ha az elhajított testekre a levegő nem hat számottevő erővel, akkor bármilyen is az elhajított testek pályája, mozgásuk közben **minden pillanatban ugyanakkora a gyorsulásuk**, ami éppen g , a nehézségi gyorsulás.

MÉRD MEG!

Emeleti ablakból ejtsünk le egy kisméretű, nehéz testet (pl. egy kavicsot vagy egy fémgolyót)! Azt feltétlenül nézd meg, hogy senki ne legyen alatta! Mérjük meg, mennyi idő alatt ér földet az elejtett test! Végezzünk több mérést, és a mért értékeket foglaljuk ilyen táblázatba!

	esési idő (s)
t_1	
t_2	
t_3	
t_4	
t_5	

A mért értékekből számoljunk átlagot!

$$t_{\text{átlag}} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5} = \dots$$

Számoljuk ki, milyen magasról esett a test!

$$h = \frac{g}{2} t^2$$

Hogyan tudnánk a mérésünk helyességét ellenőrizni?

Akármilyen test alkalmas erre a mérésre?

Miért nem célszerű túlságosan alacsonyról vagy túlságosan magasról végezni a mérést?

Hogyan volt régen?

Ahogy az előző oldalon említettük, Galilei valószínűleg sosem végzett ejtő kísérleteket a pisai ferde toronyból. A szabadesés törvényére egyre meredekebb lejtőkön legördülő golyók mozgásának vizsgálatából következtetett. Pontos óra hiányában az eltelt időt egy edényből kifolyt víz mennyiségével mérte.



■ Adjuk meg a Galilei-lejtő párhuzamos pályahosszainak arányait! A lejtőn négy párhuzamos vályú található, ezekben gurulnak le az egyszerre elengedett golyók. A lejtő teljes hossza kb. 160 cm

FIGYELD MEG!

Készítsünk reakcióidő-mérőt!

Először a $h = \frac{g}{2} t^2$ összefüggés segítségével tölts ki a füzetedben egy ilyen táblázatot!

Esési idő (s)	Út (m) $h = \frac{g}{2} t^2$
0,13	
0,15	
0,17	
0,19	
0,20	
0,21	
0,22	
0,23	
0,24	
0,25	
0,26	
0,27	

Egy kb. 40 cm hosszú pálcán (vonalzón), annak egyik végétől mérve jelöljük az imént kiszámolt távolságokat, és írjuk mellé a hozzá tartozó időadatokat! El is készült a reakcióidő-mérőnk. Hogyan használjuk? Tartsuk függőlegesen! A társunk az egyik kezét, üres marokkal, a pálcát alsó végénél helyezi el, és amikor észleli, hogy az eszközt elejtettük, neki meg kell fognia. Ahol megragadta a pálcát, ott olvashatjuk le a reakcióidejét.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: A 20 méter magasról ejtett test mennyi idő alatt és mekkora sebességgel érkezik a talajra?

Megoldás:

Adatok: $h = 20 \text{ m}$, $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

A szabadon eső test mozgására az $s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$ összefüggés érvényes.

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20 \text{ m}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 2 \text{ s}$$

A szabadon eső test sebessége:

$$v(t = 2 \text{ s}) = g \cdot t = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2 \text{ s} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

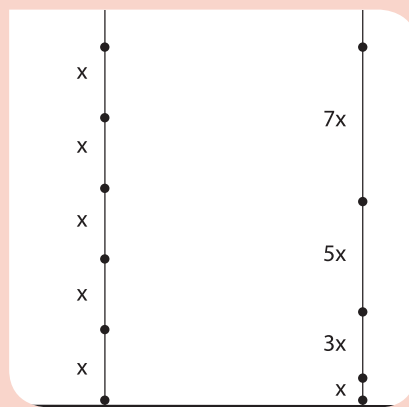
Hallottál róla?

Jelenleg is több száz mesterséges hold (műhold) kering a Föld körül a világűrben. Itt olyan ritka a levegő, hogy ennek hatása szinte észrevehetetlen, jó közelítéssel a világűrben légüres tér van. Azonban a gravitáció a Föld felszíne felett néhány száz, vagy akár ezer kilométerre is nem sokkal kisebb, mint a földfelszínen. A szabadesés legtágabb értelmezése szerint a mesterséges holdak mozgása is szabadesésnek tekinthető, sőt akár a Hold Föld körüli keringését is szabadesésnek nevezhetjük, mert ez is a Föld tömegvonzásának a hatására következik be. Ezért mondhatjuk azt, hogy a Hold körbeesi a Földet. Igaz ugyan, hogy a Hold olyan messze van a Földtől, hogy a Hold gyorsulása a földfelszíni nehézségi gyorsulásnak mindössze kb. 3600-ad része. Erről fogunk tanulni a 23. leckében.

KÍSÉRLETEZZ!

A szabadesés vizsgálatára készítsünk kétféle ejtőzsinórt! Az első zsinóron rögzített golyók (vagy csavaranyák) egyenletesen helyezkednek el. A másikon a szomszédos golyók távolságai úgy aránylanak egymáshoz, mint a páratlan számok 1-től kezdődően. Mindkét zsinór alsó végén legyen egy-egy golyó!

Az ejtőzsinórokat emeljük fel függőleges helyzetbe, majd engedjük el őket! Ekkor a golyók mozgása szabadesés. Figyeljük meg, hogyan követik egymást a golyók padlóra érkezését jelző koppanások!



■ Készíts otthon te is ejtőzsinórt! A siker titka a hosszú fonál!

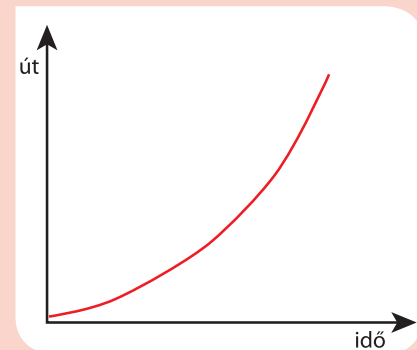
Az első esetben (a szomszédos golyók távolsága azonos): azt tapasztaljuk, hogy a koppanások egyre szaporábban követik egymást. Ennek az a magyarázata, hogy a szabadon eső test sebessége folyamatosan nő.

A második esetben (a szomszédos golyók távolságainak aránya olyan, mint a páratlan számok 1-től kezdődően): egyenlő időközönként következnek be a koppanások. Vizsgáljuk meg a szabadon eső test által megtett út és a közben eltelt idő kapcsolatát!

t, eltelt idő („kopp”)	1	2	3	4
s, megtett út (x, hosszegység)	1	1 + 3 = 4	1 + 3 + 5 = 9	1 + 3 + 5 + 7 = 16

Az egyenes vonalú egyenletesen változó mozgás vizsgálatok találkoztunk a négyzetes úttörvénnyel.

Elmondható, hogy a nyugalmi helyzetből elengedett, szabadon eső test mozgása egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás.



■ A szabadon eső test út-idő grafikonjára igaz a négyzetes úttörvény: $s \sim t^2$

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy ház ötödik emeletén lévő ablakának párkányából, 15 méter magasságból leesik egy cserép. Mennyi idő múlva, mekkora sebességgel csapódik a földre?
2. Egy segélycsomag 5 km/h sebességgel érkezik a talajra. Milyen magasról kellene ernyő nélkül ejteni a csomagot, hogy ugyanezzel a sebességgel érjen földet?
3. Vázlatosan rajzold meg egy sportoló gyorsulás-idő grafikonját magasugrás során! Hogyan módosulna ez a grafikon, ha az ugrás a Holdon történt volna?
4. 2004-ben egy katapultot építettek be a Brémai Egyetem ejtőtornyába, ami 110 méter magasra lövi ki azt a kapszulát, amiben úgynevezett mikrogravitációs kísérleteket végeznek. Hány másodpercig repül a kapszula a kilövéstől a visszaérkezésig a torony vákuumozott ejtőcsövében?
5. Egy fenyőfa oldalra kilógó ágáról egy toboz leesik. Épp videófelvételt készítettünk, így megtudtuk, hogy 1,6 másodpercig zuhant a termés. Milyen magról esett a toboz? Mekkora sebességgel csapódott a talajra?
6. Nézz utána Galileo Galilei életének, munkásságának!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mennyi idő alatt esik le egy elejtett kalapács 1,2 méter magasságból a Földön, illetve a Holdon? (A Holdon a nehézségi gyorsulás értéke hatoda a földi értéknek.)
2. A legenda szerint Galilei a pisai ferde toronyból ejtett ki azonos méretű fa-, illetve vasgolyót. Ha elvégeznénk ezt a kísérletet, mit tapasztalnánk? Miért?
3. Milyen irányba mutat az elhajított test gyorsulása, ha a test kezdősebessége
 - a) függőlegesen felfelé,
 - b) függőlegesen lefelé,
 - c) vízszintes irányba mutat?
4. A bungee jumpinggal (ejtsd: bándzsi dzsámping; extrém sport, kötélugrás) mélybe ugró ember sebessége az egyik pontban 4 m/s, míg a másik pontban 6 m/s. Mennyi idő alatt ér az egyik pontból a másikba? Mekkora a két pont közötti távolság?
5. Toronyugrás során a sportolók általában 10 méter magasságból ugranak. Legalább mennyi idő áll rendelkezésre a gyakorlat bemutatására? Legalább mekkora sebességgel érkezik a sportoló a medence vízébe? Hogyan növelhetők az előbb kapott értékek?
6. A NASA ohiói ejtőcsövében 5,17 másodpercig szabadon esnek a mérőkapszulák, majd 65 g-vel lassulnak a fékező közegben.
 - a) Mekkora a mérőkapszula legnagyobb sebessége?
 - b) Mennyi a lassulási idő?

NE FELEDD!

Egy test mozgását, melynek oka kizárólag a Föld vonzása, szabad-esésnek nevezzük.

A szabadon eső test gyorsulása a nehézségi gyorsulás, értéke házáinkban:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2.$$

Az álló helyzetből szabadon eső test sebessége $v(t) = g \cdot t$, a megtett út $s(t) = \frac{1}{2} g \cdot t^2$

Hallottál róla?

A Föld felszínén az Északi- és a Déli-sark közelében a legnagyobb a nehézségi gyorsulás, értéke ott $9,83 \text{ m/s}^2$. A legkisebb az Egyenlítő mentén, ahol $9,78 \text{ m/s}^2$ értékű. Az eltérés kétharmad részben a Föld tengely körüli forgásából származik, egyharmad részben pedig a Föld lapultságából. A Föld kissé lapult, nem pontosan gömb alakú, ezért a sarkokon a földfelszín közelebb van a Föld középpontjához, ami nagyobb nehézségi gyorsulást eredményez.

A nehézségi gyorsulás függ a tengerszint feletti magasságtól is, azonban csak kismértékben. Például a nagy távolságokra repülő utasszállító repülőgépek általában 10 km magasságban haladnak, ahol mindössze három ezrelékkal kisebb a nehézségi gyorsulás, mint a földfelszínén. A Földdel együtt forgó, úgynevezett geostacionárius pályákon keringő távközlési, meteorológiai és műsorszóró műholdak a földfelszín felett 35 800 km-es magasságban, az Egyenlítő síkjában fekvő körön helyezkednek el. Itt a nehézségi gyorsulás már csak 2,3%-a a felszíni g értéknek.

Ha a felszín alatt kis sűrűségű anyag, például víz, földgáz vagy kőolaj helyezkedik el, akkor ott a nehézségi gyorsulás kissé kisebb, ha viszont igen nehéz kőzetek vannak ott, akkor a g értéke kissé nagyobb.

Ezzel a paplanernyővel

éppen ketten ugranak, az oktató és egy utas. Hogyan befolyásolja a mozgást az, ha egy ember helyett kettőt szállít az ejtőernyő?



Hogyan biztosítják azt,

hogy a hullámvasút kocsija mindig a pályán maradjon, és az utasok ne essenek ki a kocsikból?



A gyorskorcsolya

teljesen más alakú, mint a műkorcsolya vagy a hoki korcsolya. Milyen fizikai elvekkel magyarázható, hogy az ilyen furcsa, igen hosszú korcsolyákkal gyorsabban lehet száguldani?



II. A KÖZLEKEDÉS ÉS A SPORTOLÁS FIZIKÁJA



Miért nem középen

*haladnak a versenyautók?
Hol könnyebb előzni,
kanyarban vagy egyenesben?
Miért?*

5. | Gyorsítsuk az autót!

Az utóbbi évtizedekben igencsak megnőtt az autók gyorsulása és fékezés közbeni lassulása. Sokszor a gyalogosok nem is tudják elképzelni, hogy a távolból nagy sebességgel közeledő autó meg tud állni előttük, ezért még a zebrán sem merik elkezdni az átkelést. A fordítottja is gyakori; a távoli autó pillanatok alatt a közelünkbe ér. A felgyorsítás és a lefékezés nemcsak az autók motorjától, fékberendezésétől függ, hanem a gumibroncsok és a talaj közötti súrlódástól is. Látni fogjuk, hogy a gépkocsik sebességváltozása-kor a főszerep a súrlódásé.

Sokak által kedvelt, szórakoztató játék a léghoki. A vízszintesen beállított asztalra helyezett korong nyugalomban marad. Ha a korongot ellökjük, akkor az megtartja mozgásállapotát, azaz sebességvektora állandó.



■ Sok játék igazán szépen szemlélteti a fizika törvényeit. Keress ilyeneket!

A tehetetlenség törvénye

Newton I. törvénye (a tehetetlenség törvénye, Galilei-elv): **Vannak olyan vonatkoztatási rendszerek, amelyekben minden test nyugalomban marad vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végez mindaddig, amíg ennek megváltoztatására más test nem kényszeríti.**

A vonatkoztatási rendszerek (koordináta-rendszerek) közül azokat, amelyekben teljesül a tehetetlenség törvénye, inerciarendszereknek nevezzük.

Az inercia szó jelentése: tehetetlenség. Newton első törvényét azért hívjuk a tehetetlenség törvényének, mert a testek saját maguk nem tudják megváltoztatni mozgásállapotukat. A mozgásállapot megváltoztatásához mindig valamilyen más testtel történő kölcsönhatás szükséges. (Az inerciarendszer magyar megfelelője a tehetetlenségi koordináta-rendszer, de ezt az elnevezést nem szoktuk használni.)

Rövid idejű és nem túl nagy sebességű mozgás vizsgálatokor a Földhöz rögzített vonatkoztatási rendszert tekinthetjük inerciarendszernek.

A gyorsuló vagy fékező autóbusz belső tere nem inerciarendszer. Ha például a fékező buszban nem kapaszkodunk (**nem hat ránk vízszintes erő**), akkor a buszhoz képest előreesünk (**gyorsulunk**). Ha kapaszkodunk (**vízszintes erő hat ránk**), a buszhoz képest nyugalomban maradunk (**nem gyorsulunk**).

Keressünk még példát és ellenpéldát inerciarendszerekre!

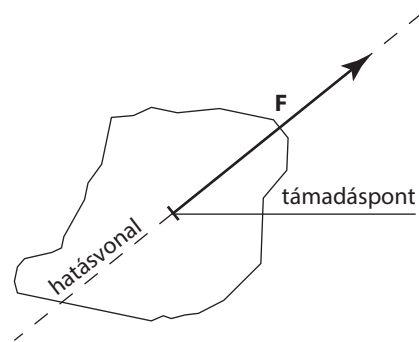
A dinamika alaptörvénye

A testek közötti kölcsönhatást az erő fogalmával írhatjuk le. Az erőnek lehet alakváltoztató, illetve mozgásállapot-(sebesség-)változtató hatása.

Az erő vektormennyiség, jele: \vec{F}



■ A gyorsuló vagy fékező autóbusz belső tere nem inerciarendszer



■ Az erő vektormennyiség: nagysága, iránya, támadáspontja és hatásvonala van

Az erők alakváltoztató hatását használjuk ki, amikor a rugós erőmérővel dolgozunk.

Newton II. törvénye: **Bármely test a rá ható erő hatására megváltoztatja mozgásállapotát, gyorsul az erő irányában. A gyorsulás nagysága egyenesen arányos az erő nagyságával, és fordítottan arányos a test tömegével.**

Két test közül annak nagyobb a tömege, amelynek azonos erőhatás mellett kisebb mértékben változik meg a sebessége. Minél nagyobb tömegű egy test, annál nehezebb megváltoztatni a mozgásállapotát.

A tömeg jele m , a nemzetközileg elfogadott SI-mértérendszerben a tömeg alapegysége a kilogramm (kg), ami definíció szerint a Párizsban őrzött etalon tömege. 1 liter, vagyis 1 dm^3 4°C -os tiszta víz tömege éppen 1 kilogramm.

Newton második törvényét matematikai alakban így írhatjuk le: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$

Ezt az összefüggést szokás szorzat alakban is megadni:

Erő = tömeg · gyorsulás, képlettel: $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

Newton második törvényét a dinamika alaptörvényének hívjuk, mert ez az összefüggés a mechanika legfontosabb törvénye.

Newton második törvényének az utóbbi alakja megadja az erő SI-mértékegységét, amit newtonnak nevezünk és N-nel jelölünk:

$$1 \text{ N (newton)} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kgm/s}^2$$

A kölcsönhatás törvénye

Newton III. törvénye (hatás-ellenhatás, erő-ellenerő): Az erőhatások mindig kölcsönhatásként jelennek meg. Ezért két test között a fellépő erőhatás mindig kölcsönös, **a két testnek egymásra gyakorolt kölcsönhatása mindig egyenlő nagyságú és ellentétes irányú.**

Amikor az autók gyorsulnak, kölcsönhatás jön létre a kerekek és a talaj között. Azért kell jó minőségű gumiabroncsokkal közlekednünk, hogy erős legyen a tapadás a kerékgumi és a talaj között. Ha a gépkocsi tükörjégre kerül, akkor gyakorlatilag megszűnik a súrlódási kölcsönhatása az úttal, és a jármű irányíthatatlanná válik.

Ha az autó előrefelé gyorsul, akkor az ábrán látható módon a talaj nyomja előre a gépkocsit, a kerekek pedig hátrafelé nyomják a talajt. Poros, kavicsos úton ezért fordul elő, hogy a gyorsuló autó hátrafelé szórja a port és az apróbb kavicsokat. Fékezéskor minden éppen fordítva történik: csúszásmentes esetben a tapadó súrlódás fékezi a gépkocsit, ezért a kerekek előrefelé nyomják a talajt. Lámás kereszteződések előtt ez a hatás okozhatja az aszfalt felgyűrődését.

Az erőhatások függetlenségének elve

Newton IV. törvénye (erőhatások függetlenségének elve, szuperpozíció elve): **Ha egy testre egyidejűleg több erő hat, akkor ezek együttes hatása megegyezik a vektori eredőjük hatásával.**

Ha egy testre egyidejűleg több erő hat, akkor Newton II. törvényének, azaz a dinamika alapegyenletének a következő megfogalmazást adhatjuk: **A test gyorsulása egyenesen arányos a testre ható erők eredőjével és fordítottan arányos a test tömegével:**

$$\text{Gyorsulás} = \frac{\text{eredő erő}}{\text{tömeg}}$$



■ „Sokat nyom a latban.” A képen egy egymásba rakható latsorozat látszik felülnézetből



■ Az \vec{F}_1 erőt a talaj fejt ki a kerékre, az \vec{F}_2 erőt pedig a kerék a talajra. $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

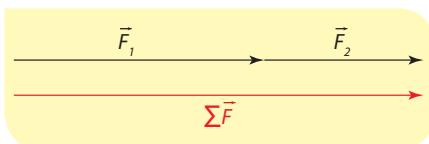


■ Hogyan keletkezik a porfelhő az autó mögött?

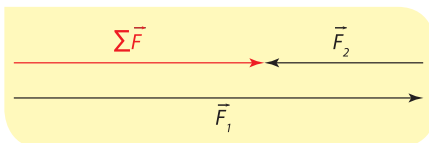
SZÁMOLD KI!

Maximálisan mekkora nagyságú lehet 5 N és 3 N erő összege? Minimálisan milyen nagy lehet 5 N és 3 N erő összege?

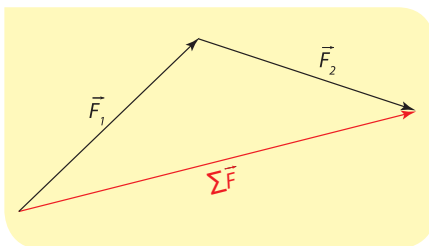
Lehet-e 4 N nagyságú a két erő összege?



- Az összeadandó erővektorok egyirányúak



- Az összeadandó erővektorok ellentétes irányúak



- Az összeadandó erővektorok tetszőleges szöget zárnak be egymással

A dinamika alapegyenletét a legtöbbször ebben a formában adjuk meg:

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

vagyis **a testre ható erők eredője egyenlő a test tömegének és a gyorsulásának szorzatával.**

A **szuperpozíció** azt jelenti, hogy lineáris függvényekkel leírható fizikai törvények esetén az egyidejűleg jelen lévő (összeadódó) fizikai mennyiségek összeadódnak, a skalármennyiségek skalárként, a vektormennyiségek vektorként. A skalármennyiségek esetén ez természetes, hiszen ha a kosárba két kiló krumpli mellé 1 kiló almát teszünk, akkor a kosárban összesen 3 kilogramm lesz a tömeg. Az erő vektormennyiség, vektorként adódik össze. Akinek ez természetes, az nem is szokta kimondani Newton IV. törvényét, hanem helyette az általános szuperpozíciót tekinti mérvadónak.

A sűrűség

A homogén (egynemű) anyagok tömege egyenesen arányos a térfogatukkal ($m \sim V$). A test tömegének és térfogatának hányadosaként megkapjuk a test sűrűségét:

$$\text{Sűrűség} = \frac{\text{tömeg}}{\text{térfogat}}$$

$$\text{képlettel: } \rho = \frac{m}{V}$$

$$\text{SI-mértékegysége: } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A sűrűség számértéke a térfogategységben lévő anyag tömegét adja meg.



- A rugós erőmérőre 1, 2, 3 db azonos testet akasztunk. A rugó megnyúlása is 1, 2, 3 egység lesz

MÉRD MEG, SZÁMOLD KI!

A mérleggel mérd meg a kavics tömegét!

A mérőedénybe tölts vizet, majd helyezd a vízbe a kavicsot! A kavics által kiszorított víz a kavics térfogatával

azonos. A kavics sűrűsége: $\rho = \frac{m}{V}$



- Otthon, egy digitális konyhai mérleg és egy mérőedény segítségével határozd meg nagyméretű kavicsok sűrűségét!

Példa a mérés hibájának számolására:

A kavics tömegét $m = 255$ grammnak mérjük, a digitális mérleg hibája $\Delta m = \pm 1$ g

A tömegmérés relatív hibája: $\frac{\Delta m}{m} = \pm \frac{1}{255}$

A kavics térfogata például 1 dl, hibája (otthoni mérőpohárral) 0,2 dl (ez sokkal pontatlanabb), a térfogat relatív hibája $\frac{\Delta V}{V} = \pm \frac{1}{5}$

A sűrűség relatív hibája:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V} = \pm \left(\frac{1}{255} + \frac{1}{5} \right) = \pm \frac{52}{255}$$

A kő sűrűsége:

$$\rho = \frac{m}{V} = (255 \pm 52) \frac{\text{g}}{\text{dl}} = (2550 \pm 520) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A példa alapján a saját mérési adataiddal is végezd el a hibaszámítást!

Pontszerű testek egyensúlya

Akkor mondjuk azt, hogy **egy pontszerű test egyensúlyi állapotban van, ha a mozgásállapota nem változik**. Ekkor viszont a test nem gyorsul. A test csak akkor nem gyorsul, ha **a rá ható erők eredője nulla**. Ez a logikai sor visszafelé is igaz. Ha az eredő erő nulla, akkor a test nem gyorsul. Ha viszont a test nem gyorsul, akkor a test sebessége állandó:

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{a} = 0 \Rightarrow \vec{v} = \text{állandó}$$

A testek természetes mozgásállapota az egyenes vonalú egyenletes mozgás. Ez kétféle módon érhető el:

- A testre nem hatnak erők (a világegyetem olyan távoli pontjában vagyunk, ahol minden más test tömegvonzása elhanyagolható).
- A testre ható erők eredője nulla („földi megoldás”).

Hallottál róla?

A medúzák és más tengeri állatok képesek magukba szívni a vizet és azt egy irányba nagy sebességgel kipréselni. Így a kölcsönhatás törvénye miatt rájuk az ellentétes irányba hajtóerő hat, így jut előre a medúza a vízben.



■ Melyik állat vagy technikai eszköz mozgása hasonlít a medúzáéhoz?

NE FELEDD!

A magára hagyott test mozgásállapota nem változik.

Erő (eredő erő) hatására a testek gyorsulnak (ok \Rightarrow okozat; az erő az ok, a gyorsulás az okozat).

Az erő párkölcsönhatás során lép fel, minden erőhatás két test egymásra hatása. Ilyen értelemben az erők párosával lépnek fel, a kölcsönhatásban részt vevő két test azonos nagyságú, ellentétes irányú erővel hat egymásra.

Az erők egymástól függetlenül hatnak. A szuperpozíció értelmében az egyidejűleg egy testre ható erők hatása az erők vektori összegének hatásával egyezik meg.

A mechanika legfontosabb összefüggése, a dinamika alaptörvénye matematikailag így adható meg:

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Egy pontszerű test akkor és csak akkor van egyensúlyban, ha a testre ható erők eredője nulla.

Gondold meg!

A dinamika alaptörvénye azt állítja, hogy a testre ható erők eredője megegyezik a tömeg és a gyorsulás szorzatával. Ha a testre egyidejűleg több erő hat, akkor az összes ilyen erőt figyelembe kell vennünk, vektorosan össze kell adnunk, és ez jelenik meg az

eredő erő = tömeg · gyorsulás

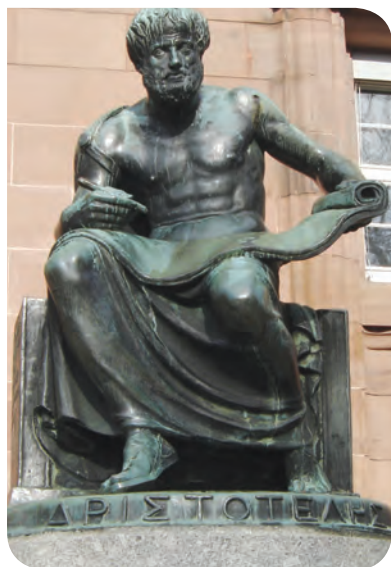
egyenlet bal oldalán. A jobb oldalon lévő kifejezés már nem kölcsönhatásból származó erő, hiszen a testre ható összes erőt figyelembe vettük a bal oldalon, hanem egyszerűen a tömeg és a gyorsulás szorzata.



■ Hol lehet és hogyan mozog a fénylő pontok tömegközéppontja?

Tömegpont, azaz olyan kicsi test esetén, amely pontszerű, a gyorsulás ennek a pontnak a gyorsulása. Kiterjedt testek esetén a gyorsulás a test tömegközéppontjának a gyorsulásával egyezik meg. A tömegközéppont az a pont, amibe egyesítve a test teljes tömegét, a dinamika alaptörvényének megfelelő gyorsulást kapnánk, ha ugyanazok az erők hatnának a tömegpontra, mint amelyek a kiterjedt testre hatnak. Homogén (egyenmű) anyageloszlású testek esetén a tömegközéppont megegyezik a testek geometriai középpontjával. Érdekes megjegyezni, hogy a kiterjedt test forogni is tud, viszont csak a haladó mozgása írható le úgy, mint egy tömegpont.

Hogyan volt régen?



Arisztotelész (Kr. e. IV. sz.) egészen mást gondolt a mozgásról. Az arisztotelészi dinamika a „józan hétköznapi ismeretek” összessége volt. Például azt gondolta, hogy a mozgás fenntartásához van szükség erőre, és hogy nagyobb erő nagyobb menetsebességet eredményez (vagyis az erő nem a gyorsulással, hanem a sebességgel arányos).

Ez az elképzelés több mint kétezer évig uralkodó volt, és a „hétköznapi napokban” még ma is mérvadó, hiszen felületesen a hétköznapi tapasztalatainkra épít. Vegyük például a vízszintes, egyenes úton egyenletesen haladó autót. A mindennapi élet alapján azt mondjuk, hogy az autó motorjának az ereje hajtja a gépkocsit.

A newtoni fizika szerint ilyen esetben az autóra ható eredő erő nulla, hiszen a kocsit nem gyorsul.

A gépkocsira vízszintesen a tapadó súrlódási erő hat előre, míg a légellenállás hátrafelé, és ez a két erő egyenlő nagyságú, ellentétes irányú, vagyis eredőjük nulla.

Annak ellenére, hogy a newtoni fizika meghaladta Arisztotelész tanait, mindenképpen nagy elismeréssel kell gondolnunk az antik világ kiemelkedő tudására.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Egyenes úton haladó busz hirtelen fékez. Egy utas erősen kapaszkodva utazik a buszon. András az út mentén állva belát a busz utasterébe, Béla a buszon ülve figyeli az eseményeket. Írd le mindkét megfigyelő szempontjából a kapaszkodó utas mozgását! Melyik megfigyelő vonatkoztatási rendszere inerciarendszer, melyiké nem? Miért?
- Az interneten keresd meg a tömeg más egységeit! Például: mázsa, tonna, uncia, atomi tömegegység, Planck-tömeg, naptömeg, ...
- Az alábbi szavak megfelelő alakjával kiegészítve írd a füzetedbe a következő mondatokat:
gyorsulás, tömeg, eredő erő, sebesség
 - A test * csökken, ha az * ellentétes irányú a *.
 - Ha egy test * nagyobb, akkor a * kisebb lesz.
 - A test * növekszik, ha az * azonos irányú a *.
- A következő állítások közül melyik igaz, melyik hamis? A válaszodat indokold!
 - Az erő és az ellenerő azonos nagyságúak, ellentétes irányúak, ezért eredőjük nulla.
 - A személygépkocsi nagyobb, állandó sebességgel halad. Ekkor a testre ható eredő erő is nagyobb.
 - Az erő és az ellenerő azonos nagyságúak, ellentétes irányúak, ezért kioltják egymást.
- Egy m tömegű pontszerű testre \vec{F} erő hat, és emiatt a test \vec{a} gyorsulással mozog. Töltsd ki a füzetedben az alábbi táblázat hiányzó helyeit!

Erő (N)	5		6	4	4
Tömeg (kg)	2	3			
Gyorsulás (m/s ²)		4	2		

- Tudjuk, hogy a Föld felszínének közelében a magára hagyott testek a Föld vonzása miatt gyorsulva esnek. A kölcsönhatás törvénye értelmében az eső test is erőt fejt ki a Földre. Akkor a Föld is gyorsulva „esik felfelé”?
- Egy testre egyetlen erő hat. Mozoghat-e az erővel ellentétes irányba? Lehet-e nulla a sebessége?
- Egy testet két alkalommal gyorsítunk két különböző nagyságú erővel, a végsebesség mégis ugyanaz lesz. Lehetséges ez? Indokolj!
- A sportlövészek szorosan magukhoz szorítják a puskatust a lövés idejére. Mi lehet ennek az oka? Mi történhetne, ha nem így tennének?



- Hány kilogramm benzin fér az autó 50 literes tankjába? (A benzin sűrűsége: 0,75 g/cm³)

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Egy fémhenger alaplapjának sugara 2 cm ($\pm 0,1$ cm), magassága 5 cm ($\pm 0,1$ cm), tömege 170 g (± 1 g). Mekkora a test sűrűsége? Mekkora a mérés relatív hibája? Milyen anyagból lehet a fémhenger?
- A Nap tömege $2 \cdot 10^{30}$ kg, a Földé $6 \cdot 10^{24}$ kg. A Nap sugara 700 ezer km, a Földé 6370 km. Mindkét égitestet tekintsd gömbnek, melynek térfogata $V = \frac{4 R^3 \pi}{3}$. Számold ki a Nap és a Föld átlagsűrűségét!
- Egy testre több, egy síkban ható, azonos nagyságú erő hat, a test mégis egyensúlyban van. Mekkora szöget zárnak be a testre ható szomszédos erők, ha a számuk
 - 2,
 - 3,
 - 4,
 - tetszőleges n pozitív egész szám?
- Egy 2 kg tömegű testre egyidejűleg két erő hat, az egyik 3 N, a másik 4 N. Mekkora lehet a test gyorsulása? Mekkora szöget zárnak be az erők egymással, ha a test gyorsulása $2,5$ m/s²?
- A gyári adatok szerint egy 1170 kg össztömegű Smart 10,4 másodperc alatt gyorsul fel 100 km/h sebességre. Mekkora átlagos eredő erő gyorsítja az autót?
- A Bugatti Veyron műszaki táblázatából néhány adat:
 Tömeg: 1888 kg
 Maximális sebesség: 408,3 km/h
 Gyorsulási adatok:

0–100 km/h	2,5 s
0–200 km/h	7,3 s
0–300 km/h	16,7 s
0–400 km/h	55 s

 Állapítsd meg, hogy mekkora volt az autó gyorsulása a 0–100 km/h, 100–200 km/h, 200–300 km/h, illetve 300–400 km/h szakaszokban!
 Mekkora volt az autót gyorsító átlagos eredő erő, és mekkora utat tett meg az autó az egyes szakaszokban?

**Gondold meg!**

A testek nyugalmi állapota nem azonos az egyensúlyi állapottal.

Ha a test egyenes vonalú egyenletes mozgást végez, akkor is lehet egyensúlyban, nem kell feltétlenül állnia. A Galilei-féle relativitás elve éppen azt mondja ki, hogy az egymáshoz képest egyenes vonalú egyenletes mozgást végző inerciarendszerek egyenértékűek. Tehát a testtel együtt mozgó rendszerben a test áll.

Vizsgáld meg, hogy az is lehetséges, hogy egy test nem mozog, mégis gyorsul, vagyis nincs egyensúlyban. A legegyszerűbb példa erre a függőlegesen feldobott test, ami a pályája tetőpontján egy pillanatra megáll, de közben ugyanúgy hat rá a tömegvonzásból származó erő, vagyis akkor is lefelé gyorsul, amikor felfelé halad, akkor is lefelé gyorsul, amikor a tetőpontra ér, és akkor is lefelé gyorsul, amikor visszaesik.

6. | Az erők világa



François Villon négy soros versét 1462 végén írta, miközben akasztására várt a börtönben. Végül megkegyelmeztek neki, száműzték, 1463 januárjában elhagyta Párizst és nyomtalanul eltűnt. A négy soros így szól:

■ François Villon (1431 vagy 1432 – eltűnt 1463-ban)

Francia vagyok, csak ez kellett,
Párizs szült (Ponthoise mellett);
Róf kötél súgja majd fejemnek,
Hogy mi súlya van fenekemnek.
(Illyés Gyula fordítása)

Vizsgáljuk meg, milyen erők hatnak a Föld felszínén nyugalomban lévő testre!

A nehézségi erő

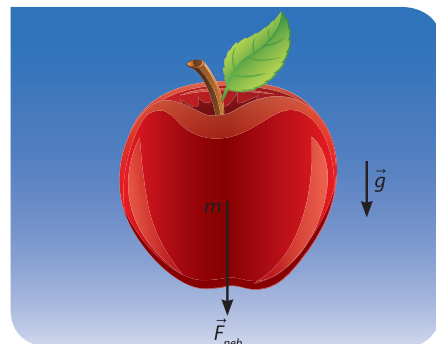
A Föld közelében minden testre – alapvetően a Föld vonzásának köszönhetően – hat a **nehézségi erő**. A nehézségi erő függőlegesen lefelé mutat. Nagyságát két dolog határozza meg:

- a test m tömege,
- a Föld gravitációs terét jellemző, lefelé mutató g nehézségi gyorsulás.

A g nehézségi gyorsulás értéke kb. 10 m/s^2 .

A nehézségi erő: $\vec{F}_{\text{neh}} = m \vec{g}$.

Ha egy testre csak a nehézségi erő hat, akkor a test a nehézségi gyorsulással, g -vel gyorsul.



■ $\vec{F}_{\text{neh}} \Rightarrow \vec{g}$
ok \Rightarrow okozat

A tartóerő

Vízszintes úton, nyugalomban lévő autóra is hat a nehézségi erő, viszont az most nem gyorsul. A dinamika alaptörvénye ($\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$) szerint ez csak úgy lehetséges, ha egy ugyanekkorra, csak ellentétes irányú erő is hat rá. Ezt az erőt az úttest fejt ki az autó kerekeire. Az úttest sok-sok pontban nyomja felfelé mind a négy kereket. Ezeknek az erőknek az eredőjét szokás **tartóerő**nek nevezni. Az \vec{F}_t tartóerő biztosítja azt, hogy a testre ható erők eredője nulla legyen, vagyis az autó nyugalomban maradjon az úton.

$$\vec{F}_t = m \cdot \vec{g}$$



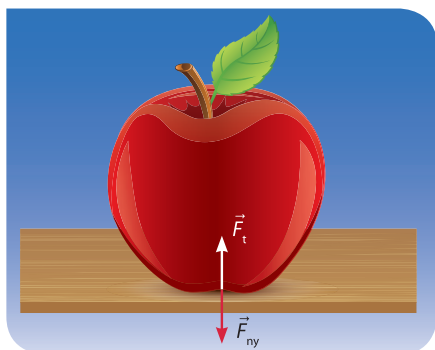
■ Az 1200 kg tömegű autóra mekkora tartóerőt fejt ki az út?

NE FELEDD!

Vigyázz! Az $F_t = mg$ egyenlőség csak abban a nagyon speciális esetben igaz, ha vízszintes talajon, más erőhatástól mentesen, függőlegesen nem gyorsul a test. Nem igaz, ha lejtőn áll a test, nem igaz, ha gyorsul a felület (pl. lift), nem igaz, ha egy másik függőleges erő is hat a testre. Tehát F_t általában nem mg -vel egyenlő, hanem minden esetben éppen akkora, hogy **a test a felületre merőlegesen ne mozduljon el**, azaz az egyéb erők felületre merőleges komponensének eredőjével megegyező nagyságú.

A test súlya

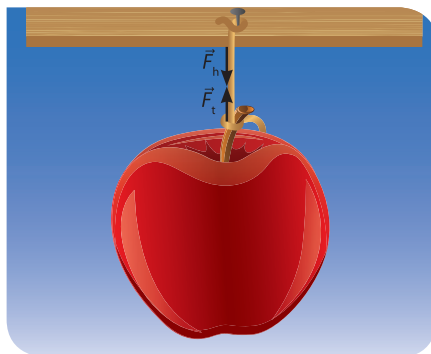
Most vizsgáljuk egy alma egyensúlyi helyzetét, amit kétféleképpen valósítunk meg: asztalra tesszük az almát, majd fonálon felfüggesztjük. Először tekintsük az asztalon nyugvó almát! Azt már tudjuk, hogy az asztallap kifejt az almára egy \vec{F}_t tartóerőt felfelé. A kölcsönhatás törvénye (hatás-ellenhatás) szerint az



■ Az asztalon nyugvó alma és asztal kölcsönhatása

alma is kifejti egy ugyanakkora, de ellentétes irányú, lefelé mutató erőt az asztalra. Ez a tartóerő ellenereje, amit a megkülönböztetés kedvéért nevezünk **nyomóerőnek**, és jelöljük így: \vec{F}_{ny} . Az asztal és az alma közötti kölcsönhatás így írhatjuk le részletesen: az asztal tartja az almát, az alma nyomja az asztalt. A tartóerő nagysága ugyanakkora, mint a nehézségi erő, de éppen ellentétes vele (hiszen az alma egyensúlyban van). A nyomóerő nagysága ugyanakkora, mint a tartóerő, de éppen ellentétes vele (hiszen erő-ellenelő párt alkotnak). Ebből a két megállapításból az következik, hogy **az asztalon nyugvó alma által az asztalra kifejített nyomóerő nagyság és irány szerint megegyezik a nehézségi erővel**: $\vec{F}_{ny} = m\vec{g}$.

Most vizsgáljuk meg a fonálra felfüggesztett almát! Az almára ható nehézségi erőt a fonál F_t tartóereje egyenlíti ki, melynek a nagysága megegyezik a nehézségi erő nagyságával és felfelé mutat. A kölcsönhatás törvénye (hatás-ellenhatás) miatt az alma is kifejti egy ugyanakkora, de ellentétes irányú, lefelé mutató \vec{F}_h **húzóerőt** a fonálra. Mivel a fonál ideális (nem szakad, nem nyúlik, nincs tömege), ezért a fonál ugyanakkora erővel húzza lefelé a felfüggesztési pontot. Újra ugyanazt vehetjük észre: az alma és a fonál közötti kölcsönhatás szerint a fonál tartja az almát, az alma húzza a fonalat. A tartóerő nagysága ugyanakkora, mint a nehézségi erő, de éppen ellentétes vele (hiszen az alma egyensúlyban van). A húzóerő nagysága ugyanakkora, mint a tartóerő, de éppen ellentétes vele (hiszen erő-ellenelő párt alkotnak). Ebből a két megállapításból az következik, hogy a **nyugalomban** lévő alma által a fonálra (és a fonál által a **felfüggesztésre**) **kifejített húzóerő nagyság és irány szerint megegyezik a nehézségi erővel**: $\vec{F}_h = m\vec{g}$.



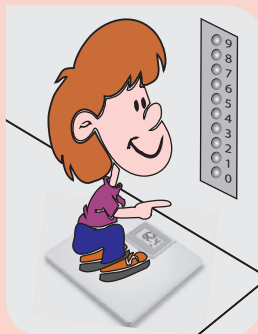
■ A kötélen lógó alma és a felfüggesztés közötti kölcsönhatás

Ha egy környezetéhez képest nyugalomban lévő testre a nehézségi és a tartóerőn kívül más erő nem hat, akkor a test által **az alátámasztásra, illetve a felfüggesztésre ható erőt a test súlyának nevezzük**. A jele G . **A test súlya nem a testre, hanem az alátámasztásra, illetve a felfüggesztésre hat**. Inerciarendszerben tartós nyugalomban lévő test súlyának nagysága megegyezik a nehézségi erő nagyságával, irányuk azonos: $\vec{G} = m\vec{g}$.

FIGYELD MEG!

Állj egy lapos fürdőszobai mérlegre! A térdaid hajlításával, kiegyenesítésével óvatosan „rugózz” le-fel! Figyeld meg, hogy a mérleg által mutatott érték hogyan változik! Hogyan mozogsz, amikor a súlyod kevesebbet, illetve többet mutat a nyugalmi értéknél?

Egy lift padlójára helyezett fürdőszobai mérlegre állva mérd meg a súlyod, amikor a lift áll, egyenletesen mozog, indul egy emeletről, illetve megérkezik egy emeletre. Értelmezd a mért értékeket! Számold ki a lift gyorsulását induláskor, illetve megérkezés-kor!



■ Miért nehéz elvégezni ezt a mérősorozatot?

Hallottál róla?

Meglehetősen bonyolult logikával sikerült belátnunk, hogy az alátámasztásra, illetve a felfüggesztésre ható súlyerő nagyság és irány szerint megegyezik az mg nehézségi erővel. Felmerülhet bennünk a kérdés: nem lenne sokkal egyszerűbb a nehézségi erőt nevezni súlynak? Így a súly a testre hatna, nem pedig az alátámasztásra vagy a felfüggesztésre. Sok országban (például az angol nyelvű országokban) éppen így döntöttek, egyszerűen a nehézségi erővel azonosítják a súlyt (hiszen ez csak elnevezés kérdése). Más országokban (így Magyarországon is) azért döntöttek a látszólag bonyolultabb definíció mellett, mert éppen az alátámasztásra, felfüggesztésre ható erő segítségével mérhetjük meg a súlyt. Tehát a mi meghatározásunk gyakorlati, kísérleti szemléletű. A súly az, amit az erőmérőnk mutat. Az erőmérőnk viszont a rá ható erőt méri. Szabadesés közben nem hat erő az alátámasztásra vagy a felfüggesztésre, ezért a szabadon eső testek súlytalanok. Az angol nyelvű országokban ezért szabadeséskor látszólagos súlytalanságról beszélnek. Nekik könnyebb a súlyt megtanítani, de nehezebb a súlytalanságot. Értetni viszont mindannyiunknak ugyanazt a fizikát kell.



NE HIBÁZZ!

A hétköznapi életben gyakran azt mondják, hogy a test súlya a testre hat, holott a test súlya az alátámasztásra, illetve a felfüggesztésre hat.

Hallottál róla?

A súlytalanság vizsgálatához egy kabinra (vagy mérőkapszula) van szükségünk, és azt kell biztosítanunk, hogy a kabin szabadon essen. Azt mondjuk, hogy a kabinban hoztunk létre súlytalanságot, a kabinban elengedett testek lebegnek, nem nyomják a kabin falát. Vagyis súlytalansági vizsgálatok közben a kabinhoz rögzített vonatkoztatási rendszert használjuk, ami éppen a kabin helyén lévő nehézségi gyorsulással, az ottani g -vel gyorsul. A **gyorsuló kabin** tehát **nem inerciarendszer, nem érvényesek benne Newton törvényei**. Ezért érezzük nagyon különlegesnek a súlytalanságot. A kabinban az elengedett test nem esik le, hanem egy helyben marad, hiába hat rá a nehézségi erő. Ez nagyon szokatlán, meghökkentő, mert természetes tapasztalatainkkal ellentétes. Inerciarendszerből nézve a kabin is, az elengedett test is ugyanúgy esik, ugyanúgy g -vel gyorsul, mégis ámulattal tölt el bennünket a súlytalanság látványa.

A Föld felszínének közelében ejtőtornyokban hozhatunk létre súlytalanságot úgy, hogy a tornyok ejtőcsövéből kiszívjuk a levegőt, mert azt kell biztosítanunk, hogy a mérőkapszula gyorsulása minél pontosabban g -vel gyorsuljon. A NASA leghosszabb ejtőcsöve az Ohio Állambeli Clevelandben van, nagyrészt a földfelszín alatt. A mérőkapszulák 132 méteres esése 5,17 másodpercig tart, majd 65 g -vel fékeződnék le egy 4,5 méteres polisztirol szemcsékből álló fékező közegben. A NASA használ még egy másik ejtőcsövet is a Marshall Űrközpontban, ahol nagy vákuumban 4,6 s-ig tart a szabadesés. Japánban 4,5 s-os esési idejű ejtőtorny épült, a Brémai Egyetem ejtőtornyában kezdetben 4,74 s volt az esési idő, majd a berendezést átalakították. Beszereltek egy katapultot, ami ugyan lerövidítette a cső hosszát 13 méterrel, azonban a katapulttal fellövik a mérőkapszulát, így megkétszerezik a szabadesési időt, vagyis összesen 9 másodpercig tart

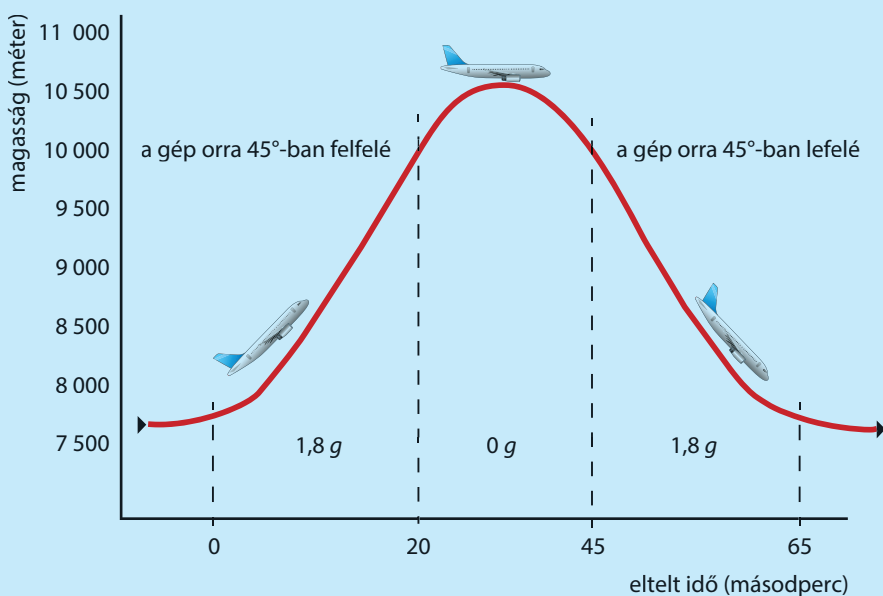


■ Ez a NASA súlytalanságot létesítő Boeing KC-135A típusú repülőgépe, melyben az Apollo-13 repüléséről szóló játékfilm súlytalansági jeleneteit filmre vették

a súlytalanság. Ezeken kívül még más országokban is van ejtőtorny, de összességében igen kevés helyen (Franciaországban, Grenoble-ban 3,1 s-os esési idővel, Ausztráliában a Queenslandi Egyetemen 2 s-os esési idővel).

1959 óta használnak repülőgépeket arra, hogy a repülő belső részében súlytalanságot hozzanak létre. A következő ábra mutatja egy ilyen gép pályáját. Láthatjuk, hogy a gép a repülésének egy adott szakaszában olyan parabolapályán repül, mintha légüres térben lenne és szabadon mozoghatna g gyorsulással. Az ilyen mozgáshoz különlegesen programozzák be a repülőgép irányító rendszerét, hogy a hajtóművek éppen kiküszöböljék a levegő fékező hatását.

Amikor Tom Hanks főszereplésével játékfilm készült az Apollo-13 szerencsésen végződő balesetéről, akkor a súlytalanságot igénylő felvételeket a NASA erre a célra használt Boeing KC-135A típusú gépében vették fel. Összesen 612 parabolikus ugrást hajtott végre a gép, és így nagyjából négyórnyi filmet vettek fel súlytalanságban. Minden egyes repülés súlytalan szakasza nagyjából 25 másodpercig tartott. A súlytalanság előtt és után a gépben közel kétszeres súllyal szorultak a színészek és a stáb tagjai a kabin falához a filmfelvételhez használt összes kellékkel, felszereléssel együtt. Szerencsések voltak, a veszélyes felvételek közben mindössze egy elszabadult lámpa törte el egy világosító karját, más baleset nem volt.



■ Ilyen pályán repülnek a súlytalanságot létrehozó repülőök

A sztatikai tömegmérés elve

Ahogy a következőkben bemutatjuk, a rugóra akasztott vagy ráhelyezett test a rugóban deformációt okoz, így megmérhetjük a test súlyát.

Az $m = \frac{G}{g}$ összefüggéssel kiszámíthatjuk a test m tömegét. Ez alapján feliratozzák a mérleget, ami valójában egy erőmérő, vagyis súlyt mér, de tömeg mérésére használják a gyakorlatban.

A rugóerő

Az erők nagyságát gyakran rugós erőmérővel mérjük. Az erőmérő készítésének alapja az a tapasztalat, hogy a rugó által kifejtett **rugalmas erő** nagysága kis alakváltozás esetén egyenesen arányos a rugó Δl megnyúlásával, iránya ellentétes vele.

$$\vec{F}_r = -D\Delta\vec{l}$$

A D arányossági tényezőt **rugóállandónak** (régies nyelven direkciós erőnek) nevezzük, SI-mértékegysége N/m, viszont nagyon gyakran a N/cm-t használjuk.



■ Spirálrugó képe egy óraszerkezetből



■ Rugós erőmérő használatban

Gondold meg!

Ha például egy rugó rugóállandója $D = 200 \text{ N/m} = 2 \text{ N/cm}$, akkor ez azt jelenti, hogy a rugó 1 cm-rel történő megnyújtásához 2 N erőre van szükség, 3 cm-rel történő megnyújtásához 6 N erő kell. Azt is mondhatjuk, hogy a rugó 1 méteres megnyújtása esetén 200 N erő lép fel, de a valóságban a rugó az 1 méteres megnyújtás közben tönkremegy. A rugók csak bizonyos észszerű határok között viselkednek a fenti rugótörvény szerint, a rugalmasságuknak a gyakorlatban korlátjai vannak.



■ Az autók rugózása megoldható csavar- és laprugóval is



Súlytalanság

Súlytalanság állapotában a test nem húzza a felfüggesztést, nem nyomja az alátámasztást. A testre csak a nehézségi erő hat, g nehézségi gyorsulással szabadon esik.

A súlytalanság meghatározása nagyon egyszerű: egy test akkor súlytalan, ha nincs súlya. A súly az alátámasztást nyomó vagy a felfüggesztést húzó erő, tehát súlytalanságban ezek nem lépnek fel. A gravitációt nem tudjuk kiküszöbölni, ezért ahhoz, hogy a testeknek ne legyen súlyuk, a testeket szabadon kell hagynunk, vagyis a **testek akkor súlytalanok, ha szabadon esnek**.

A súlytalansághoz szükséges szabadesést a lehető legtágabb értelemben használjuk. Nemcsak a nyugalmi helyzetből elengedett testek válnak súlytalanná az esés közben, hanem az elhajított testek is, sőt azok is, melyek körbeesik a Földet, vagyis a kikapcsolt hajtóművű űrrakéták, mesterséges holdak is súlytalanok.

KISÉRLETEZZ!

Hozz létre a tanteremben súlytalanságot! Próbáld több kísérletet is kitalálni, melynek értelmezésében a súlytalanság játszik főszerepet! Miközben bemutatsz a jelenséget, vigyázz társaid és saját magad testi épségére!

Hallottál róla?

A súlytalanság leghosszabban a Föld körül keringő mesterséges holdakban, űrhajókban, a Nemzetközi Űrállomás belsejében jön létre. Legtöbbször láttunk már erről felvételeket, megcsodálhattuk a furcsa jelenségeket. Ezek közül hármat mutatunk be. Az egyik képen Marsha Ivins űrhajós hajkoronája látható, aki az Atlantis űrrepülőgéppel részt vett a Nemzetközi Űrállomás építésében 2001-ben. A másik képen pedig az látszik, hogyan ég egy gyertya a földfelszínen, és hogyan ég súlytalanság közben. Természetesen a súlytalanságot nemcsak „játékra” használják az űrhajósok, hanem rendszeresen végeznek komoly vizsgálatokat, kutatásokat, sőt gyártást is folytatnak súlytalanság közben. Nézz utána, hogy milyen kutatások, milyen vizsgálatok folynak súlytalanságban, és milyen különleges anyagokat lehet előállítani súlytalanságban!



■ Stephen Hawking brit asztrofizikus a súlytalanság állapotában. A floridai Kennedy Űrközpontból szállt fel az átépített Boeing 727-200 típusú repülőgép, majd 10 ezer méter magasan zuhanórepülésbe kezdett



■ Így ég a gyertya a földfelszínen és az űrhajóban súlytalanság közben. Miért?

Ilyen értelemben maga a Hold is súlytalan, mert nem nyom semmilyen alátámasztást, nem húz semmilyen felfüggesztést. Ennek ellenére a Holdra lépő űrhajósoknak volt súlyuk, mert maga a Hold vonzotta őket. Viszont miközben kikapcsolt hajtóművekkel napokon át repültek a Hold felé, az űrkabinban mindvégig súlytalanság volt. Az űrhajójuk szabadesését a Föld és a Hold gravitációja határozta meg, gyorsulásuk folyamatosan változott.



■ Marsha Ivins űrhajós súlytalan hajkoronája

A nyomás

Helyezzünk egy $a > b > c$ oldalélű hasábot homokra a különböző oldallappjával! Figyeljük meg, hogy az egyes esetekben mekkora a hasáb benyomódása a homokba! Az alátámasztásra ható nyomóerő mindegyik esetben ugyanakkora, viszont a nyomott felület nagysága különböző. Az egységnyi felületre merőlegesen ható nyomóerő nagyságát megadó fizikai mennyiséget **nyomás**-nak nevezzük. A nyomás jele: p

$$\text{Nyomás } (p) = \frac{\text{felületre merőleges nyomóerő } (F)}{\text{nyomott felület } (A)}$$

mértékegysége: $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$, röviden: Pa (pascal).

Vannak olyan eszközeink, amelyek az alátámasztásra ható nyomást csökkentik (szán, síléc, lánctalp, széles traktorgumi...), és vannak olyanok, amelyek növelik (korcsolya, tű, kés, szike...).

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy hölgy egyik alkalommal lapos, sima talpú papucsban megy le a strand fövényére, egy másik alkalommal magas sarkú cipőben. Melyikben tud könnyebben haladni a parton?

Megoldás: A hölgy által az alátámasztásra kifejtett nyomóerő mindkét esetben ugyanakkora:

$$F_1 = F_2.$$

A magas sarkú cipőnek kisebb felületű a talpa, mint a papucsnak: $A_1 > A_2$.

A $p = F/A$ összefüggést használva: $p_1 < p_2$.

A papucs alatt kisebb a nyomás, azaz kisebb az egységnyi felületre eső nyomóerő, ezért a papucs kevésbé süllyed a homokba, mint a magas sarkú cipő. Strandra papucsban érdemes menni!

NE FELEDD!

A rugó által a hozzá rögzített testre kifejtett erő iránya ellentétes a megnyúlással, nagysága – kis alakváltozás esetében – arányos a rugó megnyúlásával.

Minden testre hat az $\vec{F}_{\text{neh}} = m\vec{g}$ nehézségi erő.

A test súlyát a test fejti ki az alátámasztásra, illetve a felfüggesztésre. Inerciarendszerben, nyugalmi állapotban a testek súlya nagyság és irány szerint megegyezik a rájuk ható nehézségi erővel.

A nyomás ($p = F/A$) számértéke az egységnyi felületre ható nyomóerő nagyságát adja meg.

NE HIBÁZZ!

Sokan azt gondolják, hogy a testre a súlytalanság állapotában nem hat erő vagy a testnek a súlytalanság állapotában nincs tömege.

Ez mind nem igaz! A súlytalanság állapotában a testre csak a nehézségi erő hat, és természetesen a tömege is változatlan.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

- A következő állítások/indoklások közül melyik igaz, melyik hamis?
 - A nyugalomban lévő testekre ható nehézségi és súlyerő azonos nagyságú és ellentétes irányú, ezért kioltják egymást.
 - A Holdon a nehézségi gyorsulás kb. hatoda a Föld felszínén mértnek, ezért egy test súlya a Holdon kb. hatoda a földfelszíninek.
 - A Holdnak nincs légköre, ezért a felszínén lévő testeknek nincs súlyuk.
 - A világűrben mozgó űrhajóban csak akkor lép fel a súlytalanság állapota, ha a hajtóművei ki vannak kapcsolva.
- Két befőttesüvegbe helyezz egy-egy égő teamécsest. Az egyiket hagyd az asztalon, a másikat emeld fel magasra, ejtsd el, majd ügyesen kapd is el! Írd le, mit tapasztalsz, próbáld megmagyarázni!
- Az alábbi szavakkal egészítsd ki a füzetedben a következő mondatokat: nehézségi erő, súly, eredő erő, tartóerő
 - A vízszintes asztalon nyugalomban lévő testre ható * és * azonos nagyságúak.
 - A vízszintes asztalon nyugalomban lévő testre ható * nulla.
 - A * és a * két különböző testre hat.
- A Holdon a nehézségi gyorsulás kb. hatoda a földfelszíni értéknek. Mekkora a súlya az 1 kg-os kenyérnek a Földön, illetve a Holdon?
- Egy rugóra akasztott test a rugó 9 cm-es megnyúlását eredményezi a Földön. Mekkora lenne a megnyúlás a Holdon, ahol a nehézségi gyorsulás kb. hatoda a földfelszíni értéknek?

6. Becsüld meg, mekkora nyomás éri a lábfejedet, amikor egy 60 kilós hölgy teljes erejéből rálép, ha
- a hölgy strandpapucsban van,
 - a hölgy túsarkú cipőben van!
7. Egy rugó megnyúlása 10 N erő hatására 5 cm.
- Mekkora a rugóállandó?
 - Készítsük el a rugóerő-megnyúlás grafikont a 0–20 cm intervallumban!
 - Mekkora erő nyújtja meg a rugót 12 cm-rel?
8. A Fertő tavon a nádat 2,5 tonnás lánctalpas traktorral aratják. A lánctalpak felülete 2 négyzetméter. A 60 kg-os filmszínész nő olyan magas sarkú cipőben áll, amelynek talajjal érintkező felülete mindössze 10 cm². Mekkora a nyomás a két esetben? Melyik a kellemetlenebb élmény, ha a lánctalpas traktor alá kerül a lábunk, vagy ha a színész nő lép rá a lábunkra? Miért?
9. Egy korcsolya élvastagsága 0,05 mm, hossza 20 cm. Mekkora nyomást fejt ki korcsolyázás közben a jégre a 45 kg tömegű gyerek, ha két lábon áll?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

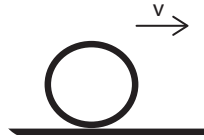
1. András egy lift padlójára helyezett fürdőszobai mérlegen állva méri a súlyát. Induláskor a mérleg által jelzett legnagyobb érték 80 kg, egyenletes mozgásnál 65 kg, míg fékezéskor 55 kg.
- Mekkora András tömege?
 - Mekkora a lift gyorsulása, illetve lassulása?
2. Rugós expander (izomedző sporteszköz) használata során több azonos rugó végeit egymással párhuzamosan illesztjük a két fogantyúhoz. Több rugó egyidejű megnyújtása arányosan több erőt igényel. A használt rugók rugóállandója 200 N/m. Mekkora rugóállandójú egyetlen rugóval tudnánk helyettesíteni a párhuzamosan kapcsolt
- két rugót?
 - három rugót?
 - Próbáld megsejteni, mennyi az egymással párhuzamosan kapcsolt D_1 és D_2 rugóállandójú rugót helyettesítő egyetlen rugónak a rugóállandója. Sejtésedet igazold is!
3. Azonos tulajdonságú gumiszálak rugóállandója 20 N/m. Mekkora rugóállandójú egyetlen gumiszállal tudnánk helyettesíteni a sorosan kapcsolt
- két gumiszálát?
 - három gumiszálát?
 - Próbáld megsejteni, mennyi az egymással sorosan kapcsolt D_1 és D_2 rugóállandójú rugót helyettesítő egyetlen rugónak a rugóállandója. Sejtésedet igazold is!
4. Az autógyárak megadják az általuk gyártott autók keréknyomásának optimális értékét. Miért nem érdemes ettől eltérni?
5. Az 1200 kg tömegű személygépkocsi 200 kPa nyomást fejt ki az úttestre. Egy kerék mekkora felületen érintkezik az úttesttel? Fújunk még levegőt mind a négy kerékbe. Hogyan változik a kerekek úttestre kifejtett nyomása, illetve az úttesttel érintkező felület nagysága?
6. Egy lapos tetős ház 100 m²-es tetejét úgy tervezték meg, hogy 2000 Pa nyomást még éppen kibírjon.
- Mekkora tömegű hó eshet a tetőre veszély nélkül?
 - Legfeljebb milyen vastag lehet a hóréteg, ha a sűrűsége 0,125 g/cm³?
7. A tervek szerint szénszálak nanocsövek felhasználásával 2050-re elkészülhet az űrlift, ami 36 ezer km magasra szállítja majd a bátor űrturistákat. Az egyszerre 30 embert szállító kapszula 20 másodperc alatt érné el a 200 km/h-s utazási sebességet. Hány százalékos súlynövekedést éreznek a majdani űrturisták a gyorsítási szakaszban? Kb. mennyi idő alatt érkeznek meg az utasok az űrhotelhez?
8. Dolgozz ki mérési eljárást, amellyel a súlytalanság állapotában megmérheted egy test tömegét!

7. | Az erők játéka

Tapadási súrlódás

Vízszintes úton haladó autó gyorsításakor gázt adunk, a motor által megforgatott kerék fordulatszámát növeljük. Tisztán gördül a kerék, ha a gumiabroncsnak az úttal érintkező pontja az úthoz képest nyugalomban van. A gumiabroncs és az útfelület érintkező részei között F_{tap} **tapadási súrlódási erő** lép fel. Ha az autó négykerék-meghajtású, akkor mind a négy keréknél fellép a tapadási súrlódási erő. Ezeknek az erőknek az összege gyorsítja az autót.

Ha az autóban nincs kipörgésgátló, és a vezető egyre több gázt ad, akkor megtörténhet az, hogy már nem tapad a kerék a talajhoz, hanem megcsúszik. Ilyenkor a megcsúszó autógumi erős, síkító hangot ad. Ez a tapasztalat azt bizonyítja, hogy a tapadási súrlódásnak maximuma van. A tapadási súrlódási erő legnagyobb értékét jelöljük így: $\vec{F}_{\text{tap. max.}}$.

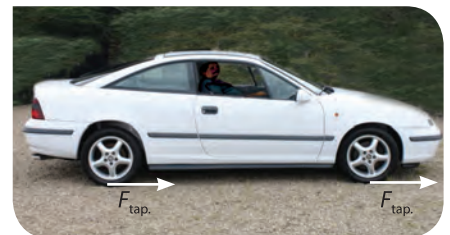


- A kerék v sebességgel tisztán gördül a vízszintes talajon. Ekkor a kerék legalsó pontja a talajhoz képest áll, a kerék tengelye v sebességgel halad. Mekkora sebessége van a kerék legfelső pontjának a talajhoz képest?

Szórakoztató gondolati játék elképzelnünk, hogy milyen lenne a világunk súrlódás nélkül. Nemcsak az lenne nehéz, hogyan álljunk meg, hanem az is, hogyan induljunk el, hogyan változtassuk meg mozgásirányunkat. Ehhez talán jól kezelhető kis rakétahajtóműveket kellene különböző irányokba beállítva használnunk. Sok lenne az ütközés. Álmunkban állandóan lecsúszna rólunk a paplan, de még egy széken sem fészkelődhetnénk, mert azonnal a padlón találnánk magunkat valamilyen irányban „megállíthatatlanul” mozogva.

Hallottál róla?

Nemcsak az autó gyorsítását, hanem a lefékezését is a tapadási súrlódási erő biztosítja. Szokásos fékezéskor a kerekek nem csúsznak meg az úton, ilyenkor a tapadási súrlódási erő a haladási iránnyal ellentétes. A jármű fékrendszere meg akarja állítani a kerekeket, azonban az úthoz tapadó kerekek ilyenkor előre próbálják tolni a talajt, vagyis a talaj hátrafelé mutató erővel hat a kerékre. Csúszós talajon vagy nagyon erős fékezéskor előfordulhat, hogy a fékek blokkolják a kerekeket, ami azt jelenti, hogy a kerekek forgása megszűnik. Ilyenkor az autó megcsúszik az úton, a gumik csikorgó hangot adnak, és a jármű nehezen irányíthatóvá válik. Ez a helyzet is azt a megállapításunkat erősíti meg, hogy a tapadó súrlódási erő nem lehet akármilyen nagy, nem haladhatja meg a maximális értékét.



- A négykerék-meghajtású autót a kerekekre ható tapadási súrlódási erő gyorsítja. Mire hat ezek ellenereje?

A tapadási súrlódási erő legnagyobb értéke egyenesen arányos a két felület között ható F_{ny} nyomóerővel és a felülepár anyagi minőségétől függő arányszámmal (μ_0):

$$\left. \begin{aligned} F_{\text{tap. max.}} &\sim F_{\text{ny}} \Rightarrow \\ F_{\text{tap. max.}} &\sim \mu_0 \Rightarrow \end{aligned} \right\} F_{\text{tap. max.}} = \mu_0 F_{\text{ny}}$$

A μ_0 neve **tapadási súrlódási együttható**, ami egy mértékegység nélküli arányszám.

Csúszási súrlódás

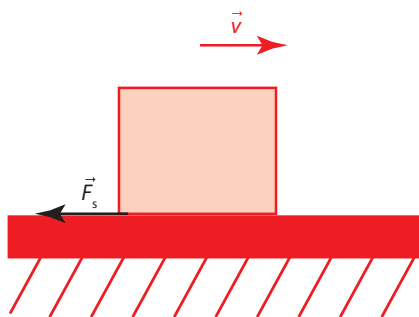
Ahogy az előzőekben már leírtuk, hirtelen fékezés során az autó (vagy a kerékpár) kerekei blokkolnak, nem forognak tovább, hanem csúsznak az úton. Az F_s **csúszási súrlódási erő** olyan irányú, hogy hatásával az érintkező felületek egymáshoz viszonyított sebességét csökkentse.

NE HIBÁZZ!

A tapadási súrlódási erő nulla és a legnagyobb értéke között bármekkora lehet.

$$0 < F_{\text{tap}} \leq F_{\text{tap. max.}}$$

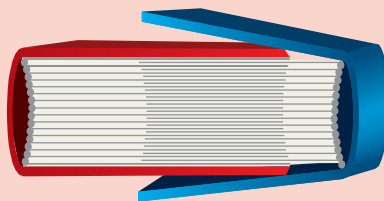
Ez az erő is vektormennyiség, tehát iránya van. A tapadási súrlódási erő hatásvonala az egymáshoz nyomódó felületek érintősíkjában fekszik. A tapadási súrlódási erő kényszererő. Nagysága és iránya éppen olyan, ami biztosítani képes a két felület egymáshoz tapadását.



- Keres olyan jelenséget, amikor a csúszási súrlódási erő egy test sebességét csökkenti, illetve növeli!

FIGYELD MEG!

Egy papírlap elcsúsztatása a másikon nem nehéz feladat. Két (ugyanolyan) könyvet fektessünk az asztalra egymás mellé úgy, hogy könnyen „egymásba lapozhatók” legyenek. Ezután felváltva lapozzuk a könyvek lapjait a másik könyv lapjai közé! A könyvborítóra mért kicsi ütögetésekkel biztosíthatjuk, hogy a lapok egymáshoz érjenek. A könyveket a gerincüknél megfogva próbáljuk távolítani egymástól. Ha ügyesek voltunk, akkor ez nem fog sikerülni. Miért?



- A tapadási súrlódási erő megnövelése



- A téli és a nyári gumiabroncs eltérő kialakítása az évszaknak megfelelő tapadást biztosítja. Járj utána, mi a különbség a két gumiabroncs között!

A csúszási súrlódási erő nagysága egyenesen arányos a két felület között ható F_{ny} nyomóerővel és a felülepár anyagi minőségétől függő arányszámmal (μ):

$$F_s = \mu F_{ny}$$

A μ neve **csúszási súrlódási együttható**, ami egy mértékegység nélküli arányszám.

A súrlódási együtthatókról

A csúszási és a tapadási súrlódási együtthatók értékét különböző táblázatokban találhatjuk meg. Talán a leginkább hozzáférhető a Négyjegyű függvény-táblázatok valamelyik kiadása, de természetesen az interneten is találhatunk adatokat. A magyar Wikipédián a „Súrlódás” címszó alatt a következő adatokat találjuk:

Néhány anyagpár tapadási és csúszási súrlódási együtthatója

Anyagok	Tapadási (kb.)	Csúszási (kb.)
acél–acél	0,08–0,25	0,06–0,20
acél–teflon	0,04	0,04
alumínium–alumínium	1,05	1,04
nikkel–nikkel	1,5	1,2
NaCl–NaCl	4,5	0,9
gumi–aszfalt (szárazon)	0,9	0,8
fa–kő	0,7	0,3

A táblázat alapján néhány fontos megállapítást tehetünk. Először is a súrlódási együtthatók értéke a legtöbbször tájékoztató jellegű, erre utal a (kb.) jelzés a táblázat fejlécében. Láthatjuk azt is, hogy a tapadási súrlódási együttható általában nagyobb, mint a csúszási, azonban lehetséges az is, hogy ezek egyenlők, vagy akár a csúszási is lehet nagyobb. Az is világos, hogy a súrlódás nemcsak a csúszó test anyagától függ, hanem a vele érintkező felület anyagi minőségétől is, ezért találunk a táblázatban anyagpárokat. Vannak olyan esetek is, amikor a súrlódási együtthatók értéke 1-nél nagyobb, semmi sem tiltja, hogy ez megtörténjen. A táblázat adataiból viszont teljesen kilóg a NaCl–NaCl rendkívül nagy (4,5) tapadási súrlódási együtthatója. Ha feltételezzük azt, hogy ez nem elírás, akkor ezt úgy tudjuk megmagyarázni, hogy ilyenkor csiszolt felületű kősókristályokat teszünk egymásra (még az is lehet, hogy a felületen némi vízfilm is található, hiszen a NaCl higroszkópos, vagyis a felületén megköti a vizet). Várunk valamennyi időt, miközben kristálytani kötések (jelen esetben ionos kötések) alakulhatnak ki az érintkező felületek sok pontjában, amit a felületen lévő víz is elősegít. Az ilyen „összegyógyult” felületet ezek után igen nehéz szétválasztani, vagyis a tapadási súrlódási erő legnagyobb értéke a felületre merőleges nyomóerőnek a sokszorosa is lehet.

Hogyan függ a súrlódás az érintkező felületek simaságától?

Az előző táblázat alapján arra is rájöhethetünk, hogy teljesen jogos az acél esetében tól-ig határokat megadni. Nemcsak azért, mert nagyon sok különböző összetételű acél létezik, hanem azért is, mert a súrlódási tényezők a felület simaságától is függenek. Két durva felületet nehéz egymáson elmozdítani, mert a felületi egyenetlenségek könnyen egymásba tudnak kapaszkodni. Ha

csiszolással csökkentjük a felületi egyenetlenségeket, akkor a súrlódási tényezők csökkennek. Ha azonban a csiszolást tovább folytatjuk, amit már polírozásnak nevezünk, vagyis rendkívül sima felületek érintkezését hozzuk létre, akkor a súrlódási tényezők (különösen a tapadási tényező) meglepően nagy mértékben növekedni kezdenek. Ilyenkor nem a makroszkopikus egyenetlenségek okozzák a súrlódási együtthatók növekedését, hanem mikroszkopikusan egyre több atom kerül közvetlenül egymás mellé, az egymáshoz igen közeli elektronfelhők játékaaként vonzó kölcsönhatás lép fel. Még azt is megfigyelhetjük, hogy a tapadási súrlódás mértéke növekszik, ha az érintkező felületeket előzőleg egyre hosszabb ideig összenyomva tartjuk.

Mitől függ a súrlódás?

A teljesen korrekt válasz az, hogy a súrlódás mindentől függ, amitől csak függhet. A legtöbb tényezőtől azonban csak igen kis mértékben függ (ilyen tényező az érintkező felületek nagysága, csúszás esetén a mozgás sebessége, tapadás esetén az előélet, vagyis az, hogy hogyan és mennyi ideig nyomtuk össze a vizsgálat előtt a felületeket, a testek hőmérséklete stb.). Ezeket a tényezőket elhanyagoljuk, és megelégszünk egy egyszerűsített leírással, mert ez is jó közelítéssel a kísérleti tapasztalatokkal egyező eredményekre vezet. Tehát azt mondjuk, hogy a súrlódás nem függ az érintkező felületek nagyságától, csúszási súrlódás esetén nem függ a mozgás sebességétől, a hőmérséklettől, az előélettől, de ezt úgy értjük, hogy ezek hatása annyira kicsi, hogy a számításainkban elhanyagolhatjuk.

Hallottál róla?

A súrlódással, kopással, kenőanyagok használatával foglalkozó tudomány neve **tribológia**. A tribológia a súrlódás esetén minden fontosnak tekinthető tényezőt figyelembe vesz, leírásmódja messze meghaladja a középiskolai fizika tárgyalási szintjét.

NE HIBÁZZ!

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a súrlódás lényeges módon csak az érintkező felületek anyagi minőségétől és a felületeket összenyomó erő nagyságától függ. Csúszási súrlódás esetén a súrlódási erő nagysága a súrlódási együttható és a felületekre merőleges nyomóerő szorzataként adható meg ($F_s = \mu F_{ny}$), és iránya ellentétes az elcsúszó felületek relatív (egymáshoz képesti) mozgásirányával. A tapadási súrlódási erő nagysága és iránya olyan, ami ahhoz szükséges, hogy az érintkező felületek ne csússzanak el egymáson. (Mind a csúszási, mind a tapadási súrlódási erő az érintkező felületek érintősíkjában fekszik.) A tapadási súrlódási erő a külső elcsúsztató hatásokkal arányosan addig növekedhet, amíg el nem éri legnagyobb értékét. A tapadási súrlódási erő maximális értékét a tapadási súrlódási együttható és a felületekre merőleges nyomóerő szorzataként adhatjuk meg ($0 < F_{tap} \leq F_{tap, max.} = \mu_0 F_{ny}$).

Gördülési ellenállás

Sokan a kereket tartják az emberiség legfontosabb találmányának. A kerekkel rendelkező járművek, szállítóeszközök sokkal könnyebben mozgathatók, mintha csúsznának a talajon. Egy személygépkocsit vízszintes úton viszony-

MÉRD MEG!

Egy rugós erőmérő segítségével mérd meg egy fahasáb és az asztallap közötti tapadási és csúszási súrlódási együtthatót! Az adatokat és a számokat a füzetedbe írd!

Akaszd a testet a rugós erőmérőre! Amikor a test nyugalomban van, akkor leolvashatod a műszerről a test súlyát. A vízszintes alátámasztást ugyanekkora erővel nyomja:
 $F_{ny} = *$



■ A méréshez szükséges eszközök

Az asztalon nyugvó erőmérő segítségével vízszintes irányú, lassan, egyenletesen növekvő nagyságú erőt fejtünk ki a hasábra. Olvaszuk le azt az értéket, amelynél a hasáb megindult! Ez az érték adja meg a tapadási erő maximumát:
 $F_{tap, max.} = *$

A tapadási súrlódási együttható értékét a két erő hányadosaként kapjuk meg:

$$\mu_0 = \frac{F_{tap, max.}}{F_{ny}} = \frac{*}{*} = *$$

Ugyanezt a hasábot mozgassuk lassan, egyenletesen az asztalon! Olvassuk le az egyenletes mozgáshoz szükséges vízszintes irányú erő nagyságát az erőmérőről, ami megegyezik a csúszási súrlódási erő nagyságával: $F_s = *$

A csúszási súrlódási együttható értékét ismét két erő hányadosaként kaphatjuk meg:

$$\mu = \frac{F_s}{F_{ny}} = \frac{*}{*} = *$$

Állapítsuk meg a két súrlódási együttható közötti relációt: $\mu \dots \mu_0$.

Érdemes a fenti méréseket úgy is elvégezni, hogy az F_{ny} nyomóerőt a hasábra helyezett súlyokkal növeljük.



■ A csapágy a forgó alkatrészek tengelyének megtámasztására szolgál úgy, hogy a forgómozgást a legkevésbé akadályozza. Milyen eszközeinkben van csapágy?

lag könnyen el tudunk tolni, azonban befékezett kerekek esetén még sok ember sem tudja megmozdítani a járműveket. A kerekek a talajon gördülnek, csúszási súrlódás a kocsik tengelye és a kerék között lép fel. Ezt a súrlódást is hatásosan lehet csökkenteni golyós vagy görgős csapágyak segítségével. Ilyenkor a kerék és a tengely nem közvetlenül csúszik egymáson, hanem a köztük lévő golyók vagy görgők mozognak. Ha vízszintes úton haladunk a kerékpárunkkal, és abbahagyjuk a hajtást, de nem fékezünk, akkor még sokáig gurulunk. A megrakott talicskát is csak elindítani nehéz, ha már mozog, akkor alig kell tolnunk haladása közben. A mozdonyok nagyon sok vasúti kocsiból álló szerelvényt képesek elhúzni, mert a kocsik kereke könnyen elgördül a sínen. Azt mondjuk, hogy ilyenkor **gördülési ellenállási erő** lép fel, ami sokkal kisebb, mint a csúszási súrlódási erő. A csúszási súrlódáshoz hasonló összefüggést használhatunk a gördülési ellenállás esetén is, amelyben a fellépő gördülési ellenállási erőt F_g -vel jelöljük:

$$F_g = \mu_g F_{ny}$$

Hallottál róla?

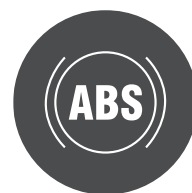
Az összefüggésben μ_g -t a gördülési ellenállás együtthatójának nevezzük, F_{ny} pedig a felületre merőleges nyomóerő. A μ_g gördülési ellenállási együttható jellemző értékei 10-szer–100-szor kisebbek, mint a csúszási súrlódási tényezők. Azonban puha, süppedékeny felületeken, sáros földúton a gördülési ellenállás nagyon megnövekedhet. Ilyenkor a kerekek méretét kell megnövelnünk. Ezért nagyok a földeken dolgozó traktorok, munkagépek és az erdészeti járművek kerekei. A nagyobb kerekek kisebb nyomást fejtenek ki, ezért kevésbé süppednek be a talajba, vagyis könnyebben gördülnek előre.

Hallottál róla?

Fékezéskor a gépjárművek nehezen irányíthatóvá válnak, ha megcsúsznak az úton. Ennek elkerülésére fejlesztették ki a megcsúszásgátló rendszert (ABS, ami az angol „Anti-lock Braking System” kifejezés rövidítése). Ha az érzékelő elektronika azt tapasztalja, hogy a kerekek blokkolva csúsznak, akkor rövid időre lecsökkenti a fékhatást, és ezzel megszünteti a megcsúszást. A jármű kerekeit állandóan a megcsúszás–tapadás határán tartja, másodpercenként akár 15-20-szor is ki-be kapcsol, így mindvégig irányítható marad a kocsik fékezés közben.

A blokkolásgátló első szabadalmi bejegyzése (1936) után fél évszázaddal megkezdődött a kipörgésgátlók gyártása is (1987) személygépkocsik részére. Mivel a motorok egyre erősebbek, ezért gyakran előfordul, hogy gyorsításkor a meghajtott kerekek kipörögnek. Sok fiatal vezető szeret csikorgó gumikkal indulni, mert így felhívja magára a figyelmet. Ezzel azonban erősen koptatja a gumikat, továbbá nehezen irányíthatóvá teszi az autót, sőt még rontja is a gyorsulása mértékét, ugyanis a tapadó súrlódás erősebb tud lenni a csúszó súrlódásnál. A kipörgésgátlók (ASR, Anti-Slip Regulation) működése nagymértékben hasonló a megcsúszásgátlóhoz. Ha az ASR 40 km/h alatti sebességnél érzékeli a kerekek kipörögését, akkor csökkenti a motor teljesítményét, miközben a fékek segítségével fékezi a túl gyorsan forgó kereket. Nagyobb sebességeknél azonban a fékeket nem működteti a megcsúszásgátló elektronika, hanem csak a motor teljesítményét csökkenti, nehogy megcsússzon az autó.

Az Electronic Stability Program, röviden ESP a pályaelhagyásos balesetek számát hivatott csökkenteni, ha a gépkocsi a saját tengelye körül hirtelen elfordul, a kormánymozdulatokra nem megfelelően reagál, vagyis elveszti a stabilitását. Szükségtől függően vagy csak a kerekekre leadott vonóerőt mérsékli, vagy ha ez kevésnek bizonyulna, egymástól teljesen függetlenül fékezi a megfelelő kerekeket is.



■ Az ABS visszajelző logója a műszerfalán

A közegellenállási erő

Ha gyorsan mozgó jármű ablakán kinyújtjuk a kezünket, akkor a „menetszél” nagy erővel nyomja hátra a tenyerünket. Ilyenkor tudjuk, hogy a talajhoz képest a levegő áll, az autó mozog, a járműben ülve viszont úgy érezzük, hogy kint erős szél fúj. Ha szélviharban nagy nehezen egy helyben állunk, akkor ugyanilyen erőt érzünk. Ez a **közegellenállási erő**, ami nemcsak levegőben, illetve más gázokban, hanem folyadékokban is fellép, ha a vizsgált test a gázhoz vagy a folyadékhoz képest mozog. A testre ható közegellenállási erő a testnek a közeghez viszonyított sebességével ellentétes irányba mutat. Ha álló közegben mozog egy test, akkor a közegellenállási erő ugyanúgy fékezi a test mozgását, ahogy a csúszási vagy a gördülési súrlódás.



■ Ejtőernyő

Hallottál róla?

- A súrlódás tulajdonképpen nem alapvető erő, hanem az érintkező anyagokat felépítő molekulák közötti elektromágneses erők következménye.
- A súrlódás lehet hasznos is. Nélküle nem tudnánk járni, közlekedni. Forgó alkatrészek mozgásakor időnként szíjmeghajtást használunk, ami súrlódás nélkül nem működne. Az autó tengelykapcsolója (kuplungja), fékrendszere is a súrlódáson alapszik.
- A súrlódás lehet káros is. Ilyenkor a hatását próbáljuk csökkenteni. A mozgó, érintkező alkatrészeket ezért olajozzuk, a korcsolyát élezzük, viasszal borítjuk be (vaxoljuk) a síléc futófelületét.
- Ejtőernyőzéskor a közegellenállási erő egyensúlyt tart a nehézségi erővel. A közegellenállási erőnek a repülőgépek és a madarak mozgása esetén is fontos a szerepe.
- Az új autókat olyan alakúra tervezik, hogy a rájuk ható közegellenállási erő minél kisebb legyen. Az új formákat szélcsatornában tesztelik.



■ Ezeknél a gyors járműveknél milyen módon csökkentették a közegellenállási erőt?

A közegellenállási erő iránya ellentétes a test közeghez viszonyított sebességével, nagysága pedig (viszonylag nagy sebességű mozgások esetén) egyenesen arányos a sebességének négyzetével:

$$F_{\text{köz}} \sim v^2$$

A közegellenállási erő nagysága függ még a közeg sűrűségétől, ρ a test alakjától (k) és a mozgás irányába mutató homlokfelület nagyságától (A):

$$F_{\text{köz}} = kA \frac{1}{2} \rho v^2$$

Ezeket a megállapításokat alátámaszthatjuk azzal, hogy vízben nehezebb mozognunk, mint levegőben; az áramvonalas testek könnyebben mozognak, mint a nem áramvonalasak; ha az autó ablakán a tenyerünk „szembenéz” a

Hallottál róla?

A légáramlás bonyolult összefüggéseit gyakorlati körülmények között tanulmányozzák a szélcsatornában. Itt tesztelik például az autók karosszériájának alakját, fejlesztik ki azt az áramvonalas formát, mely esetén a légeleállítás okozta többletfogyasztás a lehető legkisebb.



Hallottál róla?

Nagyon kis sebességek esetében (például, amikor a felkavart iszapos vízű Balatonban a homokszemcsék leülepednek) a közegellenállási erő nem a sebesség négyzetével, hanem magával a sebességgel, vagyis a sebesség első hatványával arányos. Igen nagy sebességek elérésekor (például, amikor a repülőgépek a hangsebesség közelében vagy még annál is gyorsabban haladnak) a közegellenállási erő a sebesség magasabb hatványával (általában a köbével) arányos.

NE FELEDD!

Egymással érintkező, nyugvó testek között tapadási súrlódási erő léphet fel: F_{tap}

$$F_{\text{tap}} \leq F_{\text{tap, max.}} = \mu_0 F_{\text{ny}}$$

Egymáson elcsúszó testek között hat a csúszási súrlódási erő: F_s

$$F_s = \mu F_{\text{ny}}$$

Valamilyen felületen gördülő testekre hat a gördülési ellenállást leíró erő: F_g

$$F_g = \mu_g F_{\text{ny}}$$

Általában fennáll a következő reláció:

$$\mu_g \ll \mu < \mu_0$$

A közegellenállási erő iránya ellentétes a test közeghez viszonyított sebességével, a nagysága gyorsan mozgó testeknél egyenesen arányos a sebesség négyzetével:

$$F_{\text{köz}} \sim v^2 \quad (F_{\text{köz}} = \frac{1}{2} k A \rho v^2)$$

menetszéllel, akkor sokkal nagyobb erő hat rá, mint amikor elfektetjük a tenyerünket.

A vitorlás hajók esetén a vitorlákra a szél közegellenállási ereje hat, a hajótestre pedig a vízé. Ha teljesen hátszél van, akkor a szél által a vitorlákra kifejtett erő előremutat, a hajótestre pedig hátrafelé hat a közegellenállási erő. Egyenletes mozgás esetén a két erő egyenlő nagyságú és ellentétes irányú. Ilyenkor a levegő közegellenállása hajtja a hajót, a vízé pedig fékezi.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: András és Béla ugyanolyan ejtőernyővel szokott ugrani. András esési sebessége 3 m/s, Béláé 4 m/s. Mekkora lenne az esési sebességük, ha egy ernyővel ugranának összekapaszkodva? Tételezzük fel, hogy az esés közben az ejtőernyőre ható közegellenállási erő egyenesen arányos a sebesség négyzetével!

Megoldás: Az ugrók esés közben egyenes vonalú egyenletes mozgást végeznek, tehát a rájuk ható erők eredője nulla, ezért a következő egyenletek írhatók fel:

$$\text{András: } m_1 g = \frac{1}{2} k A \rho v_1^2, \quad \text{Béla: } m_2 g = \frac{1}{2} k A \rho v_2^2$$

$$\text{Együtt: } (m_1 + m_2) g = \frac{1}{2} k A \rho v_3^2$$

Az arányossági tényező ugyanaz, mert egyforma ernyővel ugranak.

A fenti három egyenletet figyelembe véve a következő összefüggést írhatjuk fel:

$$\frac{1}{2} k A \rho v_1^2 + \frac{1}{2} k A \rho v_2^2 = \frac{1}{2} k A \rho v_3^2$$

$$v_1^2 + v_2^2 = v_3^2 \Rightarrow v_3 = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = 5 \text{ m/s}$$

A két ugró összekapaszkodva, egy ernyővel 5 m/s sebességgel érkezne a talajra.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Az alábbi szavakkal egészítsd ki a füzetedben a következő mondatokat:

csökkenti, nagyobb, növeli, kisebb

- Két test között a tapadási súrlódási erő maximuma legtöbbször \star , mint a csúszási súrlódási erő.
 - A testek sokkal \star erővel mozgathatók el egymáson, ha közéjük görgőket teszünk.
 - Esős időben az út felületét borító vízréteg \star kelek és a talaj közötti súrlódást.
- Esőben hosszabb úton lehet az autót megállítani. Miért?
 - Egy kisebb szekrény tömege 12 kg. Azt tapasztaljuk, hogy 60 N nagyságú vízszintes irányú erő hatására a test éppen megmozdul, az egyenletes mozgatásához 36 N erő szükséges. Mekkora a tapadási és a csúszási súrlódási együttható értéke?

4. Miért szórnak télen a jeges járdára, útra homokot?

5. Az autóknak van nyári, illetve téli gumijuk. Járj utána, mi a különbség a két gumi anyaga és mintázata között! Melyik miért előnyös?

6. Gépek egymáshoz érintkező alkatrészeinél hogyan csökkenthető a súrlódás káros hatása?

7. Sorolj fel olyan jelenségeket, ahol kifejezetten hasznos a súrlódás, illetve a közegellenállás! Sorolj fel olyat is, ahol inkább a fenti hatások csökkentésére törekszünk!

8. Miért lehet egy nagyobb kerekű kerékpárral gyorsabban haladni?

9. Ejts le azonos magasságból egy ép és egy összegyűrt papírlapot! Írd le mindkét mozgást, és próbáld értelmezni is!

10. A felszerelésével együtt 80 kg-os ejtőernyős már egyenletesen ereszkedik. Mekkora a rá ható közegellenállási erő nagysága és milyen az iránya?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A gyakorlat bemutatása előtt a tornász magnéziumporral keni be a tenyerét. Amikor megkérdezik tőle, hogy ezt miért teszi, akkor így válaszol: „Ha beporozod a tenyeredet, akkor nem fogsz rátapadni a korlátra, de irányíthatatlanul lecsúszni sem. A magnézium-karbonátportól a tenyered iszonyúan »csúszós« lesz. Csakhogy nem úgy, mint az izzadság, ami tapad és csúszik egyszerre, lenyúzva a bőrt. Csak az izmaidon múlik.” Magyarázd meg a magnéziumpor hatását fizikai ismereteidre alapozva!



2. Egy 2 kg tömegű test és a vízszintes talaj között a tapadási súrlódási együttható értéke 0,25; a csúszási súrlódási együttható 0,15.
- Legalább mekkora nagyságú vízszintes irányú erővel lehet megmozdítani?
 - Mekkora nagyságú vízszintes irányú erővel lehet egyenletesen mozgatni egy egyenes mentén?
 - A testre 5 N nagyságú, vízszintes irányú erőt fejtünk ki. Mekkora lesz a test gyorsulása? Mekkora lesz a test sebessége 2 másodperces mozgatás után? Mennyi utat tesz meg ezalatt?

3. Vízszintes jégpályán 1 m/s sebességgel elütött korong 20 méter megtétele után áll meg. Mekkora a test gyorsulása? Mekkora a korong és a jég közötti csúszási súrlódási együttható?



4. Egymás mellől elejtünk egy kisebb és egy nagyobb üveggolyót. Melyiknek lesz nagyobb az állandósult esési sebessége? Miért?
5. A mai Formula-1-es autók 2 másodperc alatt képesek 100 km/h sebességre gyorsulni. Milyen technikai megoldással lehet ezt az intenzív sebességváltozást megvalósítani? Mekkora lehet növelni a gumiabroncs és az aszfalt közötti tapadási súrlódási együtthatót? Próbáld tájékozódni az internet segítségével!



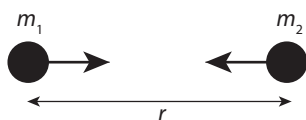
6. Alakítsunk ki minél lassabban, illetve minél gyorsabban eső struktúrát egy adott méretű papírlapból! Törekedjünk arra, hogy a papírlap függőleges egyenes mentén mozogjon!
7. Egy kisebb tömegű és egy nagyobb tömegű tárgyat engedünk le ugyanazzal az ejtőernyővel. Mindkét tárgy egyenletesen esik lefelé, de nem azonos sebességgel. Melyik tárgy fog nagyobb sebességgel esni és miért?

8. | Tömegvonzás

A nagy fizikusokról gyakran keringenek ismert legendák a világban. Ilyen történet Newton és az alma, amiről nemrégiben bizonyították be, hogy igaz (Newton saját leírását találták meg az esetről). Zsenialitás kellett ahhoz, hogy Newton észrevegye, hogy mind az almafáról lehulló alma mozgását, mind a Hold Föld körüli keringését a Föld tömegvonzása okozza. Az alma a földre esik, a Hold „körbeesi” a Földet.

Nehézségi erő, gravitációs erő

A nehézségi gyorsulás alapvető oka a Föld és az eső test közötti **gravitációs kölcsönhatás**, a tömegvonzás. Bármely két test között kölcsönös gravitációs vonzóerő lép fel. Az egyik test ugyanakkora erővel vonzza a másikat, mint a másik az egyiket attól függetlenül, hogy tömegeik különbözőek vagy megegyezők. Pontszerű testek esetén a gravitációs erő nagysága egyenesen arányos a két test tömegével, és fordítottan arányos a két test közötti távolság négyzetével. Newton 1687-ben megjelent fő művében, a *Principiában* fogalmazta meg a gravitációs vonzóerő nagyságát megadó összefüggését:

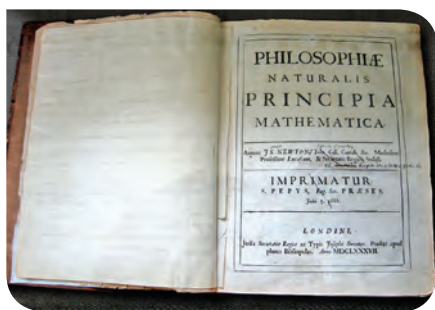


$$F_{\text{grav}} = f \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

A törvényben szereplő f arányossági tényező a **gravitációs állandó**. Newton nem ismerte a gravitációs állandó értékét, mert Newton korában még nem rendelkeztek ennek meghatározásához elegendő pontosságú műszerrel. Több mint száz évvel később Cavendish torziós ingájával nagy pontossággal megmérte a gravitációs állandót, melynek ma elfogadott értéke:

$$f = 6,67428 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

Gömbszimmetrikus kiterjedt testek esetén a Newton-féle gravitációs vonzóerőt úgy számíthatjuk, mintha a testek a középpontjukba lennének sűrítve, tehát ilyenkor a távolságot a gömbök középpontjától kell mérnünk.

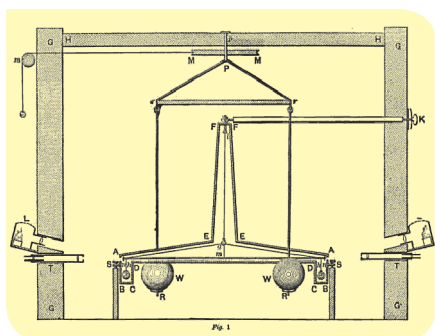


■ Newton saját példánya a *Principiából*

Hogyan volt régen?

Newton 1687-ben fő művében, a *Principiában* fogalmazta meg a gravitációs törvényt. Az erőtvényben szereplő f gravitációs állandó értékének megmérése 1798-ig várni kellett. *Cavendish* igazából nem a gravitációs állandó értékét mérte meg közvetlenül. Speciális torziós ingát használt a méréséhez. Egy erős és könnyű farudat a közepénél fogva felfüggesztett egy vékony huzallal (torziós szál), melynek végein egy-egy ólomgolyó volt. A kisebb golyókhoz nagy (160 kg) tömegű ólomgolyókat közelítettek. Az ólomgolyók közötti vonzóerő hatására az inga elfordult. További vizsgálatokkal megállapította, hogy mekkora erő okoz a huzalban ekkora elfordulást. Az így kapott erőt össze tudta hasonlítani a Föld által a kicsi golyóra kifejtett erővel. Ezekből az adatokból a Föld tömegét határozta meg. Mérési eredményeiből már következik az f gravitációs állandó értéke, de Cavendish maga nem gondolt erre.

A nehézségi gyorsulás értékét alapvetően az égitest tömege és sugara határozza meg. Más égitestek felületén a nehézségi gyorsulás is különbözik a földi értéktől. A Hold egyenlítőjén a g értéke $1,62 \text{ m/s}^2$, ami kb. a földi érték hatoda. Napunk egyenlítőjén a nehézségi gyorsulás 274 m/s^2 .



■ Az inga vázolata Cavendish könyvéből

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: A Föld sugarának és a felszínén mérhető nehézségi gyorsulás értékének ismeretében a gravitációs erőtvény felhasználásával határozzuk meg a Föld tömegét!

Adatok: $R = 6370 \text{ km} = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Megoldás: A felszín közelében lévő m tömegű próbatestre ható nehézségi erőt azonosíthatjuk az m tömegű test és az M tömegű Föld között ható gravitációs erővel:

$$F_{\text{gr}} = mg$$

$$f \cdot \frac{Mm}{R^2} = mg$$

Egyszerűsítsünk a próbatest m tömegével, és fejezzük ki a Föld M tömegét:

$$M = \frac{gR^2}{f} = \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (6,37 \cdot 10^6 \text{ m})^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg} \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

A Föld tömege kb. $6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Ha a földfelszín közelében egy szabadon eső test gyorsulása g , vagyis a nehézségi gyorsulás, akkor azt mondhatjuk, hogy a testre mg erő hat. Ezt az erőt **nehézségi erőnek** nevezzük. **A nehézségi erő lényegében a gravitációs erővel egyezik meg.** Ha a Föld nem forogna a tengelye körül, akkor az egyezés sokkal pontosabb lenne, de így is a Föld forgása legfeljebb három és fél ezrelékes eltérést eredményez a nehézségi erő és a gravitációs erő között. Ezért jó közelítéssel a két erőt azonosnak tekinthetjük, vagyis felírhatjuk a következő összefüggéseket:

$$F_{\text{gr}} = mg$$

$$f \cdot \frac{Mm}{R^2} = mg \Rightarrow g = f \cdot \frac{M}{R^2}$$

ahol M a Föld tömege, R pedig a sugara.

Láthatjuk, hogy a g nehézségi gyorsulás értéke a Föld felszínén egyenesen arányos az f gravitációs állandóval és a Föld M tömegével, és fordítottan arányos a Föld R sugarának a négyzetével.



NE FELEDD!

Két test között a tömegvonzás következtében fellépő kölcsönös vonzóerő a gravitációs erő:

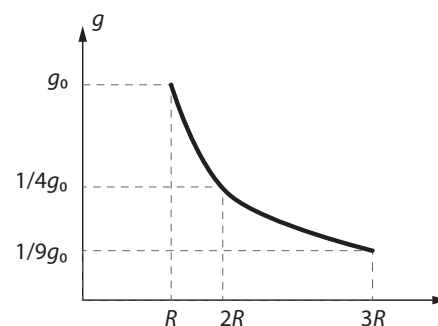
$$F_{\text{grav}} = f \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

a gravitációs állandó értéke:

$$f = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

A Föld felszínén a nehézségi gyorsulás értékét a gravitációs állandón kívül lényeges mértékben csak a Föld tömege és sugara határozza meg.

A Föld felszínén a nehézségi gyorsulás értékét kisebb mértékben befolyásolja a vizsgált hely földrajzi szélessége, valamint a felszín alatti anyag sűrűsége.



■ Az R sugarú bolygó felszínén a nehézségi gyorsulás g_0 . A bolygó középpontjától $2R$ távol (a felszín felett R magasan) már csak $\frac{1}{4}g_0$. Vajon hogyan változhat a nehézségi gyorsulás értéke a felszín alatt?

■ Eötvös Loránd méréseket végez torziós ingájával a Ság-hegyen

Eötvös Loránd (1848–1919) magyar fizikus érdeklődése az 1880-as években fordult a gravitáció felé. Világhírűvé vált torziós ingája. Az Eötvös-ingával a nehézségi gyorsulás helyi változásait lehet nagy pontossággal mérni, amiből a felszín alatti anyag sűrűségére lehet következtetni. Ezzel a módszerrel lehetett a föld belsejében lévő ásványi anyagokat kutatni.



EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mekkora gravitációs vonzóerő hat a Föld és a Nap között, ha tudjuk, hogy távolságuk 150 millió km, a Föld tömege $6 \cdot 10^{24}$ kg, a Nap tömege $2 \cdot 10^{30}$ kg?
2. Testnevelésórán egy 50 és egy 60 kg tömegű tanuló összegömbölyödve guggol a talajon egymástól 3 méterre. Mekkora gravitációs erővel vonzzák egymást? Melyik vonzza nagyobb erővel a másikat?
3. Az eredeti értékéhez viszonyítva mekkorára változik két égitest közötti gravitációs vonzóerő, ha távolságuk a kétszeresére, háromszorosára, illetve n -szeresére nő?
4. Az eredeti értékéhez viszonyítva mekkorára változik két égitest közötti gravitációs vonzóerő, ha távolságuk a felére, harmadára, illetve $\frac{1}{n}$ -szeresére csökken?
5. Számold ki, hogy mekkora a gravitációs vonzóerő a Föld és a Hold, illetve a Nap és a Hold között! A szükséges adatokat a Négyjegyű függvénytáblázatból keresd ki!
6. A Föld kb. 81-szer nagyobb tömegű, mint a Hold. Melyik vonzza a másikat nagyobb erővel?
7. Nézz utána Eötvös Loránd gravitációs kutatásainak!



ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Amennyiben a Föld anyaga egynemű lenne, hogyan változna a g nehézségi gyorsulás értéke a Föld közepe felé haladva? Mennyi lenne ez az érték a Föld közepén?
2. A Mars tömege 0,1-szerese a Föld tömegének, sugara fele a Föld sugarának. Mekkora a nehézségi gyorsulás a Mars felszínén? Mekkora gravitációs erő hatott a 410 kg-os Phoenix űrszondára a Mars felszínén?
3. A Nap sugara 700 000 km. Felszínén a nehézségi gyorsulás 274 m/s^2 . Mekkora a Nap tömege és átlagos sűrűsége?
4. Mekkora a nehézségi gyorsulás a Föld felszíne felett földszagárnyi magasságban?
5. A Hold tömege a Föld tömegének 0,0123-szerese, a sugara a Föld sugarának 0,273-szerese. A Föld felszínén, az Egyenlítő mentén a gravitációs gyorsulás $9,78 \text{ m/s}^2$. Mekkora a gravitációs gyorsulás a Hold felszínén?
6. Számold ki a Nap és Hold közötti, valamint a Föld és a Hold közötti vonzóerők arányát. (A szükséges adatokat a Négyjegyű függvénytáblázatból keresd ki!) Az eredmény nem jelez ellentmondást?

9. | Készítsünk rakétát!

A rakétahajtás elve

A **rakéta** olyan repülő eszköz, mely a belőle kiáramló gázok (folyadékok) által biztosítja az őt gyorsító tolóerőt.

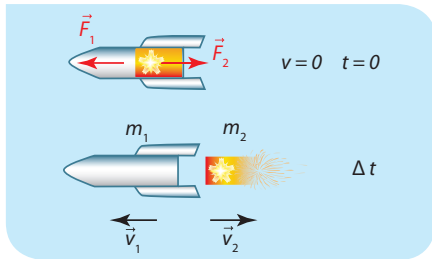
Vizsgáljuk a rakétahajtást közelebbről! A jelenséget leegyszerűsítve a következőképpen tárgyalhatjuk:

Az m_1 tömegű rakéta és az m_2 tömegű üzemanyag kezdetben áll. A kölcsönhatásuk következtében a rakéta \vec{v}_1 sebességgel elindul előre, az üzemanyag \vec{v}_2 sebességgel hátra.

A rakéta \vec{F}_2 erőt fejt ki az üzemanyagra, az üzemanyag \vec{F}_1 erőt fejt ki a rakétára. A kölcsönhatási törvény (Newton harmadik törvénye) alapján a két erő azonos nagyságú (és ellentétes irányú):

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

A rakétahajtás tehát azon alapszik, hogy amikor **a rakétahajtómű hátralöki az üzemanyagot**, akkor **az üzemanyag előrehajtja a rakétát**.



- A rakéta az indítás előtt és az üzemanyag kiáramlása után

A lendület

Képzeld el, hogy a világűr egy távoli pontjában áll egy űrhajó, majd egy pillanatra bekapcsolja a hajtóművét. Ha az űrhajó rövid idő alatt m_2 tömegű üzemanyagot lövell ki hátrafelé v_2 sebességgel, akkor (az üzemanyag-vesztés miatt némileg lecsökkent) m_1 tömegű űrhajó v_1 sebességgel elindul előre. Megmutatható, hogy a sebességek nagyságát használva a következő összefüggés írható fel:

$$m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$$

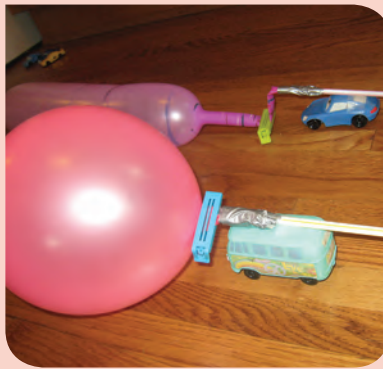
Ha azt is figyelembe akarjuk venni, hogy a sebesség vektormennyiség, akkor az összefüggés kissé másként alakul:

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 = -m_2 \cdot \vec{v}_2$$

vagy

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = 0$$

KÍSÉRLETEZZ!



- Léggömbbel hajtott játék rakéta

Egy kiskocsira erősített luft fújjunk fel, majd hagyjuk, hogy a levegő szabadon kiáramoljon.

Az Apollo-program, melynek fő célja az ember Holdra juttatása volt, 1961 és 1972 között zajlott, és mai értéken százötvenmilliárd dollárba került. 1969 és 1972 között összesen hat sikeres holdraszállást hajtottak végre. A fellövésekhez minden alkalommal a háromfokozatú Saturn V hordozórakétát használták. A mai napig ez a hordozóeszköz számít a legnagyobb és legerősebb sorozatban gyártott és szolgálatba állított rakétának, bár ma már nem használják. A 110 méter magas, 10 méter átmérőjű, 2800 tonna tömegű óriásrakéta alacsony pályára 118 tonna terhet, a Holdhoz pedig 47 tonnát tudott eljuttatni.



- Az első embert a Holdra juttató Apollo-11 indítása. Számold ki, hány emeletes ház magassága egyezik meg a Saturn V hordozórakéta (népszerű nevén a holdrakéta) magasságával!

Hogyan volt régen?

Newton eredetileg éppen így fogalmazta meg második törvényét: egy test lendületváltozása megegyezik a testre ható erők eredőjének erőlkésével, és a változás éppen az erőlkés irányában történik. Ez a megfogalmazás általánosabbnak tekinthető, mint a mai korban elfogadott $\sum \vec{F} = m \vec{a}$ alak, mert a lendület megváltozása nemcsak a test sebességének megváltozásakor következhet be, hanem a test tömegének megváltozásaakor is. A test tömegének folyamatos változására a legfontosabb gyakorlati eset éppen a rakéták működése, hiszen a hajtómű által kibocsátott üzemanyag folyamatosan csökkenti a rakéta tömegét.

A tömeg és a sebességvektor szorzataként meghatározott fizikai mennyiséget **lendületnek**, idegen szóval **impulzusnak** nevezzük:

$$\vec{I} = m \cdot \vec{v}$$

A lendületvektor iránya megegyezik a test sebességének irányával. (Kiterjedt testek lendületét, impulzusát úgy számíthatjuk ki, hogy a test tömegét megszorozzuk a tömegközéppontjuk sebességével.) A lendület mértékegysége: kgm/s.

A lendülettétel

Ha rövid Δt idő alatt megváltozik egy állandó tömegű test sebessége Δv -vel, akkor a lendületváltozást így írhatjuk fel:

$$\Delta \vec{I} = m \cdot \Delta \vec{v}$$

Osszuk el mindkét oldalt Δt -vel:

$$\frac{\Delta \vec{I}}{\Delta t} = \frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Vegyük észre, hogy a jobb oldalon a tömeg és a gyorsulás szorzata áll, ami Newton második törvénye értelmében éppen az eredő erővel egyezik meg:

$$\left(\frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t} = m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F} \right)$$

Ez azt jelenti, hogy egy test lendületváltozását úgy számíthatjuk ki, hogy az eredő erőt megszorozzuk a lendületváltozáshoz szükséges rövid Δt időintervallummal:

$$\Delta \vec{I} = (\sum \vec{F}) \cdot \Delta t$$

Ezt az összefüggést **lendülettételek** nevezzük. A test lendületének megváltozása megegyezik a testre ható eredő erő és az erőhatás rövid időintervallumának szorzatával. Ezt a szorzatot erőlkésnek szokás nevezni. Tehát a lendülettétel kimondja, hogy **a test lendületváltozása egyenlő a testre ható erők eredőjének erőlkésével.** Ez a tétel teljesen egyenrangú Newton második törvényével, a dinamika alaptörvényével.

MÉRD MEG!

Az ingyenesen letölthető Audacity hangelemző program segítségével határozd meg több különböző felület és egy pingponglabda közötti ütközési számot! Járj utána, mit nevezünk ütközési számnak!

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: A 60 kg tömegű András 6 m/s sebességgel hátulról ráugrik egy sínen nyugvó 40 kg tömegű kocsira. (A kocsi könnyen gördül a vízszintes sínen.) Mekkora sebességgel indul el a kocsi Andrással?

Megoldás: Az András és a kocsi közötti kölcsönhatást tekinthetjük „ütközésnek”, amelyre alkalmazhatjuk a lendületmegmaradás törvényét. Az ütközés előtti lendületek összege megegyezik az ütközés utánival:

$$\sum I_{\text{ü.e.}} = I_{\text{ü.u.}}$$

A kölcsönhatás előtt csak András hordoz lendületet. A kölcsönhatás után azonos v_k sebességgel mozognak. Ha M András és m a kiskocsi tömege, akkor:

$$Mv = (M + m) v_k$$

$$v_k = \frac{M}{M + m} v = \frac{60 \text{ kg}}{60 \text{ kg} + 40 \text{ kg}} \cdot 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 12,96 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

András a kocsival 12,96 km/h sebességgel indul el a sínen.

Az olyan ütközést, melynek végén a testek egy testként, azonos sebességgel haladnak tovább, **tökéletesen rugalmatlan ütközésnek** nevezzük.

A lendületmegmaradás törvénye

Vizsgáljunk egy olyan rendszert, melyben egynél több test található. Ha a rendszert alkotó testekre nem hat külső erő, hanem csak a rendszeren belüli testek hatnak egymásra, akkor ezeket a belső erőket párokba rendezhetjük. Minden erő mellett megtaláljuk azt az ellenerőt, ami a test kölcsönhatási partnerére hat. Minden erő $\vec{F}\Delta t$ erőlökése mellé találhatunk egy másik testre (a kölcsönhatási partnerre) ható $-\vec{F}\Delta t$ erőlökést. Ezek az erőlökések meg tudják változtatni a rendszeren belüli egyes testek lendületét, azonban a teljes rendszer lendülete nem változik, mert az összes erőlökéspár kiejteti egymást. Ezt másképp úgy fogalmazhatjuk meg, hogy a belső erők összege a teljes rendszerre mindig nulla, vagyis a rendszer teljes lendülete a belső erők hatására nem változik meg. Ugyanez következik be akkor is, ha ugyan vannak külső erők, de ezek összege nulla.

Több testből álló rendszer teljes lendülete állandó marad, ha a rendszerben lévő testekre csak belső erők hatnak, vagy ha a rendszerre ható külső erők vektori összege nulla, azaz a rendszer mechanikailag zárt. Ezt a törvényt nevezzük a **lendületmegmaradás törvényének**.

Nagyon gyakran a vizsgált rendszer két testből áll. Ha érvényes a rendszerre a lendületmegmaradás törvénye, akkor a következő egyenletet írhatjuk fel a testek lendületére:

$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 = \vec{I}'_1 + \vec{I}'_2$$

ahol a bal oldalon található a két test kezdeti lendületének, a jobb oldalon pedig a két test végállapotbeli lendületének az összege. Ezt az egyenletet használjuk fel például két test ütközésének leírásakor. Ilyenkor a testek ütközés előtti lendületösszegét írjuk a bal oldalra, és az ütközés utáni lendületeket a jobb oldalra.

Hogyan volt régen?

Az első rakéták az ókori Kínában jelentek meg Kr. e. 300-ban, de lehetséges, hogy csak 1000 évvel később. Ekkor tűzijátékokra használták őket. A XII. században jelentek meg a rakéták mint fegyverek. Tudományos vizsgálatokra, úrkutatásra a XX. század közepétől építenek rakétákat.

A XX. században az amerikai Robert Goddard építette meg az első folyékony hajtóanyagú rakétát 1926-ban. Már 1903-ban megjelent az orosz Konsztantyin Ciolkovszkij rakétákról szóló munkája (*A világűr kutatása rakétameghajtású eszközökkel*). A rakétafejlesztéshez hozzájárult az erdélyi születésű Hermann Oberth is. 1923-ban egy könyve jelent meg *Rakéta a planetáris térben* címmel.

A XX. században először Németországban végeztek komoly rakétakísérleteket a II. világháború idején, amelyekből megszületett a V-2. Ez a rakéta volt a mostani ballisztikus rakéták és az űrhajózási hordozórakéták őse. Ezzel a rakétával bombázta Londont a náci hadsereg. A V-2 tervezője Wernher von Braun volt, aki a II. világháború után az Egyesült Államokban, a NASA vezető kutatójaként, a V-2 továbbfejlesztésével alkotta meg a Holdra szálláshoz használt Saturn V hordozórakétát.

A modern rakétahajtómű egy különleges sugárhajtómű, mely környezetétől függetlenül működik, hiszen a működéshez szükséges hajtóanyagot és az égéshez szükséges oxidáló anyagot is maga a rakéta szállítja. Ezért működhet a rakéta hatékonyan légüres térben, vagy akár víz alatt is. Jelenleg kémiai rakétahajtóműveket használnak, melyek hagyományos tüzelőanyagok elégetéséből nyerik a magas hőmérsékletű gázokat, melyeket a fúvókán átvezetve gyorsítanak. A kémiai hajtóműveket a felhasznált tüzelőanyag halmazállapota szerint szilárd, folyékony, gáz vagy hibrid hajtóanyagúaknak nevezzük.

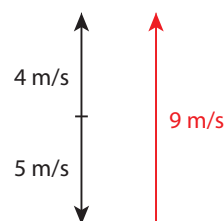
SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy nagyon pontos filmfelvétel képességeit elemelve kiderült, hogy egy 5 dkg tömegű gumilabda 5 m/s sebességgel ütközik a padlónak és 4 m/s sebességgel pattan vissza. Az ütközés időtartama 0,1 másodperc. Átlagosan mekkora erő hatott a gumilabdára a visszapattanás közben?

Megoldás: Alkalmazzuk a lendület-tételt!

$$\sum F = \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t} = \frac{m \cdot \Delta v}{\Delta t}$$

A labda sebessége 5 m/s-ról lecsökken nullára, majd a másik irányba megnő 4 m/s-ra. Így a sebesség megváltozása 9 m/s.



■ A rajzon láthatjuk a labda leérkezési és visszapattanási sebességét, valamint a sebességváltozását jelző vektort is

Tehát a labda lendületváltozása:

$$\Delta I = m \cdot \Delta v = (0,05 \text{ kg}) \cdot (9 \text{ m/s}) = 0,45 \text{ kgm/s}$$

A lendületváltozás iránya felfelé mutat ugyanúgy, mint a sebességváltozás iránya.

Helyettesítsük be a lendület-tételbe:

$$\sum F = \frac{m \cdot \Delta v}{\Delta t} = \frac{0,45 \text{ kgm/s}}{0,1 \text{ s}} = 4,5 \text{ N}$$

Tehát visszapattanás közben átlagosan 4,5 N felfelé mutató eredő erő hatott a labdára. A labdára ható nehézségi erő lefelé mutat, és mindvégig $mg = 0,5 \text{ N}$ nagyságú.

Ezt jelenti, hogy a padló átlagosan 5 N erővel hatott a labdára felfelé (és ugyanígy, a labda a pattanás közben átlagosan 5 N erővel nyomta lefelé a padlót).

Hallottál róla?

A rakéta elnevezésünk az olasz „rochhetta” szóra utal, ami csövecskét jelent.

A 2. világháborúban jelent meg a „szovjet csodafegyver”, a katyusa, ami gyakorlatilag egy teherautóra szerelt rakéta-sorozatvető. Igen pontatlan fegyver volt, inkább sokkoló pszichológiai hatása miatt használták.

Ballisztikus rakétának azt a fegyvert nevezzük, melynek hajtóműve a pályájának elején működik, ezt követően a rakéta a sűrű légkörön kívül hajtási parabolapályán emelkedik, majd süllyed. Esetleg a röppálya vége felé ismét működésbe lép a hajtómű, hogy kisebb manővereket végezzen a rakéta a célbaérés előtt. A harcászati ballisztikus rakéták hatótávolsága akár 10 ezer km is lehet. Ezeket hívjuk interkontinentális rakétafegyvernek. Van olyan korszerű fegyverek, amelyek egy rakétatesten akár több rakétafejet is hordoznak. Ezek azért különösen kegyetlen eszközök, mert egyidejűleg több célt tudnak támadni, valamint az ellenük való védekezés roppant nehéz.

NE FELEDD!

A testek mozgásállapotát jellemzi a lendület, idegen szóval az impulzus:
 $\vec{I} = m\vec{v}$.

A rakétahatás hátterében a kölcsönhatási törvény áll. A rakétatest lendülete megváltozásának nagysága megegyezik a kiáramló üzemanyag lendületváltozásával, iránya ellentétes vele.

Newton II. törvényének ($\sum \vec{F} = m\vec{a}$)

másik megfogalmazása a lendülettel: $\sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{I}}{\Delta t}$

Ez az összefüggés azt fejezi ki, hogy a testre ható eredő erő megegyezik a test lendületének időbeli változási ütemével.

A lendületmegmaradás törvénye kimondja, hogy egy zárt rendszerben, melyben csak belső erők hatnak (vagy a külső erők eredője nulla), a testek kölcsönhatása közben a testek összes lendülete nem változik, állandó marad.

KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Milyen állatok, járművek mozgását lehet a lendületmegmaradás törvényével magyarázni?
- Egy kezdetben 40 kg össztömegű, a kilövőállványon álló rakétából másodpercenként 25 dkg égéstermék áramlik ki a hajtóművéből 1500 m/s sebességgel.
 - Mekkora függőleges irányú tolóerőt fejt ki emiatt a kiáramló gáz a rakétatestre?
 - A hajtómű bekapcsolását követően mennyi idő múlva emelkedik meg a rakéta?
- Egy 7,5 kg tömegű puskával kilövünk egy 10 gramm tömegű lőszert 300 m/s sebességgel. Mekkora sebességgel lökődne vissza a szabadon lévő puska? Mit kell tennünk, ha nem szeretnénk azt, hogy a visszalökődő puska „megüssön” minket?
- Egy derékszögű országúti útkereszteződésben úgy ütközik össze két, kb. azonos tömegű autó, hogy összeakadva együtt sodródnak le az útról. Hogyan lehet eldönteni, melyik autó haladt gyorsabban ütközés előtt?
- Mi lehet az oka annak, hogy vannak olyan országok, melyek igen sok pénzt áldoznak rakéatechnikára?
- Készíts teafilterből rakétát! A filter két végét vágd fel, a tasakból a teafüvet szórd ki! A könnyű filterpapírból kialakított hengert állítsd egy tányérra, majd gyűjtsd meg a felső végét. Mit tapasztalsz? Adj magyarázatot a jelenségre!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

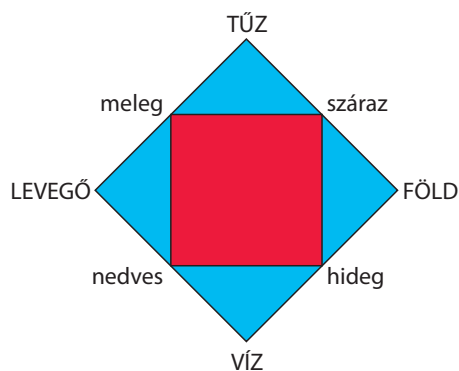
- A Föld tömege kb. 81,3-szor nagyobb, mint a Hold tömege. Igaz-e, hogy a Föld lendülete nagyobb, mint a Hold lendülete? Indokolj! (Használjuk a Föld–Hold-rendszer tömegközéppontjához rögzített vonatkoztatási rendszert.)
- Egyenes úton egy irányba halad két azonos tömegű autó. Az egyik sebessége 80 km/h, a másiké 100 km/h. Mondhatjuk-e, hogy a két test lendületének nagysága mindig különböző? Indokolj!
- Jégpályán két egymással szemben álló gyermek ellöki magát a másiktól. Az egyik gyermek tömege 40 kg, a másiké 50 kg. Add meg a szétlökés utáni kezdősebességeik arányát!
- Egyenes pályán egyenletesen gördül egy nyitott vasúti kocsi, amin egy gyerek utazik. A kocsiban sok nehéz, tenyérsúlyú golyó van. Hogyan dobálja ki a golyókat a kocsiból a golyókat egymás után, ha azt szeretné elérni, hogy a vasúti kocsi sebessége
 - csökkenjen,
 - ne változzon,
 - növekedjen?
- Egyenes, vízszintes pályán 2 m/s sebességgel gördülő vasúti kocsi rugalmatlanul nekiütközik egy négy kocsiból álló szerelvénynek. Mekkora az így már 5 kocsiból álló szerelvény sebessége az ütközést követő pillanatban?
- Egy játék rakéta vízszintes kötélpályán függ, mozgását csak a sebesség négyzetével arányos közegellenállási erő fékezi. Hajtóművét bekapcsolva a rakéta másodpercenként 6 gramm hajtóanyagot lövell ki önmagához képest 8 m/s sebességgel. A közegellenállási erő nagysága 1 m/s sebességnél 0,008 N. Mekkora sebességet érhet el a rakéta?

10. | A folyadékok tulajdonságai

Hogyan volt régen?

Arisztotelész felfogása szerint a víz egyike az őselemeknek. Elmélete szerint a világot négy őselem építi fel, ezek a Föld, a Tűz, a Víz és a Levegő.

Az elemekhez négy alaptulajdonság rendelhető, melyből mindegyik kettőt testesít meg. A dolgok a négy őselem különböző arányú keverékéből állnak, és így jellemzőik az alaptulajdonságokból származtathatóak.



- Föld: száraz, hideg
- Levegő: nedves, meleg
- Tűz: száraz, meleg
- Víz: nedves, hideg

Életünk legfontosabb, meghatározó folyadéka a víz. Viselkedésének szabályszerűségei és rendhagyó sajátosságai alapvetően befolyásolják környezetünket.



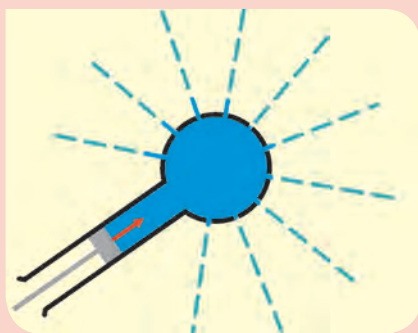
A víz tulajdonságai

A víz színtelen és szagtalan folyadék. A folyadékokra jellemző módon a földi gravitációs térben felveszi az edény alakját. A folyadékok gyakorlatilag összenyomhatatlanok. Ez azt jelenti, hogy a folyadék térfogata még akkor is csak elhanyagolható mértékben csökken, ha nagy erővel hatunk a folyadékra.

Ha egy zárt tartályban lévő nyugvó folyadékra nyomást gyakorlunk, az minden irányba gyengítetlenül terjed, a folyadék minden pontjában ugyanazt a nyomásnövekedést mérjük. Ezt nevezzük **Pascal törvényének**.

■ Gyakran lehet hallani: a víz nagy kincs, óvd a természetet és takarékoskodj a vízzel! Tudva, hogy a víz örök körforgásban van, melyik a fontosabb: a természet óvása vagy a vízzel való takarékoskodás?

KÍSÉRLETEZZ!



■ A vízbuzogánnyal végzett kísérlet Pascal törvényét demonstrálja



■ Blaise Pascal (1623–1662) korabeli rézkarcon

A dugattyúval kifejtett nyomás Pascal törvényének megfelelően csillapítatlanul terjed az üveggömbben, ezért a gömb felületén lévő kicsiny lyukakon azonos sebességgel spriccel ki a víz minden irányba. PET-palackból könnyen készíthetünk a vízbuzogányhoz hasonló eszközt, ha a palack falába egyforma, kicsiny lyukakat fúrunk, majd megtöltjük a palackot vízzel, amit a csavaros kupakkal lezárunk, végül kezünkkel megszorítjuk a palack falát.

EMLÉKEZTETŐ

A szilárd tárgyak súlyuknál fogva erőt, és így nyomást is gyakorolnak az alátámasztásukra, de nyomása van a levegőnek és a folyadékoknak is. A nyomást nemcsak a testek súlya okozhatja, hanem bármilyen más erőhatás is létrehozhatja. A felületre ható nyomóerő nagysága kiszámolható a nyomás és a felület területének szorzataként.

$$p = \frac{F}{A}$$

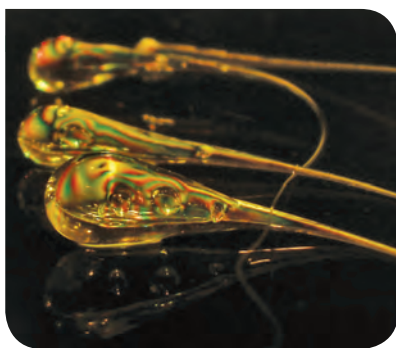
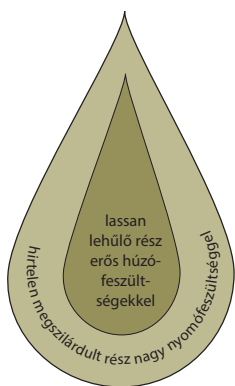
mértékegysége $\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}$ (Pascal)

NE HIBÁZZ!

A klasszikus görög filozófia őselemtana ma is tovább él, de már nem tudományos elméletként, hanem asztrológusok, csodadoktorok és misztikus sors-elemzők munkáiban.

Hallottál róla?

A különleges viselkedésű üveg-cseppeket *Rupert bajor herceg* ajándékozta II. Károly angol királynak a XVII. században. Mivel abban az időszakban az üveg használata nem volt annyira elterjedt, mint manapság, a bolognai cseppekkel végzett kísérletek misztikus csodálatot váltottak ki a nézőkben. Manapság a bolognai üvegcseppet *spinglő*cnak is hívják.



Ez a törvény nemcsak nyugvó folyadékokra, hanem zárt tartályban lévő nyugvó gázokra is igaz. A Pascal-törvény annak a tulajdonságnak a következménye, hogy nyugvó folyadékokban és gázokban nem lépnek fel csúsztató (tudományos néven nyírási) mechanikai feszültségek.

RUPERT HERCEG KÖNYVCSEPPJEI (Olvasmány)

Ha olvadt üveget hideg vízbe cseppentünk, az egy nyúlványban végződő csepp alakú testté szilárdul. A test belsejében rendkívül nagy mechanikai feszültség halmozódik fel amiatt, hogy a külső felület gyors megszilárdulását a belső rész kihűlése csak fokozatosan követi. Ha a csepp felületét a nyúlvány letörésével megbontjuk, ötszörös levegőbeli hangsebességgel (5M) terjedő robbanással oldódik ki a cseppben felhalmozódó feszültség, a csepp kismértékben kitágul, majd porrá omlik. Ha a kísérletet úgy végezzük, hogy a cseppeket összeszorított tenyerünkben tartjuk, semmilyen érdemleges hatást nem kelt a parányi robbanás. Ha viszont a cseppeket vízbe, azaz összenyomhatatlan folyadékba tesszük, a villámgyors lökés hullám a vizet tároló vastag falú üvegedényt is darabokra törí.

Hidraulikus prés és emelő

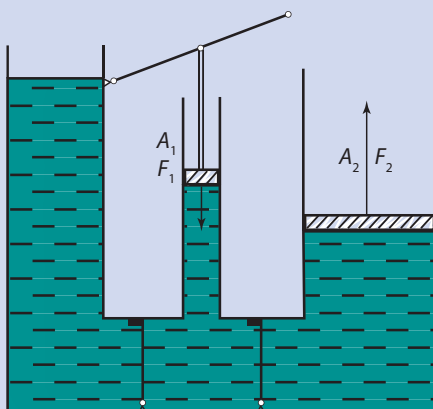
A Pascal-törvény alapján hatékony erőátviteli eszközöket hozhatunk létre. A folyadékra gyakorolt nyomás gyengítetlenül terjed, így amennyiben $A_1 < A_2$, a nyomás állandósága miatt $F_2 > F_1$. F_1 erővel mi hatottunk a folyadékra, míg F_2 erőt fejt ki a folyadék a környezetére, ami sokkal nagyobb lehet, mint az általunk kifejtett erő.

$$\frac{F_1}{A_1} = p_1 = p_2 = \frac{F_2}{A_2} \rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} \rightarrow F_2 = F_1 \cdot \frac{A_2}{A_1}$$

A gyakorlati megvalósítást mutatják az alábbi ábrák (az A_1 felületű dugattyú hosszú elmozdulását a szelepek segítségével ismétlődő elmozdulások összegként valósítjuk meg).

SZÁMOLD KI!

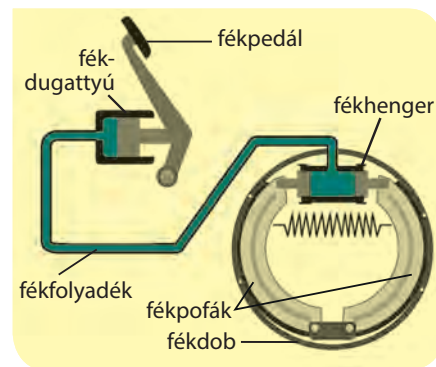
Az ábrán lévő elrendezésben százszoros erőátvitelt szeretnénk elérni. A dugattyú keresztmetszete kör alakú. Hogyan aránylik egymáshoz a két dugattyú sugara?



■ Hidraulikus emelő működése

Az olajfék

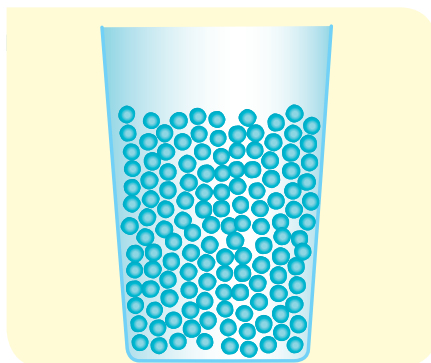
A gépjárművek fékberendezése is a Pascal-törvényen alapszik. A vázlat azt mutatja be, hogy a fékpedál lenyomásával hogyan szorulnak a fékpofák a fékdobhoz, így fékezve a kerék forgását. A fékfolyadék egyfajta olajszerű anyag. A korszerű autókban a dobfék helyett tárcsaféket használnak. Régi teherautókban légféket is találhatunk, ezekben sűrített levegő szorítja a fékpofákat a fékdobhoz.



■ Dobfék működése

Hogyan modellezhetjük a folyadékot?

A folyadékok részecskéit egymáshoz szorosan simuló, egymáson elgördülni képes golyócskákként modellezhetjük. Az akadálymentes elgördülés magyarázza, hogy a folyadékokban nyírási (elcsúsztató) erők nem lépnek fel. Az egyes golyók összenyomhatatlanok, a szomszédos golyók között **vonzó kölcsönhatás** van. A vonzó kölcsönhatást úgy kell értenünk, hogy ha el akarjuk távolítani egymástól a szomszédos molekulákat, akkor azok vonzóerővel hatnak egymásra.

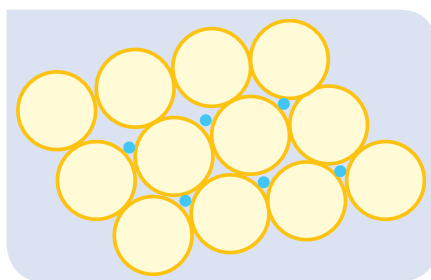


Ha viszont közelíteni akarjuk őket, akkor meglepően erős taszítás lép fel közöttük, ezért lehet merev golyókként modellezni a részecskéket. Egyensúlyi helyzetben a molekulákra (a golyócskákra) ható erők eredője nulla.

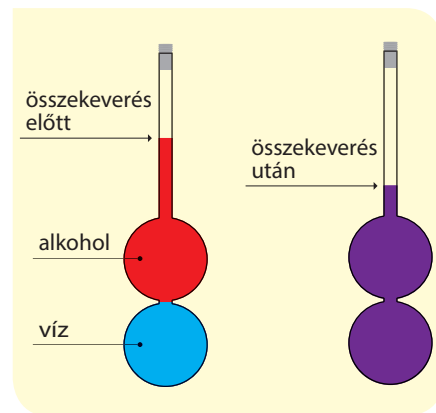
1 + 1 ≠ 2

Ha két folyadékot, például 1 dm^3 vizet és 1 dm^3 alkoholt összekeverünk, a keverék térfogata kisebb lesz, mint az egyes folyadékok térfogata külön-külön, azaz kevesebb lesz a térfogat, mint 2 dm^3 . A jelenség a folyadékok részecskemodelljével értelmezhető.

A teljes térfogat csökkenését az okozza, hogy az alkohol és víz keveréke jobb térkihasználást tud megvalósítani, mint az alkohol és a víz külön-külön. A jelenség ahhoz hasonló, mint amikor babot és mákot keverünk össze. A mák szemcséi jól ki tudják tölteni a babok közötti üres helyeket.



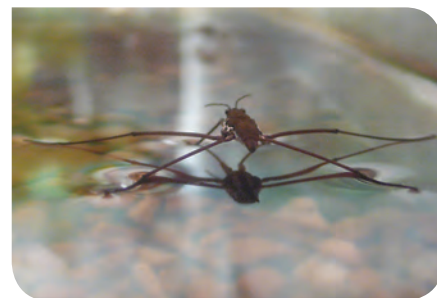
■ A folyadék részecskemodellje



■ Víz és alkohol összekeverés előtt és után

Felületi feszültség

Mivel a folyadék részecskéi vonzzák egymást, a nyugalomban lévő folyadékfelszín „átszakításához” erőre van szükség. Ekkor ugyanis folyadék részecskéket távolítunk el egymástól. Másképp megfogalmazva ez azt jelenti, hogy a folyadékfelszín könnyű, nagy területű tárgyak megtartására képes még akkor is, ha a tárgy a folyadékba merítve már elsüllyed. A jelenség a felületi feszültség megnyilvánulása. A felületi feszültség játszik szerepet a vízimolnárkák vízfelszínén való mozgásában.



■ Vízimolnárka



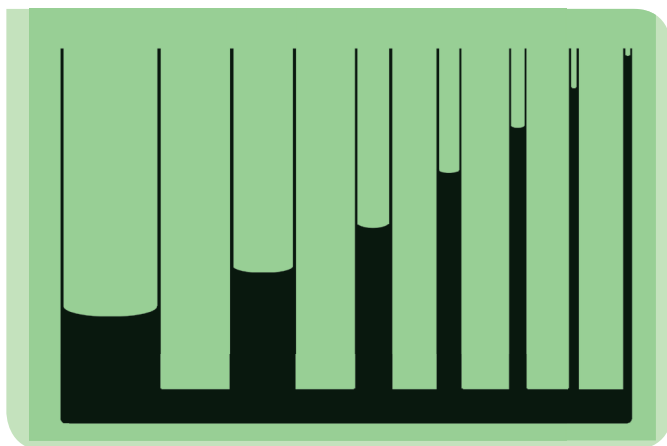
■ Az űrhajóban lebegő gömb alakú vízcsepp optikai lencseként viselkedik

Vízcsepp az űrben

A folyadék részecskéi között fellépő összetartó erő jelenlétét bizonyítja a víz viselkedése a súlytalanság állapotában. Egyéb erőktől mentes környezetben a vízcsepp gömbbé ugrik össze, kialakítva azt az optimális alakzatot, amikor a vízcsepp részecskéi közötti kölcsönhatások száma a legnagyobb, vagy másképp megfogalmazva, a vízcsepp felülete minimális.

A kapillárisjelenség

A folyadék és a tárolóedény között is fellép kölcsönhatás. Amennyiben az edény anyaga és a folyadék részecskéi közötti kölcsönhatási erő nagyobb, mint a folyadék részecskéi között ható erő, **nedvesít**ről beszélünk. A folyadék rátapad, ráhúzódik az edényre. Ha egy folyadék nedvesít egy anyagot, akkor annak vékony csöveiben magasabbra fut, mint ahogy azt a közlekedőedények elve alapján várnánk. Annál magasabbra, minél kisebb keresztmetszetű a cső. Ez a jelenség a **hajszálcsövesség**. A hajszálcsövességnek alapvető szerepe van a növények vízfelszívásában, a test vérellátásában a hajszálereken keresztül, de hajszálcsövesség miatt szívja fel a szivacs a vizet, az itatós a tintát, a kockacukor a kávéját. A talaj vízmozgató képességét is a hajszálcsövességnek köszönhetjük.



■ Hajszálcsövesség nedvesítő folyadék esetén

Amennyiben a folyadék részecskéi közötti kölcsönhatási erő nagyobb, mint az érintkező anyaggal való kölcsönhatás ereje, a folyadék **nem nedvesít**. Nem nedvesíti az esőcsepp a viaszos bevonatú leveleket, így a vízcsepp a növények gyökeréhez gördülhet; nem nedvesíti, így nem rothasztja az eső a hamvas őszibarackot, az impregnált esőkabátból pedig leperreg a víz. Amennyiben egy hajszálcsőrendszert egy folyadék nem nedvesít, akkor a folyadékszintek a közlekedőedények törvénye szerint várt közös szint alá kerülnek, annál mélyebben, minél vékonyabb a cső.

KÍSÉRLETEZZ!

Fektesd egy gemkapcsot az ábrán látható módon a vízre, majd cseppents az egyik oldalára egy csepp mosószert! Figyeld meg, hogyan befolyásolja a víz felületi feszültségét a mosószert!



Tőled függ!

Természetes vizeink szennyezése számos élőlényt veszélyeztet. Nemcsak a közvetlen mérgezés által, hanem a víz fizikai tulajdonságainak megváltozása is ellehetetlenítheti egyes élőlények életkörülményeit. Ne csak magad miatt figyelj természetes vizeink tisztaságára!

KÍSÉRLETEZZ!

Ha forró sütőlapra (felforrósított teflonedénybe) vizet cseppentesz, a vízcseppek alja azonnal gőzzé válik, és a csepp még el nem párolgott része ezen a gőzpárnán közelítőleg gömbbé összeugorva lebeg (ezt nevezzük Leidenfrost-jelenségnek). Mivel a víz rossz hővezető, ez az állapot néhány másodpercig eltarthat. Ezalatt a víz teljesen elpárolog. A látványos kísérlet elvégzése során figyelj arra, hogy meg ne égesd magad!

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi a Pascal-törvény, és hogyan következnek a folyadékok tulajdonságaiból?
2. Mikor nedvesítő és mikor nem nedvesítő egy folyadék?
3. Mi a hajszálcsövesség jelensége? Mi a jelenség magyarázata? Sorolj fel néhány példát a hajszálcsövesség természetbeni előfordulására!
4. Mutass be példákat arra az esetre, amikor ugyanolyan nagyságú erők különböző nagyságú nyomást fejtenek ki!
5. Értelmezd a nyomás fogalmát a fakírok által használt szöges ágypéldáján keresztül!
6. Mit jelent, hogy a folyadék összenyomhatatlan?
7. Hogyan értelmezhető az összenyomhatatlanság a részecskemoddellel?
8. Sorolj fel a környezetedből olyan példákat, amelyekben a felületi feszültség megnyilvánul!
9. Készítsd el Pascal rövid életrajzát! Milyen tudományterületekkel foglalkozott?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Értelmezd a folyadékmodell alapján a folyadékok alábbi tulajdonságait!
 - a) A folyadékok gravitációs térben felveszik az edény alakját.
 - b) A folyadékok térfogata állandó.
 - c) A folyadékok összenyomhatatlanok.
2. Milyen tulajdonságokkal kell rendelkeznie a megfelelő fékfolyadéknak?
3. Magyarázd meg a hidraulikus emelő működését a Pascal-törvény segítségével!
4. Fújj szappanbuborékot! Mutasd meg, hogy ha a fújást abbahagyod, a levegő visszaáramlik a szívószálon, és a buborék összehúzódik. Mi a jelenség magyarázata?
5. Hogyan igazolhatjuk a vízrészecskék közötti összetartó erőket? Javasolj konkrét megfigyeléseket vagy kísérleti elrendezést!
6. Egy hidraulikus emelővel 46 cm magasra szeretnénk felemelni 8 mázsa súlyt. Az emelés során az emelőkart többször le kell nyomnunk. A kar egyszeri lenyomása során 80 cm úton fejtünk ki 150 N erőt. Hányszor kell lenyomni a kart a teljes emelés alatt?
7. Kimondható-e egy folyadékról általánosságban, hogy nem nedvesítő?
8. Sorolj fel a tankönyvben nem szereplő példákat a kapillárisjelenségre!
9. Az egyik háborúban a katonák halak tömegét pusztították el úgy, hogy robbanóanyagot robbantottak fel egy tóban. Mi történhetett?
10. A felületi feszültségi erő a folyadék és üveg érintkező kerületének hosszától függ egy adott folyadék (pl. víz) esetén. Hogyan aránylanak egymáshoz a különböző átmérőjű üvegcsövekben a hajszálcsövesség miatt megemelkedett vízoszlopok, ha a külső vízszint feletti többlet vízmennyiség súlyát a felületi feszültségi erő tartja meg?

NE FELEDD!

A folyadékok, így a víz is, közös körülmények között gyakorlatilag összenyomhatatlanok.

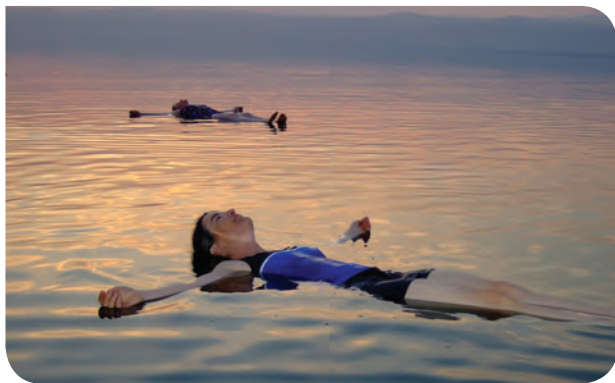
Pascal törvénye szerint zárt tartályokban lévő nyugvó folyadékokban és gázokban a nyomás akadálytalanul terjed. A jelenség révén olyan erőátviteli eszközöket készíthetünk, mint például a hidraulikus emelő.

A folyadékok részecskemoddellel nemcsak a Pascal-törvényt értelmezhetjük, hanem a felületi feszültség jelenségét is. A folyadék és más anyag kölcsönhatását vizsgálva értelmezhetjük a nedvesítés és nem nedvesítés fogalmát, és megérthetjük a folyadék viselkedését vékony csövekben. Ezek a jelenségek alapvetőek az élőlények szervezete, működése szempontjából.



11. | Testek a vízben

Ha egy testet vízbe merítünk, az vagy lesüllyed az edény aljára, vagy lebegni fog, vagy kiemelkedik, és részben a víz felszíne alatt, részben felette elhelyezkedve úszik. Ebben a fejezetben azt vizsgáljuk, milyen okok és törvények határozzák meg ezt az ismert tapasztalatot.



■ Lebegés (fizikai értelemben úszás) a Holt-tengerben

A hidrosztatikai nyomás

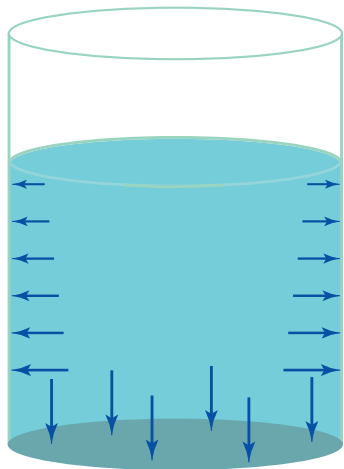
Egyenes henger alakú edénybe öntsünk h magasságú, ρ sűrűségű folyadékot. A folyadék erőt fejt ki az edény falára is, aljára is. A szemben lévő falrészekre kifejtett erők kiejtik egymást, így beláthatjuk, hogy a folyadék a teljes súlyával az egyenes henger aljára nehezedik, ezért nyomást fejt ki az edény aljára. Ezt a p nyomást a következő módon számíthatjuk ki: A folyadék a saját súlyával, tehát mg nagyságú erővel nyomja az edény alját, amit pA alakban is kifejezhetünk a p nyomással és az edény A alapterületével. Így a nyomást $p = \frac{mg}{A}$ alakban

kapjuk meg, ahol a folyadék m tömegét a ρ sűrűségével és a $V = Ah$ térfogatával a következő módon fejezhetjük ki: $m = \rho V = \rho Ah$. Az így kifejezett tömeget írjuk be a nyomás kifejezésébe, és egyszerűsítsünk az A területtel:

$$p = \frac{mg}{A} = \frac{(\rho Ah)g}{A} = \rho gh$$

Az így kapott nyomást nevezzük **hidrosztatikai nyomásnak**. A hidrosztatikai nyomás a folyadék súlyából származik; egyenesen arányos a folyadék sűrűségével, a nehézségi gyorsulással és a mélységgel. Nem függ az edény alakjától, vagyis adott helyen, meghatározott sűrűségű folyadék esetén csak a folyadék felszínétől mért távolságtól függ.

EMLÉKEZTETŐ



A folyadékok földi viszonyok között erővel hatnak környezetükre, hiszen hat rájuk a nehézségi erő, és bennük a nyomás gyengítenélkül terjed. Egy pohár víz nyomja a pohár alját, de a falát is.

A testek sűrűsége tömegük és térfogatuk hányadosa.

Ugyanez a formula gázokra is érvényes, ha csak olyan kis magasságokat vizsgálunk, amikor a gáz sűrűsége állandónak tekinthető. Nem érvényes azonban a Föld légkörére nagy magasságokban, mert ott nemcsak a nyomás, hanem a levegő sűrűsége is sokkal kisebb, mint a földfelszín közelében.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Mekkora a nyomás egy tóban 20 méteres mélységben?

Megoldás: A víz sűrűsége nagyjából 1000 kg/m^3 . Számítsuk ki a hidrosztatikai nyomást:

$$p = \rho gh = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot (20 \text{ m}) \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa} \approx 2 \text{ atm}$$

Megkaptuk a víz súlyából származó nyomást, ami hozzávetőlegesen 2 atmoszféra. Az abszolút nyomás viszont ennél nagyobb, mert ahhoz hozzá kell számítani a külső levegő nyomását is, ami a Pascal-törvény értelmében gyengítenélkül terjed a vízben. Ha a tó a tengerszint közelében van, akkor a légköri nyomás 1 atmoszféra (magas hegyeken ennél jelentősen kevesebb), így az abszolút nyomás a nem túlzottan magasan fekvő tavak 20 méteres mélyén nagyjából 3 atmoszféra.

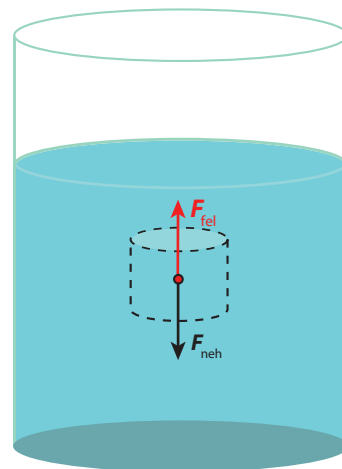
Vegyük észre, hogy a vízben minden 10 méteres vízmélység-növekedés 1 atmoszféréval emeli a nyomást. Ez lehetővé teszi, hogy a hidrosztatikai nyomásból a vízmélységre következtessünk. Ezt használják ki a búvárok vízmélységmérő óráiban.

A felhajtóerő

Vizsgáljunk egy pohár nyugalomban lévő vizet. Gondolatban jelöljünk ki egy térfogatot valahol a pohár belsejében a vízből. Példánkban hengernyi térfogatot jelöltünk ki.

Megfigyelhető, hogy a víz általunk vizsgált mennyisége nyugalomban van. Pedig erre a hengernyi vízre hat a gravitáció. Miért nem mozdul el a kijelölt víztömeg lefelé? Miért marad nyugalomban? Az egyetlen logikus magyarázat, hogy a környezete is erővel hat rá, és ez az erő kiegyenlíti a kijelölt vízre ható nehézségi erőt.

A folyadékba merült testekre a folyadékkörnyezet által kifejtett erőt felhajtóerőnek nevezzük.



■ A felhajtóerő, $F_{\text{felh}} = F_{\text{neh}}$

Honnan származik a felhajtóerő?

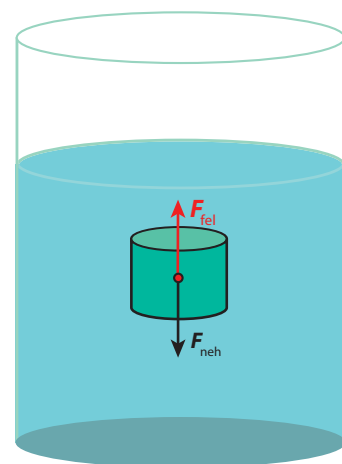
A folyadék a bemerülő testet minden irányból nyomja. A test aljára nagyobb nyomóerő hat felfelé, mint a tetejére lefelé, mert a folyadékban annál nagyobb a nyomás, minél mélyebben vagyunk a folyadékban. Ezeknek a nyomóerőknek az eredője a felhajtóerő.

Lebegés

Tételezzük fel, hogy a kijelölt térfogatnyi vizet kicseréljük ugyanakkora térfogatú, de valamilyen más anyaggal. Ha azt akarjuk, hogy az egyensúly továbbra is fennálljon, az anyag súlya nem lehet más, mint annak a hengernyi víznek a súlya, melynek a helyére került. Ez pedig azt jelenti, hogy az anyag sűrűsége meg kell hogy egyezzen a víz sűrűségével. Ha tehát e folyadékba merített test átlagsűrűsége megegyezik a folyadék sűrűségével, akkor a test egyensúlyban marad ott, ahová vittük.

$$\rho_{\text{test}} = \rho_{\text{folyadék}}$$

Ezt az állapotot **lebegésnek** nevezzük.



■ Lebegés, $F_{\text{felh}} = F_{\text{neh}}$

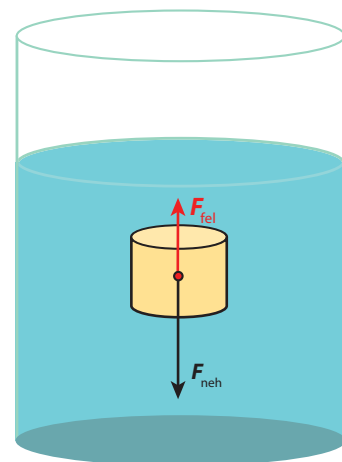
Hallottál róla?

Az emberi test átlagos sűrűsége a ki- és beléggzéssel finoman szabályozható. Üres tüdővel valamivel nagyobb a víz sűrűségénél, teli tüdővel kisebb. Ennek magyarázata, hogy testünk alapvetően vízből épül fel. Amikor közvetlenül a víz felszíne alatt lebegünk, sűrűségünk éppen megegyezik a víz sűrűségével, azaz kerekítve $1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/liter}$. Ez azt is jelenti, hogy testünk térfogata hozzávetőlegesen annyi liter térfogatú, ahány kilogramm tömegűek vagyunk.

Mikor merül el egy test a folyadékban?

Előző példánknál maradván, ha hengernyi vizünket egy nála nagyobb súlyú (de azonos térfogatú) testre cseréljük, akkor a test súlya nagyobb lesz, mint a folyadékkörnyezet által ható felhajtóerő, így a test elsüllyed. Ebben az esetben a test átlagsűrűsége nagyobb, mint a víz sűrűsége.

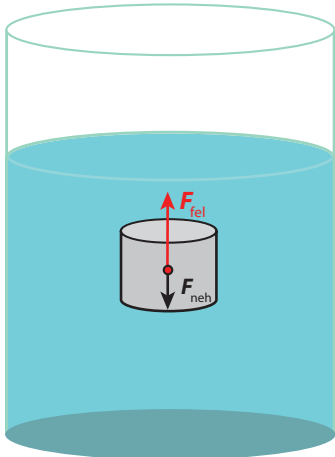
$$\rho_{\text{test}} > \rho_{\text{folyadék}}$$



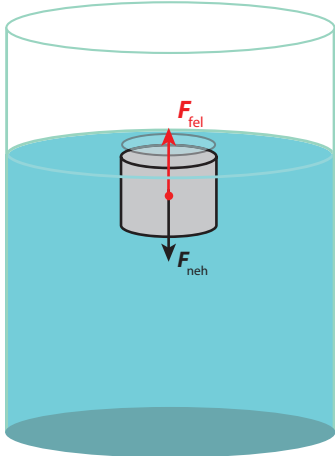
■ Süllyedés, $F_{\text{felh}} < F_{\text{neh}}$

Hallottál róla?

Ha egy emlősállat vízbe fullad, tüdejébe víz kerül, akkor sűrűsége a víznél nagyobb lesz, elmerül a teteme a vízben. A test lebomlása során gázok szabadulnak fel, így a test sűrűsége lecsökken, és feljön a víz felszínére.



■ Emelkedés, $F_{felh} > F_{neh}$



■ Úszás, $F_{felh} = F_{neh}$

SZÁMOLD KI!

Mekkora annak a testnek a sűrűsége, amelyik térfogatának a 80%-a merül el a 0,9 g/cm³ sűrűségű olajban?

Meddig tart a süllyedés?

A süllyedés addig tart, ameddig a test le nem ér az edény aljára.

A testek úszása

Ha a hengernyi vizet egy nála kisebb súlyú (de azonos térfogatú) anyagra cseréljük, a test megindul felfelé. Ebben az esetben a test sűrűsége kisebb, mint a víz átlagsűrűsége.

$$\rho_{\text{test}} < \rho_{\text{folyadék}}$$

Meddig tart az emelkedés?

A test mindaddig emelkedni fog, ameddig a rá ható felhajtóerő nagyobb, mint a rá ható nehézségi erő. A vízből fokozatosan kiemelkedve a felhajtóerő csökkenni kezd, hiszen már nem az eredeti hengernyi víz helyét foglalja el a test, hanem fokozatosan annál egyre kevesebbet. Az emelkedés addig tart, amíg az elfoglalt térfogatnyi víz súlya nem válik egyenlővé a test súlyával. Az egyensúly beálltával a test egy része kilóg a folyadékból. Ilyenkor a test úszik. Az előzőekben követett gondolatmenet alapján megfogalmazhatjuk **Arkhimédész törvényét**:

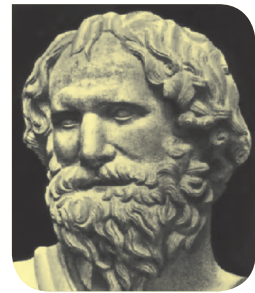
Egy folyadékba merített testre felhajtóerő hat. Ennek értéke megegyezik a test által kiszorított folyadék súlyával.

$$F_{\text{felhajtó}} = \rho_{\text{folyadék}} \cdot V_{\text{kiszorított}} \cdot g$$

Hallottál róla?

Arkhimédész törvénye nemcsak folyadékokra, hanem gázokra is érvényes.

Egy léghajó vagy egy gázzal töltött léggömb emelkedése a felhajtóerő fogalma segítségével értelmezhető. A léghajó vagy a léggömb akkor emelkedik fel, ha a rá ható nehézségi erő kisebb, mint az általa kiszorított levegő súlya.



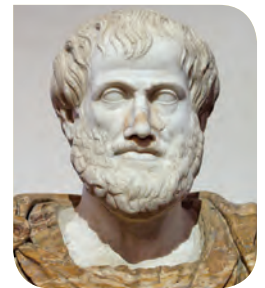
■ Arkhimédész (Kr. e. 287–212)

Hogyan árulkodik a testek sűrűségéről az úszásuk?

Ha egy test úszik a vízben, biztosak lehetünk abban, hogy átlagos sűrűsége kisebb a víz sűrűségénél. Vizsgáljunk egy homogén (egynemű anyagból készült)

Hogyan volt régen?

Az arisztotelészi fizika szerint a dolgok emelkedésének és süllyedésének magyarázata abban rejlik, hogy a dolgok a helyükre igyekeznek. Azaz minden dolognak van egy célszerű helye, és ha elkerül onnan, „törekvés ébred” benne, hogy oda visszakerüljön. Azok a dolgok, amelyek lefelé mozognak, az alsó régiókból származnak, amelyek felfelé, azoknak a helye felül van. Manapság ezt így szoktuk kifejezni: „energiaminimumra való törekvés”.



■ Arisztotelész (Kr. e. 384–322)

Hallottál róla?

A jéghegyek nem szabályos testek, hanem felfelé keskenyedő gúlóra hasonlítanak. Sűrűségük alapján térfogatuk 90%-a merül be a sós tengervízbe, de mivel felfelé keskenyednek, a kilógó rész magassága jóval meghaladja a teljes gúla magasságának 10%-át.

Az úszó sűrűségmérő ismeretlen folyadék sűrűségének meghatározására alkalmas. A nehezekkel kiegyensúlyozott eszköz úgy van kalibrálva, hogy bemerülésének mértékéből közvetlenül következtethetünk annak a folyadéknak a sűrűségére, amelybe merült, a sűrűség a folyadékból kiemelkedő skáláról könnyen leolvasható.

A szőlőlé cukortartalmát mustfokolóval mérik a borászok. Ez az eszköz egy úszó sűrűségmérő, és mivel a cukorfok és a sűrűség szoros kapcsolatban állnak egymással, az eszköz skálájáról közvetlenül a cukorfokot olvashatjuk le.

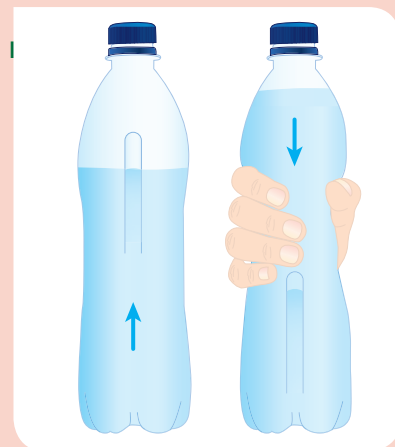


■ Úszó jéghegy



■ Úszó sűrűségmérő

KÍSÉRLETEZZ!



Cartesius (Descartes) búvárja

Egy vízzel telt pillepalackba tegyél egy lefordított, kis méretű kémcsövet úgy, hogy az éppen a folyadék felszínén lebegjen (csak kismértékben kilógva ússzon). Zárd le a palackot, majd nyomd össze az oldalát. Ha jól állítottad össze a kísérletet, a kémcső lemerül az edény aljára. Amikor a nyomást megszüntetted, a kémcső ismét felemelkedik. Figyeld meg a vízszintet a kémcső belsejében összenyomáskor és az összenyomás megszüntetésekor, és magyarázd meg, miért süllyed és emelkedik a kémcső!

Hasonló módon lehet értelmezni a tengeralattjáró lebegését, illetve magasságának változását.

hengert, mely a vízben úszva úgy helyezkedik el, hogy térfogatának $\frac{3}{4}$ része vízben, $\frac{1}{4}$ része a vízfelszín felett található. Mit állíthatunk a test sűrűségéről? Ha a test $\frac{3}{4}$ -e van vízben, ez azt jelenti, hogy a test súlya térfogatának $\frac{3}{4}$ -ét kitevő víz súlyával egyezik meg. Tehát a test sűrűsége a víz sűrűségének $\frac{3}{4}$ része, $0,75 \text{ g/cm}^3$.

Galilei hőmérője

Galilei hőmérőjében a hőmérséklet emelkedését színes gömbök lesüllyedése jelzi. A melegedés során a folyadék és a gömbök egyaránt tágulnak, így változik a sűrűségük. De a tágulás mértéke más és más, így a gömbök folyadékhoz viszonyított sűrűsége is változik. A gyakorlatban a folyadék tágulásához képest az üveggömbök tágulása elhanyagolható. Ezért a folyadék sűrűsége határozza meg, hogy a gömbök felemelkednek-e vagy lesüllyednek. Amikor a lehűlés során a gömbök sűrűsége a folyadék sűrűségénél kisebbé válik, a gömbök elindulnak felfelé. A hőmérsékletet a gömbökre akasztott kis táblácskák mutatják. A pontos mérés megvalósításához egymáshoz nagyon közel eső sűrűségű gömbökre van szükség, amit az üveggömbökben lévő színes



■ Galilei hőmérője

Mit gondoltak régen?

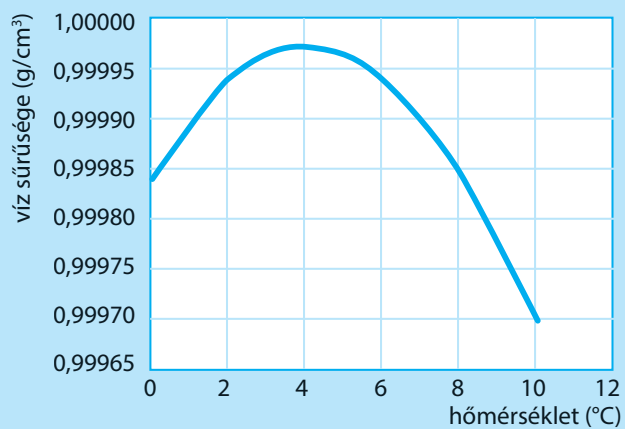


Hieron király koronája

A szicíliai Szürakuszában Hieron király uralkodása alatt alkotott Arkhimédész, a görög tudós. A király koronát készíttetett magának egy aranyművessel. Mikor elkészült a korona, a király elbizonytalanodott, hogy az aranyműves tiszta aranyból készítette-e a koronát, és nem kevert-e bele némi olcsóbb ezüstöt. A kérdés eldöntését Arkhimédészre bízta. A legenda szerint Arkhimédész a kádban fürödve jött rá a megoldásra. Mikor a teli kád vízbe merült, észrevette, hogy a kádból kifolyik a víz egy része. Heuréka, heuréka! („Megtaláltam!”), kiabálta Arkhimédész, és azon meztelenül rohant ki Szürakusza utcájára. Vajon mire jöhetett rá? A teli kádba merített teste által kiszorított víz a test térfogatáról árulkodott.

Hogyan oldható meg ezek után Hieron király problémája? Arkhimédész a korona tömegével megegyező tömegű aranydarabot merített vízbe, és a kiszorított víz mennyiségét összehasonlította a korona által kiszorított víz mennyiségével. Ekkor egyértelműen kiderült, hogy a korona térfogata nagyobb volt, mint a vele megegyező tömegű aranydarab, tehát a korona nem színaranyból készült, kisebb sűrűségű ezüstöt kevert anyagába az aranyműves. Ha a koronával megegyező tömegű ezüstdarab térfogatát is megmérjük, az is megállapítható, hány százaléka arany és mennyi benne az ezüst.

A legendának ez az alakja sántít. Az aranyművesnek biztosan kellett ezüstöt kevernie a korona aranyába, mert a tiszta arany (ezt hívjuk 24 karátosnak) annyira puha, hogy nem felel meg a korona használatához szükséges mechanikai szilárdságnak. Ezért készülnek az ékszereink is 18 karátos aranyból (aminek csak a 75%-a színarany).



folyadék mennyiségével tudnak szabályozni. Mindig a felül lévő gömbök közül a legalsóra akasztott táblácskán lévő szám mutatja az aktuális hőmérsékletet.

A víz rendhagyó sűrűsége

A víz 4 °C-on a legsűrűbb, akár melegítjük, akár hűtjük, a sűrűsége csökken. Ezért nem fagnak be fenéig a tavak, ennek következtében a befagyott tavakban nem pusztulnak el a halak, hiszen a tó aljára süllyedő 4 °C-os melegebb vízrétegben áttelelhetnek. A tó felszínét borító jég jó hőszigetelő, és akadályozza a nagy hidegek esetén is a tó alsóbb vízrétegeinek megfagyását. A víz rossz hővezető, így a tó alja nehezebben hűl át. A jég sűrűsége kisebb, mint a víz sűrűsége, így

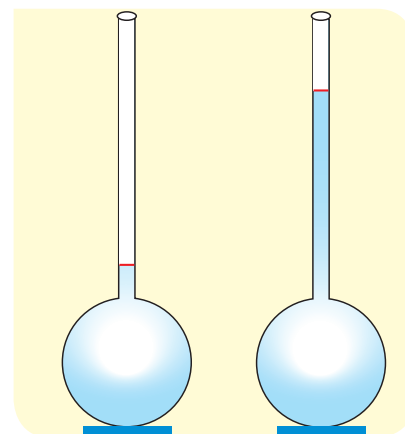
Gondold meg!

Miért nem készítünk vízhőmérőt?

Vízhőmérőt szeretnénk készíteni. A vizet egy vékony, nyitott üvegcsővel lezárt lombikba töltjük. Bejelöljük a víz felszínét egy piros csíkkal az üvegen, amikor a víz hőmérséklete 0 °C, és akkor is, amikor 100 °C. A két jelölés között 99 osztást teszünk. Válaszoljatok a következő kérdésekre!

• Lehet-e ezt a hőmérőt rendeltetésszerűen használni?

- Hogyan mozdul el a vízszint, ha a hőmérséklet 0 °C-ról 4 °C-ra melegszik?
- Hogyan mozdul el a vízszint, ha a hőmérséklet 4 °C-ról 8 °C-ra melegszik?
- Mekkora hőmérsékleten lesz közelítőleg ugyanolyan magasan a vízszint, mint 2 °C-on?
- Milyen egyéb nehézséget jelenthet a víz táguló közegként való használata?



a jég nem süllyed le a tó aljára, hanem a felszínén képez mind vastagabb réteget. Az ábráról az is leolvasható, hogy $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ között a víz sűrűsége csak igen kis mértékben változik. Magasabb hőmérsékleteken a sűrűség csökkenése sokkal jelentősebb, például $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a víz sűrűsége $0,98807\text{ g/cm}^3$, illetve $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on $0,95838\text{ g/cm}^3$. Ebből az következik, hogy csak a tiszta, hideg, desztillált víz sűrűsége tekinthető jó közelítéssel 1 g/cm^3 -nek.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Ismertesd egy folyadékba merülő test úszásának, lebegésének és elmerülésének feltételeit a testre ható erők segítségével!
2. Mutasd be az úszó sűrűségmérő működését!
3. Miért jelentős a földi élet szempontjából a víz és a jég sűrűségének rendhagyó viselkedése?
4. Mekkora a víz hidrosztatikai nyomása 5 méter mélyen? Mekkora a nyomás 5 méteres mélységben egy tóban?
5. Mutass be és magyarázz el egy konkrét kísérleti elrendezést, amely igazolja, hogy a folyadékokba merülő testekre felhajtóerő hat!
6. Függ-e a felhajtóerő attól, hogy milyen mélyen helyezkedik el a folyadékba teljesen bemerült test? És függ-e a test bemerült részének az alakjától?
7. Egy 10 N súlyú test lemerül egy vízzel telt edény aljára. A testre ható felhajtóerő 5 N . Mekkora erővel nyomja az edény alja a testet? Mekkora a test sűrűsége?
8. Mi a hasonlóság és mi a különbség az úszás és a lebegés jelensége között?
9. Vízet hűtünk le fokozatosan $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ról. Mikor változik többet a térfogata, ha $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ról $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra, vagy ha $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ról $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra csökkentjük a hőmérsékletét? (Használd az előző oldali grafikont!)
10. Melyik állítás igaz a kettő közül? (Használd az előző oldali grafikont!)
 - a) A tiszta víz sűrűsége $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten pontosan 1 g/cm^3 .
 - b) A tiszta víz sűrűsége $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten $0,999973\text{ g/cm}^3$.

NE FELEDD!

A folyadékok súlyából származó nyomást hidrosztatikai nyomásnak nevezzük, ami egyenesen arányos a folyadék sűrűségével, a nehézségi gyorsulással és a folyadékfelszíntől mért távolsággal:

$$p = \rho gh$$

A folyadékba merített testre felhajtóerő hat:

$$F_{\text{felhajtó}} = \rho_{\text{folyadék}} \cdot V_{\text{kiszorított}} \cdot g$$

Ha a felhajtóerő nagyobb, mint a folyadékba merített test súlya, a test felfelé mozdul, majd a folyadékból kiemelkedve kerül egyensúlyba.

Ha a felhajtóerő megegyezik a test súlyával, a test lebeg. Ha kisebb, akkor a test az edény aljára süllyed. Az úszó test és a folyadék sűrűségének aránya határozza meg, hogy a test hányadrésze merül a folyadékba.

A víz rendhagyó tulajdonságai nyilvánulnak meg abban, hogy a víz sűrűsége $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a legnagyobb, és hogy a jég sűrűsége kisebb, mint a víz sűrűsége.

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mekkora annak a testnek a sűrűsége, melyet ha vízbe lógatunk egy fonál segítségével, a fonálban ébredő erő a test súlyának a fele lesz?
2. Egy test háromnegyed részéig merül vízbe. Hányadrészeig merülne $0,9\text{ g/cm}^3$ sűrűségű olajba? Mekkora sűrűségű folyadékban lebegne a test?
3. Egy henger alakú test vízben úszik. A test kétharmada merül a vízbe, egyharmada van a vízfelszín felett. Igazold, hogy a henger sűrűsége $2/3\text{ g/cm}^3$! Általánosítsd a problémát, mutasd meg, hogy egy folyadékba merülő, de a folyadéknál kisebb sűrűségű test sűrűsége megegyezik a test folyadékba merülő térfogata és teljes térfogata arányának és a folyadék sűrűségének a szorzatával!
4. Egy test $3/4$ részéig merül $0,8\text{ g/cm}^3$ sűrűségű olajba. Hányadrészeig merül a vízbe?
5. Az előző oldali grafikon alapján állapítsd meg, hogy mekkora a térfogata $0,2\text{ kg}$ víznek $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on és $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on!
6. Hieron király koronájának készítése során a szélhámos aranyműves a koronához adott 1 kg aranyból 50 dkg -nyit ezüstre cserélt. Mekkora térfogatkülönbséget mért Arkhimédész a korona és az 1 kg -nyi arany között? Az arany és ezüst sűrűségét valamilyen adatbázisból vedd! Az ötvözet elkészítésekor a végső térfogat jó közelítéssel az arany és az ezüst térfogatainak összege.
7. Egy halász pipájáról a következőt tudjuk: ha a tó partjáról behajítja a tóba, a tó vízszintje éppen annyit változik, mint amikor a pipát a csónakból dobja a tóba. Mekkora a pipa sűrűsége? (A feladat elméletileg megoldható, gyakorlatilag azonban a tó vízszintjének változása észrevehetetlen.)

12. | Légnomás, légellenállás, repülés

A levegő körülvesz minket. Jelenléte annyira magától értetődő, hogy aligha gondolnánk arra, mekkora erőt tud kifejteni környezetére. Ebben a fejezetben a levegő nyomásának, felhajtóerejének gyakorlati következményeit, technikai alkalmazásait ismerjük meg.

Közlekedőedények elve

Tapasztalataink szerint egy olyan csőrendszerben, egymással összefüggő edények sorában, melyben a folyadék szabadon áramolhat (közlekedhet), egyensúlyi, nyugalmi állapotban a folyadék felszíne mindig azonos szinten (magasságban) helyezkedik el, feltéve, hogy az edény szárai nem túl szűkek. Ez a közlekedőedények elve. A folyadékszint függőleges magassága az edény alakjától függetlenül, minden ágban azonos.



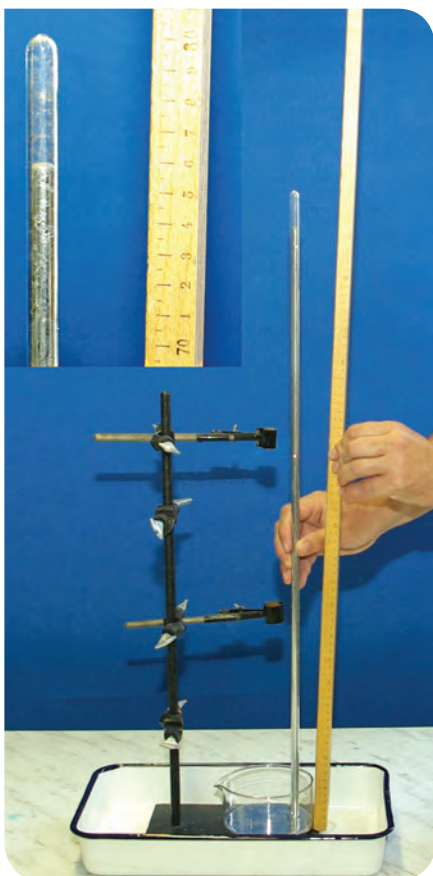
A légnomás mérése

A levegő nyomását először Torricelli olasz fizikus mérte meg, bebizonyítva ezzel azt is, hogy a „horror vacui” elve hibás, a természetben lehetséges légüres teret, vagyis vákuumot létrehozni.

A Torricelli-kísérlet:



Egy kb. 1 m hosszú, alul zárt, felül nyitott csövet higannyal teletöltünk, majd a nyitott végét az ujjunkkal befogjuk. Ezután a csövet megfordítjuk, és a szájával lefelé egy higanyos edénybe merítjük. A higany egy része az ábrának megfelelően kifolyik a csőből. A higany felett légüres tér keletkezik (némi higanygőztől eltekintve). A külső levegő a tengerszint magasságában átlagosan 76 cm higanyoszlopot tart a csőben. Ennek alapján azt mondhatjuk, hogy a levegő nyomása 76 Hgcm (higanycentiméter), ami 760 Hgmm-rel egyenlő. Torricelli tiszteletére a higanymilliméter (Hgmm) egységet torrnak is nevezik. A 760 Hgmm nyomást 1 atmoszférának (1 atm) nevezük, ez a normál légköri nyomás.



■ Torricelli-kísérlet higannyal

Gondold meg!

Hogyan igazolta Torricelli mérése a „horror vacui” elv helytelenségét?

Magyarázd meg a légnomás segítségével, hogyan tudunk elfogyasztani egy pohár italt szívószállal!

SZÁMOLJUK KI!

Feladat:

- a) Igazold, hogy közelítőleg 100 000 pascal nyomásnak felel meg a 76 Hgcm-es légnomás!
- b) Milyen hosszú csővel lehetne Torricelli mérését megismételni, ha higany helyett vizet használnánk?

Megoldás:

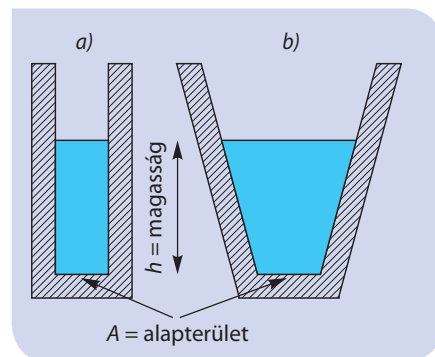
- a) Azt kell meghatározni, hogy mennyi a 76 cm magas higanyoszlop hidrosztatikai nyomása pascal egységben:

$$p = \rho gh = \left(13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (0,76 \text{ m}) =$$

$$= 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \approx 10^5 \text{ Pa} = 100\,000 \text{ Pa}$$

ahol kihasználtuk, hogy a higany sűrűsége 13 600 kg/m³.

- b) A víz sűrűsége hozzávetőlegesen 1000 kg/m³, ami azt jelenti, hogy ugyanannyi térfogatú víz 13,6-szer könnyebb, mint ugyanannyi térfogatú higany. Ez viszont azt jelenti, hogy a Torricelli-kísérletet vízzel 13,6-szer hosszabb csővel lehet elvégezni, ami 13,6 · 0,76 m ≈ 10 méteres.



■ Mindkét edény azonos területű alaplajját ugyanakkora erővel nyomja az azonos magasságú folyadék.

Hallottál róla?

A levegő nyomása a magassággal csökken. A Kaukázus hegység legmagasabb csúcsán, az 5640 m-es Elbruzson a légnomás átlagosan 50 000 pascal, azaz a tengerszinten mért nyomás fele. A Himalája magashegyi régióban a légnomás a tengerszinten mérhető nyomás harmadára esik vissza. A légnomás magasságfüggésén alapszik a barometrikus magasságmérő működése (altiméter). Kellően pontos műszerrel egy toronyház teteje és alja közötti nyomáskülönbség – és így a magasságkülönbség – is kimutatható. Az altimétert, a hegymászók és kirándulók fontos segédeszközét, napjainkban mindinkább kiszorítja a GPS.

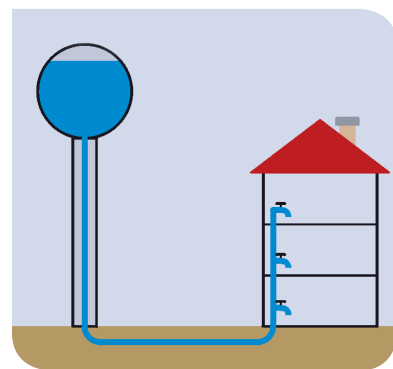


■ Altiméter

Hallottál róla?

Kisebb településeken még ma is a vezetékes ivóvízhálózat kiszolgálására szolgál a víztorony. A víztoronyba felszivattyúzott víz a település alacsonyabb szinten lévő épületeibe a közlekedőedények elvének megfelelően túlnyomással érkezik a vízvezeték hálózatán keresztül.

A felszín alatti vizek szintjét, források áramlását is a közlekedőedények elve alapján érthetjük meg.

**SZÁMOLD KI!**

A levegő nyomása hozzávetőlegesen 10⁵ Pa = 10 N/cm², azaz akkora, mintha minden négyzetcentiméter felületre 1 kg tömegű test súlya nehezedne.

Becsüld meg a képek alapján (következő oldal), hogy mekkora erőt kellene kifejteniük a lovaknak, ha a félgömböket szét akarnák húzni!

Hogyan volt régen?

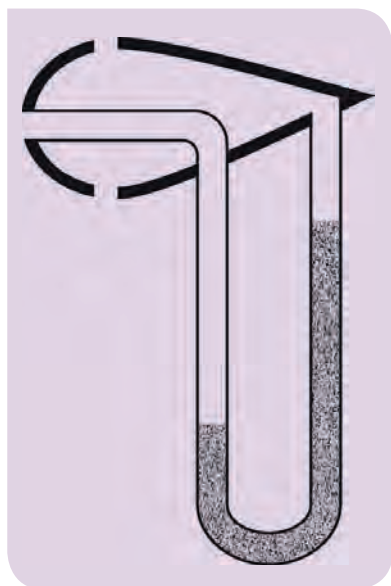
Guericke és a magdeburgi féltekék

Otto Guericke, Magdeburg tudós polgármestere, híres kísérlettel bizonyította a levegő nyomásának létezését és annak meglehetősen nagy voltát. Egy maga által tervezett légszivattyúval kiszivattyúzta két szorosan egymáshoz illesztett félgömb közül a levegőt, majd a félgömbökre erősített kampó segítségével 8-8 lovat fogott be két oldalra, hogy a félgömböket széthúzzák. A lovak ereje kevésnek bizonyult. Nem tudták széthúzni a félgömböt, azaz legyőzni a levegő nyomását.



Hallottál róla?

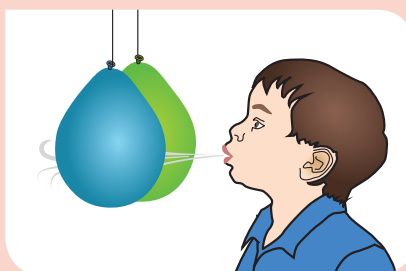
A légáram sebességét, így akár egy, a levegőhöz képest mozgó test sebességét (pl. egy repülőét) meg lehet mérni az alábbi kettős csővel. Az eszközt Pitot-Prandl-csőnek nevezzük, amely kihasználja az úgynevezett torlónyomást és a Bernoulli-hatást is. A képen a levegő balról jobbra áramlik az eszköz mellett.



Az áramló levegő nyomása

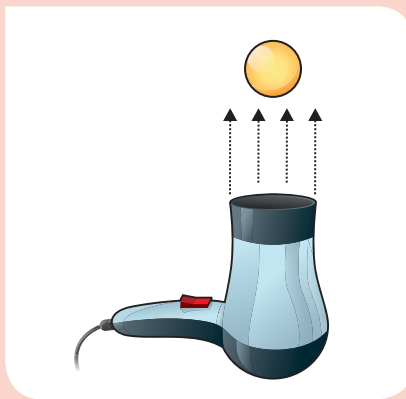
Tapasztalataink szerint az áramló levegőnek kisebb a nyomása, mint a nyugalomban lévőnek. Ha nagyobb sebességgel áramlik a levegő egy áramlási csőben, akkor kisebb a nyomása. Az áramló levegő nyomására vonatkozó összefüggést **Bernoulli-törvény**nek nevezik, és segítségével számos természeti jelenséget, mindennapi tapasztalatot lehet értelmezni.

KÍSÉRLETEZZ!



Fújj óvatosan két, egymáshoz közel tartott léggömb közé (vagy két egymás közelében felfüggesztett pingponglabda közé). Mit tapasztalsz? Hogyan magyarázható a jelenség?

A Bernoulli-törvény az áramló folyadékokra is érvényes. Ha locsolócsővel (gumicsővel) locsolunk, akkor messzebbre jut a vízszög, ha összenyomjuk a cső végét. Ez a jelenség nem a Bernoulli-törvény, hanem az anyagmegmaradás következménye. A szűkebb keresztmetszeten gyorsabban áramlik a folyadék.



Egy hajszárító légáramában pingponglabdát lehet lebegtetni, a légáram mozgásával a labdát el lehet mozdítani. Úgy tartja a légáram a labdát, mint egy láthatatlan kéz. Vajon miért?

Gondold meg!

Miképpen igazolja a fénykép a Bernoulli-törvényt?



Példák a Bernoulli-törvény alkalmazására

Miért csapódik be az ajtó vagy ablak, amikor huzat van? A nyílászáró mellett áramló levegőben a nyomás kisebb, mint a mögötte elhelyezkedő nyugalomban lévő levegőben. A becsapódást a nyomáskülönbségből származó erő okozza.

Szélénél fogva, közel vízszintes helyzetben tarts egy vékony noteszlapot, majd fújjál fölé. A lap periodikus fel-le mozgást végez, „lobogni” kezd, mint egy zászló. Ha a lap fölé fújsz, felette a nyomás lecsökken, így a lap megemelkedik. A megemelkedő lapot a légáram lefelé nyomja, majd a nyomáskülönbség miatt ismét emelkedni kezd. Így alakul ki a periodikus mozgás.

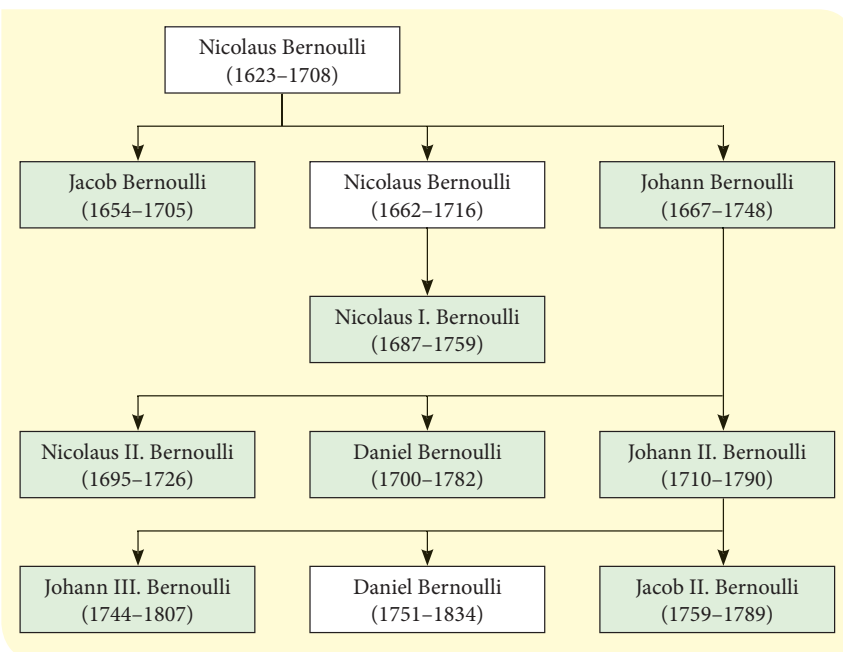
Gondold meg!

Vajon miért robbannak kifelé a szoba ablakai az orkán erejű szélben?

Az erős szél elősegíti a kémények szelelését, szabályosan kiszívja a kéményeket. Vajon miért?

Hallottál róla?

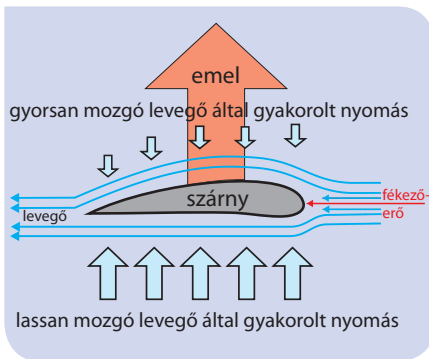
A Bernoulli család, a Flandriából származó tudóscsalád három generációja a XVII–XVIII. században nyolc kiváló matematikust és fizikust adott a világnak. Legtöbben közülük Svájcban éltek és a bázeli egyetemen tanítottak. A család második generációjához tartozott Daniel Bernoulli (1700–1782), aki az áramló folyadékokra és gázokra vonatkozó törvényszerűséget felfedezte.



■ A Bernoulli-családfa. Nézz utána, kinek a nevéhez milyen eredmény fűződik!



■ Daniel Bernoulli (1700–1782)



■ Repülőgépszárny keresztmetszeti rajza

A levegő felhajtóereje és a repülés

A repülőgép szárnyát úgy alakították ki, hogy felette a levegő nagyobb sebességgel áramoljon, mint alatta. A nyomáskülönbségből származó felhajtóerő emeli fel és tartja a magasban a repülőgépet.

Természetes repülőszervezetek

A légellenállás, légáramlás jelentőségének megnyilvánulásaira számos példát találunk a természetben. Nemcsak a madarak repülésében játszik alapvető szerepet a levegő, de a levegőben közlekedő, ugró, repülő élőlények mozgását is alapvetően befolyásolják az aerodinamika (légáramlástan) törvényei. A különböző növények magjainak, terméseinek szétszórásában sokszor döntő szerepet játszanak a természetes reptető szervezetek.

NE FELEDD!

A levegőnek tömege, és így a Föld gravitációs terében súlya is van. Az általa körülvelt tárgyakra minden irányból nyomást gyakorol.

A nyugvó levegő nyomása átlagosan hozzávetőlegesen 100 000 Pa a tengerszint közelében. A légnyomás értéke a magassággal csökken.

Az áramló levegő nyomása alacsonyabb, mint a nyugvó levegőé. Minél nagyobb sebességgel áramlik a levegő, annál kisebb a nyomása. A testeket körüláramló levegőben a levegő áramlási sebességének függvényében nyomáskülönbség alakul ki, és ebből fakadóan erőhatás lép fel. Az innen származó erő emeli fel a repülőszervezeteket.



■ Pitypang



■ Repülőmókus

Mit gondoltak régen?

A középkor emberének álma volt, hogy ellesse a madarak repülésének titkát. Sokan próbáltak meg szárnyaszerű készítményeket létrehozni, és ugrottak le velük sziklákról, magaslatokról, gyakran halálra zúzva magukat.

A megfelelően könnyű és jól megmunkálható anyagok hiányában ezek a kísérletek nem vezettek eredményre. A neves reneszánsz művész és tudós, Leonardo da Vinci is megpróbálta megfejteni a repülés rejtélyét. Rájött arra, hogy az emberi kar túl gyenge ahhoz, hogy sokáig és folyamatosan csapkodjon a ráerősített szárnyal, ezért szárnymozgató gépezeteket, úgynevezett *ornithoptereket* tervezett. Tervei halála után több száz évvel kerültek elő jegyzetei közül.



■ Egy ornithopter 1927-ből



■ Mentőhelikopter

Helikopter

Az áramló levegőben keletkező felhajtóerő emeli a helyben felszállni képes helikoptereket. Az emelőerőben alapvető szerepet játszik a forgólapát (propeller)

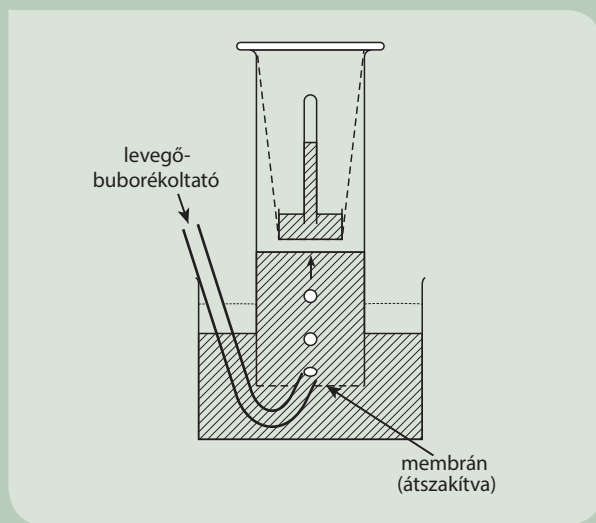
formájának kialakítása, melynek felületei mentén a levegő eltérő sebességgel áramlik. A helikopterek csak a sűrűbb légrétegekben üzembiztosak, így például hegymászóbaleset esetén a Himalája legmagasabb csúcsain a helikopteres mentés már nem lehetséges.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A levegő testfelületünk minden négyzetcentiméterére 10 N erővel hat. Miért nem roppant össze minket?
2. Miért lehetetlen egy aeroszolos palackból kifújni minden gázt?
3. Miért csapódnak be az ablakok a huzatban?
4. Vizsgáld meg egy érzékeny barométer segítségével, mennyit változik a légnyomás egy toronyház alja és teteje között!
5. Egy jól záródó műanyag kulacsot vittünk egy kirándulásra. Egyszer csak azt látjuk, hogy a kulacs oldala behorpadt. Magasabban vagy alacsonyabban voltunk, amikor utoljára ittunk a kulacsból? Válaszodat indokold!
6. Gyűjts természetes repülőszervezeteket, írd le a mozgásukat, értelmezd mozgásuk sajátosságait!
7. Készíts repüléstörténeti tablót, prezentációt!
8. Egy A/4-es papírlapból olló és ragasztó segítségével készíts minél lassabban földet érő „szerkezetet”! Versenyezzetek, kinek a konstrukciója ér le leglassabban egy adott magasságból!
9. Ismertesd a légnyomás mérésének Torricelli-féle módszerét!
10. Miért emelkedik fel a repülőgép? Készíts rajzos magyarázatot!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mekkora a nyomás 20 méter mélyen a tengerben? Milyen nehézséget okoz a bűvároknak a nagy nyomáskülönbség a mélység és a felszín között?
2. A ragadozó madarak gyakran úgy lesik a zsákmányt, hogy mozdulatlan szárnyakkal körbe-körbe siklanak. A talajtól mért magasságuk gyakorlatilag nem változik. Hogyan lehetséges ez?
3. A hajszárító légoszlopában egy pingponglabdát mozgathatunk előre-hátra, föl és le. Magyarázd el részletesen (pl. egy magyarázó rajz segítségével), miért követi a pingponglabda a légoszlopot!
4. Mi magyarázza a tankönyvben szereplő Pitot–Prandl-cső higany szintjeinek különbségét? Hogyan befolyásolja a szintkülönbséget a készülék körül áramló levegő sebessége?
5. Bár némileg körülményesen, de megfelelő információk birtokában egy gázfőzővel, egy hőmérővel és egy palack vízzel is tudunk légnyomást mérni. Hogyan?
6. Egy U alakú csőben 10 cm magasan víz található. A cső egyik szárába a víz fölé 5 cm magasan benzint rétegezzünk. A benzín sűrűsége a víz sűrűségének 73%-a. Mekkora lesz a folyadékszintek különbsége a két csőszárban?
7. Egy autógumiban lévő levegő nyomását a túlnyomás mértékével jellemzik. Mit jelent a túlnyomás? Változhat-e egy gumiban a túlnyomás úgy, hogy benne a levegő mennyisége nem változik?
8. Állíts össze olyan, a tankönyvben nem szereplő kísérleteket, melyek az áramló levegő nyomáscsökkenését mutatják be!
9. A száguldó vonat, ha túl közel állunk a sínhez, szinte magához ránt, ami nagyon balesetveszélyes. Mi a jelenség magyarázata?
10. Gyűjts olyan megoldásokat, extrém sportokat, amelyek során az ember az élővilág „trükkjeit” leutánozva a szabad repülés élményét élheti át!
11. Pascal híres „úr az űrben” kísérletében a Torricelli-féle elrendezést egy vastagabb cső Torricelli-űrjében helyezte el, és ezzel a belső berendezés számára változó külső nyomást tudott létrehozni levegő buborékoltatásával. Mit mér a belső Torricelli-cső? Mit állíthatunk a két cső higany szintje és a külső légnyomás kapcsolatáról?
12. Mi a Bernoulli-törvény lényege? Mutasd be néhány konkrét példán!



*A kép egy Ferrari
gépkocsi fékberendezését mutatja.
Hová lesz fékezéskor
a jármű mozgási energiája?*



*Mennyi energiát
tartalmaz egy kiadós csokoládés
sütemény? Mennyit energia
szükséges szervezetünk számára
egy átlagosan tevékeny napon?*



*A napfény energiáját
mindenki érzi napozáskor.
Megoldhatja-e az emberiség
energiagondjait a napenergia
hasznosítása?*



III. ENERGIA

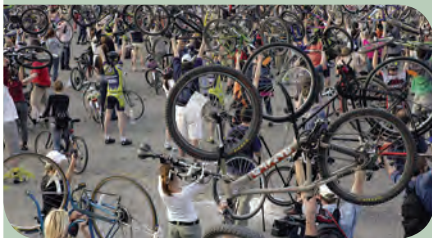


Az autók állnak

vagy araszolnak a dugóban. Ma már sok személygépkocsiban van úgynevezett start-stop rendszer, amivel csökkenthető az autók fogyasztása. Hogyan működik ez a megoldás? Mennyi üzemanyagot lehet vele megtakarítani? Az energiatakarékosságon kívül még milyen előnyökkel jár és van-e hátránya?

13. | Munka

Hétköznapijaink során gyakran használjuk a munka kifejezést, ami mindig valamilyen tevékenységhez kötődik. A felnőttek foglalkozását, otthoni, szabadidős tevékenységét, a gyerekek tanulását és játékát is szoktuk munkának nevezni. A felsorolt munkavégzések között vannak olyanok, amikor egy testre erő hat, és az eközben elmozdul. A mechanikai munka fizikai fogalmát ilyen folyamatokra értelmezzük.



■ Becsüld meg, mennyi munkát végzel a kerékpárod megemelésével!



■ Fizikai értelemben nem végez munkát a vízszintes talajon egyenletesen haladó, hatalmas súlyt cipelő erős ember. Vajon tényleg nem beszélhetünk itt semmilyen munkavégzésről?



■ Fizikai értelemben a tanulás (a képen festés) nem munkavégzés

A munka és energia szavakat gyakran használjuk a hétköznapijokban. A munka és az energia a fizikában fontos mennyiségek. Az energia megváltozását gyakran a végzett munka adja meg – a munka és energia mennyiségek ezért szoros kapcsolatban vannak egymással. Az energiának számos fajtáját tartjuk számon: mozgási energia, rugalmas energia, belső energia, helyzeti energia. Energiát tárolnak a kémiai kötések és az atommagok is.

A munka fizikai értelmezése

A legegyszerűbb esetben mechanikai munkavégzésnek azt a folyamatot nevezzük, amikor egy test a rá ható erő hatására az erő irányában elmozdul. Nagyobb erő ugyanakkora úton, változatlan erő nagyobb úton nagyobb munkát végez. A **munka** kiszámítása:

$$W = F \cdot s$$

ahol F a vizsgált erő és s a test elmozdulása. Az összefüggés akkor ilyen egyszerű, ha az erő állandó nagyságú, és az erő iránya megegyezik az elmozdulás irányával. Ilyenkor azt szoktuk mondani, hogy a mechanikai munka az erő és az elmozdulás szorzata.

A munka mértékegysége származtatott mennyiség: $[W] = [F] \cdot [s] = \text{N} \cdot \text{m}$, melyet önálló névvel is nevezünk: $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 1 \text{ joule}$ (zsúl), az angol tudós James Prescott Joule tiszteletére.

Sokszor adódik úgy, hogy a testre ható erő nem egyirányú az elmozdulással. Ilyenkor az elmozdulás irányába eső erőösszetevő és az s elmozdulás szorzataként számíthatjuk ki a végzett munkát: $W = F_{\text{párh}} \cdot s$. Az elmozdulásra merőleges erőnek fizikai értelemben nincs munkája. Az elmozdulással ellentétes irányú erő munkáját $W = -F \cdot s$ összefüggéssel kapjuk meg. Ez azt jelenti, hogy egy vizsgált erő munkája lehet pozitív, ha van az erőnek az elmozdulással egyirányú összetevője, lehet nulla, ha az erő merőleges az elmozdulásra, és lehet negatív is, ha az erő elmozdulás irányú összetevője az elmozdulással ellentétes irányú.

Az emelési munka

Emeljünk fel egy m tömegű testet h magasságba függőlegesen! Ha a testet egyenletesen mozgatjuk, akkor $F = mg$ erőt kell kifejtenünk az emeléshez. Az emelőerő egyirányú az



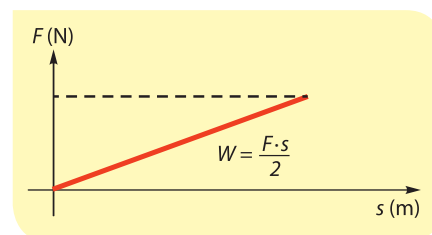
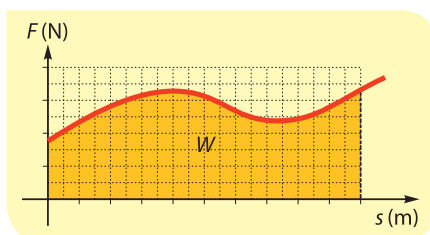
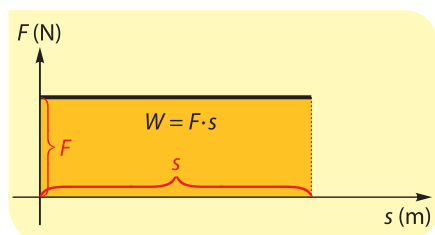
■ Az építkezésen egy daru 20 m magasra lassan, egyenletesen emel egy 8 tonnás konténert. Mekkora munkát végez eközben?

elmozdulással, ezért az emelőerő munkája: $W = F \cdot h = mgh$. Ugyanakkor a nehézségi erő munkája $W = -mg \cdot h$, hiszen a nehézségi erő éppen ellentétes a test elmozdulásával. Vegyük észre, hogy a testre ható két erő együttes munkája nulla, ami lényegében annak a következménye, hogy az egyenletes emelés közben az eredő erő nulla.

Az m tömegű test lassú, egyenletes, h magasságra való emelése $W_{\text{emelési}} = mgh$ **emelési munkát** igényel.

A munkavégzés nagysága mint az erő-elmozdulás grafikon görbe alatti területe

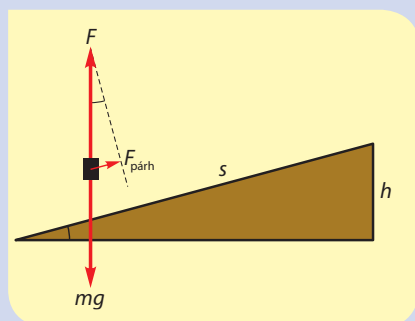
Legyen a testre ható F erő állandó, a test mozogjon egy egyenes mentén, és az erő mutasson az elmozdulás irányába. Ábrázoljuk az F erőt az s elmozdulás függvényében:



Megállapíthatjuk, hogy az állandó nagyságú erő munkája úgy is meghatározható, mintha az erő-elmozdulás grafikonon látható téglalap területét ($F \cdot s$) számolnánk ki. Ezt az eljárást használhatjuk akkor is, ha az elmozdulással egyező irányú, de változó nagyságú erő munkáját kell meghatározni. Ekkor is számolhatunk úgy, mintha az erő-elmozdulás grafikon görbe alatti területét határoznánk meg.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: A 10 kg tömegű táskánkat lassan, egyenletesen visszük fel a 8 m hosszú emelkedőn 2 m magasra. Vizsgáljuk meg, mekkora munkát végeznek a folyamat során a táskákra ható erők!



Megoldás: A táskára ható nehézségi erő $mg \approx (10 \text{ kg}) \cdot (10 \text{ m/s}^2) = 100 \text{ N}$. Az egyenletes emeléshez ezért $F = mg \approx 100 \text{ N}$ erőt kell kifejtenünk a táskára. Az erő irányában történő elmozdulás $h = 2 \text{ m}$, ezért az általunk kifejtett F erő munkája:

$$W = F \cdot h = (100 \text{ N}) \cdot (2 \text{ m}) = 200 \text{ J}$$

Gondolkodhatunk úgy is, hogy a test elmozdulása $s = 8 \text{ m}$. Az elmozdulás irányába eső erőösszetevő a rajzon látható $F_{\text{párh}}$. A rajzon az erők által alkotott és az emelkedő által meghatározott derékszögű háromszögek ívelt hegyesszögeik egyenlők, ezért a két háromszög hasonló. Megfelelő oldalai aránya egyenlő:

$$\frac{F_{\text{párh}}}{F} = \frac{h}{s} \Rightarrow F_{\text{párh}} = \frac{h}{s} F = (2 \text{ m} / 8 \text{ m}) \cdot (100 \text{ N}) = 25 \text{ N}$$

Így az általunk végzett munka: $W = F_{\text{párh}} \cdot s = (25 \text{ N}) \cdot (8 \text{ m}) = 200 \text{ J}$

Természetesen ugyanazt az eredményt kaptuk így is.

A nehézségi erő ellentétes az általunk kifejtett F erővel, ezért a munkája éppen (-1) -szerese az F erő munkájának, vagyis -200 J .

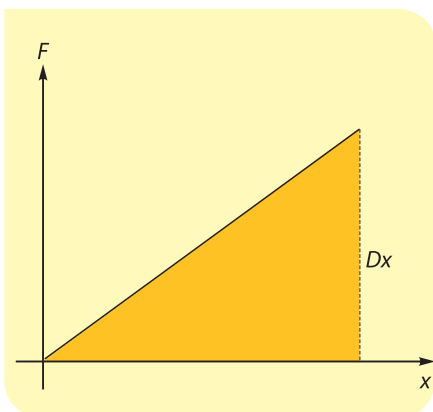
Megállapíthatjuk, hogy az állandó nagyságú erő munkája úgy is meghatározható, mintha az erő-elmozdulás grafikonon látható téglalap területét ($F \cdot s$) számolnánk ki. Ezt az eljárást használhatjuk akkor is, ha az elmozdulással egyező irányú, de változó nagyságú erő munkáját kell meghatároznunk. Ekkor is számolhatunk úgy, mintha az erő-elmozdulás grafikon görbe alatti területét határoznánk meg.

NE HIBÁZZ!

Akkor tudjuk az erő munkáját az elmozdulással párhuzamos erőösszetevő és az elmozdulás szorzataként kiszámítani, ha az erő állandó, és a test közben egyenes vonalban mozog. Megmutatható, hogy ilyen esetekben ugyanazt az eredményt kapjuk akkor is, ha az állandó erőt az elmozdulás erővel párhuzamos összetevőjével szorozzuk össze.

Ugyan a mechanikai munkát a fenti módon fogalmaztuk meg, azért nem kell azt gondolnod, hogy a házi feladatod elkészítése, az iskolatászkád cipelése nem jelent hétközna-

pi értelemben komoly munkát. Izmaink megfeszülése, az agyunkban történő anyagcsere-folyamatok kémiai energiát igényelnek, amit fáradtságként, éhségként érzékelünk. Ezek a folyamatok nehezebben jellemezhetők mérhető fizikai fogalmakkal, azonban például ha izmainkat mozdulatlanul megfeszítjük, akkor is apró elmozdulások történnek az izomszöveteinkben, mert állandóan változnak a megfeszített és az elernyesztett izomkötegek. Tehát itt is felfedezhetjük az erő és az elmozdulás szorzataként jellemzett mechanikai munkát.



A rugó megnyújtásához szükséges munka

Rugó esetében a rugó megnyújtásához szükséges F erő egyenesen arányos a rugó x megnyúlásával:

$$F = D \cdot x$$

ahol D a rugóállandó. Ha a rugó megnyújtásához szükséges F erőt ábrázoljuk az x megnyúlás függvényében, akkor az origóból kiinduló egyenes szakaszt kapunk.

Alkalmazzuk a változó erő munkájának kiszámításáról tanultakat, vagyis határozzuk meg az ábrán látható derékszögű háromszög területét:

$$W = \frac{F \cdot x}{2} = \frac{(Dx) \cdot x}{2} = \frac{1}{2} Dx^2.$$

A D rugóállandójú rugó x -szel való megnyújtása során végzett **nyújtási munka**:

$$W_{ny} = \frac{1}{2} Dx^2$$

Megjegyezzük, hogy ugyanez az összefüggés adja meg a rugó összenyomása során végzett munkát is, amikor x a rugó összenyomódásának nagyságát jelenti a nyújtatlan állapotához képest.

A teljesítmény

Ugyanakkora munkát különböző időtartamok alatt is el lehet végezni. A munkavégzés gyorsaságát jellemzi az átlagos **teljesítmény**, ami a **végzett munka és az elvégzéséhez szükséges időtartam hányadosa**:

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

A teljesítmény mértékegysége származtatott:

$$[P] = \frac{[W]}{[t]} = \frac{J}{s}, \text{ melyet önálló névvel is nevezünk: } W \text{ (watt), a skót fel-$$

találó, James Watt tiszteletére.

Vigyázat! Ugyanazzal a betűvel jelöljük a munkát (W) és a teljesítmény mértékegységét (W), ne keverjük össze ezeket.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy rugós játék pisztoly felhúzásakor maximálisan 10 N erőt kell kifejteni. A rugó legnagyobb összenyomódása 4 cm. Mekkora munkát végeztünk? Mekkora a rugóállandó?

Megoldás:

$$D = \frac{F}{x} = \frac{10 \text{ N}}{4 \text{ cm}} = \frac{10 \text{ N}}{0,04 \text{ m}} = 250 \frac{\text{N}}{\text{m}} \text{ a rugóállandó.}$$

Alkalmazzuk a rugó megnyújtásához, illetve összenyomódásához szükséges munka kiszámítására tanult összefüggést:

$$W = \frac{1}{2} Dx^2 = \frac{1}{2} \cdot \left(250 \frac{\text{N}}{\text{m}} \right) \cdot (0,04 \text{ m})^2 = 0,2 \text{ J}$$

Ugyanerre az eredményre juthatunk akkor is, ha az átlagos erővel, vagyis ($F/2$)-vel számítjuk ki a munkát:

$$W = \frac{1}{2} Fx = \frac{1}{2} \cdot 10 \text{ N} \cdot 0,04 \text{ m} = 0,2 \text{ J}$$

NE FELEDD!

A mechanikai munkát az elmozdulás irányába eső $F_{\text{párh}}$ erőösszetevő és az s elmozdulás szorzataként számíthatjuk ki: $W = F_{\text{párh}} \cdot s$

Nevezetes munkák: – Emelési munka: $W_{\text{emelési}} = mgh$

– Rugó megnyújtásához szükséges munka: $W_{\text{ny}} = \frac{1}{2}Dx^2$

– A munkavégzés gyorsaságát jellemzi az átlagos teljesítmény: $P = \frac{W}{t}$

MÉRD MEG! SZÁMOLD KI!

Fuss fel egy lépcsőházban néhány emeletet! Mérd, hogy mennyi ideig futottál! Becsüld meg, mekkora munkát végeztél saját tested fel-emelése közben! Számold ki a lépcsőfutásod teljesítményét!

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Végzünk-e fizikai értelemben munkát, ha egy bőröndöt álló helyzetben tartunk? Miért?
- Végzünk-e fizikai értelemben munkát, ha egy táskát vízszintes úton állandó sebességgel viszünk? Miért?
- Mekkora a munkája az egyenletes körmozgást végző testre ható erők eredőjének? Miért?
- Mikor végzünk több munkát, ha a csomagot gyorsan, vagy ha lassan viszük fel az emeletre? Miért?
- Egy 5 kg tömegű testet lassan, egyenletesen, 0,5 méter mélyre süllyesz-tünk. Mekkora munkát végzünk? Mekkora munkát végez a nehézségi erő?
- Függőlegesen felfelé hajítunk egy kavicsot. Hogyan változik a kavics se-bessége a mozgása során? Mikor végez a kavicson pozitív, illetve negatív munkát a nehézségi erő?
- A teljesítmény eredeti mértékegysége a lóerő volt. $1 \text{ LE} = 746 \text{ W}$. Becsüld meg, hogy egy bányaló 1 perc alatt hány kg szenet tudott a 12 méter magasan lévő bányakijáratához húzni! Milyen tényezőket nem vettél figyelembe a becslés során?
- Végzünk-e munkát vízszintes úton való sétálás közben? Miért fáradunk el?
- Zuhanórepüléskor a ragadozó madár a szárnyait hátranyilazza, így akár 150 km/h sebességgel is mozoghat rövid ideig. Mekkora ekkor a nehézségi erő teljesítménye egy 3 kg tömegű madár esetében?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

- 2,5 N vízszintes erővel húzunk az asztallapon egy 0,5 kg tömegű hasábot 1 m/s állandó sebességgel. Mekkora a hasáb és az asztallap közötti csúszási súrlódási együttható? Mekkora munkát végzünk 4 s alatt? Mekkora a húzó-erő teljesítménye?
- Mi igényel több munkát: álló helyzetből 2 kg tömegű testet 4 m/s sebes-ségre vagy 8 kg tömegű testet 2 m/s sebességre gyorsítani? A test gyorsu-lását mindkét esetben tekintjük állandónak.
- Egy rugó 10 cm-es megnyújtása során 400 J munkát végzünk. Mennyi munkát kell végeznünk a további 10 cm-es megnyújtás során?
- 5 m hosszú, 1 kg tömegű láncot lógatunk ki az emeleti ablakból. Lassan, egyenletesen felhúzzuk, a felhúzott részt folyamatosan az ablakpárkányra tesszük. Ábrázoljuk az általunk kifejtett erőt a kötélen alsó végének elmozdu-lása függvényében! Mennyi munkát végzünk?

Mit gondoltak régen?

A gépkocsijuk teljesítményét az emberek még manapság is lóerő-ben (LE) szokták tudni. Ez a régi-módi mértékegység James Watt, a korszerű gőzgép megalkotójának ötletén alapszik. Azt hasonlította össze, hogy a gőzgépével hány-szor nagyobb mennyiségű szén emel-hető ki, mint a hagyományos, bá-nyalovakkal történő felszínre jutta-tás esetén. Watt egy bányában azt vizsgálta meg, hogy egy póni egy perc alatt mekkora mennyiségű szenet juttat a felszínre. Úgy becsül-te, hogy egy átlagos ló a póninál másfélszer nagyobb teljesítményre képes, és ez vezetett el nála a lóerő mértékegységéhez.



Mivel a súlyt fontokban, az eme-lési magasságot lábban mérték, így Watt az átlagos lovak telje-sítményére $1 \text{ LE} = 33\,000 \text{ lábfont/perc}$ értéket kapott, ami a mai hivatalos SI-mértékrendszerben $1 \text{ LE} = 746 \text{ W} = 0,746 \text{ kW} \approx \frac{3}{4} \text{ kW}$ értéknek felel meg. Ha tehát egy autó maximális teljesítménye a hivatalos mértékegységrendszer szerint 100 kW, akkor ez 134 LE. Mivel a teljesítmény értéke lóerő-ben egyharmadával nagyobb a kilowattértéknél, ezért a gyártók szeretik feltüntetni a lóerőt is, hogy még vonzóbbá tegyék a terméküket.

14. | Energiafajták

Mindennapjaink során sokféle értelemben használjuk az energia kifejezést. Az energia szó görög eredetű, jelentése bűvös cselekedet, ténykedés. Általános értelemben a változtatásra való képesség mértékét jelenti: a sportoló energikusan fut, a diák sok energiát fektet a tanulmányaiba, a kisgyerek ideoda futkos, mert tele van energiával, és így tovább. A kereskedelmi cégek a koffeintartalmú élelmiszereket italaikat energiával néven tudják aránytalanul magas áron értékesíteni, mintha az energiát meg lehetne inni. Az energia fogalma nemcsak a mindennapi életben, hanem a fizika tudományában is sokféle jelentésű. Pontos értelmezéséhez csak fokozatosan juthatunk el.

Az energia

A fizikában **a testek munkavégzésre alkalmas állapotát leíró mennyiséget nevezzük energiának**. Jele: E . Értékét azzal a munkával azonosítjuk, amelyet a testen végeztünk, hogy az adott állapotba kerüljön.

Végezzünk különböző testeken különböző módon munkát, és jellemezzük a testek így nyert állapotát!

Mozgási energia

Az m tömegű test a rá ható F erő hatására álló helyzetből v sebességre gyorsul. Egyszerű számolással belátható, hogy eközben az erő $W = \frac{1}{2}mv^2$ munkát végez.

Az m tömegű, v sebességű test olyan állapotba került, hogy nekiütközhet más testeknek, és rajtuk munkát képes végezni. Legfeljebb akkorát, amekkorát mi végeztünk rajta.

A v sebességű, m tömegű testnek a mozgásából származóan munkavégző képessége van. A test ilyen állapotát a mozgási energiával jellemezzük. **A mozgó testek mozgási energiával rendelkeznek**, ami arányos a testek m tömegével, a v sebességük négyzetével:

$$E_{\text{mozg}} = \frac{1}{2}mv^2$$

Vegyük észre, hogy a mozgási energia nem lehet negatív. Ha a test áll, akkor a mozgási energia nulla, de ha a test mozog, akkor a mozgási energia mindig pozitív.

Munkatétel

Az energiaváltozással járó folyamatokkal kapcsolatos összefüggés az úgynevezett munkatétel. E szerint:

A testre ható erő munkája egyenlő a test mozgási energiájának megváltozásával.

$$W = \Delta E_{\text{mozg}}$$

Egy fizikai mennyiség megváltozásán mindig a mennyiség későbbi, illetve korábbi értékének különbségét értjük.

Ez alapján:

$$W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

ahol v_0 a kezdeti, v a későbbi sebesség.

A munkatétel nem szorul bizonyításra, a munka és a mozgási energia korábban megadott kiszámolási módjának matematikai következménye.

SZÁMOLD KI!



Az 1500 kg tömegű személyautó sebessége 50 km/h-ról 90 km/h-ra növekszik, miután elhagyja a lakott területet.

1. Mennyivel változik a mozgási energiája?
2. Hányszorosára változott a mozgási energiája?

Ha egy testre több erő is hat, akkor számolhatunk az eredő erő munkájával, ami megegyezik az egyes erők külön-külön meghatározott munkáinak összegével. Lehetséges, hogy lesznek olyan erők, melyek munkája pozitív, lehetnek olyanok, melyek munkája negatív, sőt olyanok is lehetnek, melyek munkavégzése nulla.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy 3 m magas diófa tetejéről leesik egy 5 g tömegű dió. Mekkora sebességgel ér földet? Tekintsünk el a levegő fékező hatásától.

Megoldás: A 3 méteres zuhanás során a gravitációs erő $m \cdot g \cdot h$ munkát végez a dión.

$$W = 0,005 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3 \text{ m} = 0,15 \text{ joule.}$$

A végzett munka a dió kezdetben 0 J mozgási energiáját növeli.

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

A keresett sebességet kell kifejeznünk:

$$v^2 = \frac{2 \cdot W}{m} = 60 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$v = \sqrt{60 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} = 7,75 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$



SZÁMOLD KI!



Mekkora egy 650 kg tömegű, 300 km/h sebességű versenyautó mozgási energiája?

Helyzeti energia

Az előző leckében először az emelési munkával ismerkedtünk meg. Az m tömegű test lassú, egyenletes h magasra való emelése $W_{\text{emelési}} = mgh$ emelési munkát igényel. A h magasra emelt m tömegű test olyan állapotba került, hogy például onnan leesve nekiütközhet más testeknek, és rajtuk munkát képes végezni. Legfeljebb akkora munkát, amekkorát mi végeztünk rajta. **A h magasra emelt m tömegű testnek a helyzetéből származóan munkavégző képessége van.** A test ilyen állapotát a helyzeti energiával jellemezzük. A fel-emelt testek helyzeti (magassági vagy potenciális) energiával rendelkeznek, ami egyenesen arányos a testek m tömegével, a g nehézségi gyorsulással és a tetszőlegesen megválasztott nulla szinttől mért h magassággal:

$$E_{\text{hely}} = mgh$$

Vegyük észre, hogy a test helyzeti energiája pozitív, ha a test a tetszőlegesen megválasztott nulla szint felett helyezkedik el, illetve negatív, ha alatta. Ha a test a nulla szinten tartózkodik, akkor a helyzeti energiája nulla. **A tetszőleges nulla szintet úgy érdemes megválasztanunk, hogy az megkönnyítse a számításainkat,** vagyis az adott helyzetben a lehető leglogikusabb szintet tekintsük nullának. Ennek akkor van jelentősége a gyakorlatban, ha valamely mozgás vizsgálatakor változik a test helyzeti energiája.

Rugalmas energia

A D rugóállandójú, kezdetben nyújtatlan rugó hosszának x -szel való megváltoztatása (megnyújtása vagy összenyomása) $W_{\text{ny}} = \frac{1}{2} Dx^2$ nyújtási (vagy összenyomási) munkát igényel.

SZÁMOLD KI!



A táncos a magasba emeli partnerét. Az emelés közben mennyivel változott a lány helyzeti energiája? (A számításhoz becsléssel állapítsd meg a lány tömegét és súlypontjának emelkedését!)

SZÁMOLD KI!



Vannak olyan íjak, melyek húrjának megfeszítésekor a feszítő erő egyenesen arányos az íj rugalmas megnyúlásával, vagyis a húr hátrahúzási távolságával. Az ilyen íjak tehát a rugók viselkedésével megegyező tulajdonságot mutatnak. Mekkora rugalmas energiát tárol egy ilyen íj, ha a húrját 500 N erővel lehet 30 cm-rel hátrahúzni?

Hallottál róla?

A 2004. évi XXIV. törvény alapján lőfegyver: a tüzfegyver, valamint az a légfegyver, amelyből 7,5 joule-nál nagyobb csőtorkolati energiájú, szilárd anyagú lövedék lőhető ki. A törvényalkotó itt nyilván a lövedék mozgási energiájára gondolt.



A D rugóállandójú, x hosszváltozású rugó olyan állapotba került, hogy teste-ken munkát képes végezni. Legfeljebb akkora munkát képes végezni, amekkorát mi végeztünk rajta.

A rugónak a hosszváltozásából származóan munkavégző képessége van. A test ilyen állapotát a **rugalmas energiával** jellemezzük. A rugó rugalmas energiával (egyszerű nevén rugóenergiával) rendelkezik, ami arányos a rugó D rugóállandójával, valamint a rugó hosszváltozásának négyzetével:

$$E_{\text{rug}} = \frac{1}{2} Dx^2$$

A mozgási energiához hasonlóan a rugóenergia értéke sem lehet negatív, hanem mindig pozitív vagy nulla. Akkor nulla egy rugó rugalmas energiája, ha a rugó nyújtatlan.

NE HIBÁZZ!

Ha a rugó nyújtott vagy összenyomott, akkor benne rugalmas energia tárolódik ugyanúgy, mint ahogy a magasba emelt test is magassági energiát tárol, amíg az adott magasságú helyzetében van. Ezért a rugalmas energia is egyfajta potenciális energia ugyanúgy, ahogy a magassági helyzeti energia is egyfajta potenciális energia. Ha egy test adott állapotából származik az energiája, akkor azt általánosan potenciális energiának nevezzük, míg ha a mozgásából (sebességéből) adódik az energiája, akkor azt mozgási energiának nevezzük.

A munka, az energia, az energiaváltozás mind skaláris mennyiség, melyeknek nincs irányuk, hanem csak számértékük és mértékegységük van. A felsorolt mennyiségeknek mind joule (J) a hivatalos mértékegysége, aminek természetesen használjuk az előtétszavakkal ellátott változatait is:

$$\begin{aligned} 1 \text{ J} &= 1000 \text{ mJ (millijoule),} \\ 1 \text{ kJ (kilojoule)} &= 1000 \text{ J,} \\ 1 \text{ MJ (megajoule)} &= 1000 \text{ kJ, és így tovább.} \end{aligned}$$

A munka, a helyzeti energia, bármely energiaváltozás lehet pozitív, negatív vagy nulla, azonban a mozgási energia és a rugalmas energia nem lehet negatív értékű.

NE FELEDD!

Munkavégzés hatására a testek állapota megváltozhat. A testek munkavégzésre alkalmas állapotát a test energiájával jellemezhetjük. Egy test mechanikai energiája kétféle lehet:

mozgási energia: $E_{\text{mozg}} = \frac{1}{2}mv^2$ és

potenciális energia:

magassági helyzeti energia: $E_{\text{hely}} = mgh$

illetve rugalmas energia: $E_{\text{rug}} = \frac{1}{2}Dx^2$

(A két megismert potenciális energián kívül még másfélék is létezik.)

Az energia mértékegysége megegyezik a munkáéval: $[E] = \text{J}$ (joule).

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Nevezd meg a hétköznapi életből olyan tárgyakat, jelenségeket, amelyek működésében fontos szerepet játszanak a mechanikai energiafajták!
2. Becsüld meg, mekkora mozgási energiája lehet egy jól elrügött focilabdának és egy erős szervájú teniszlabdának! A szükséges adatokat az interneten keresd!
3. Egy lőszeres dobozon azt olvashatjuk, hogy a lövedék tömege 8 g, energiája 475 J. Mennyi lehet a lövedék sebessége a fegyver elhagyásakor?
4. Lassan felhelyezünk egy könyvet a felső polcra. Mi a kapcsolat az általunk végzett emelési munka, a nehézségi erő által végzett munka, valamint a megemelt könyv magassági helyzeti energiájának megváltozása között?
5. Lassan leemelünk egy bögrét a konyhaszekrény felső polcáról. Mi a kapcsolat az általunk végzett emelési munka, a nehézségi erő által végzett munka, valamint a leemelt bögre magassági helyzeti energiájának megváltozása között?
6. Lassan megfeszítünk egy íjat. Mi a kapcsolat az általunk végzett munka és az íjban tárolt rugalmas energia között?
7. 10 méter magasról leejtünk egy 0,2 kg tömegű almát, ami 12 m/s sebességgel csapódik a földre. Mennyi munkát végzett a nehézségi erő? Mennyi az alma mozgási energiájának megváltozása? Mennyi munkát végzett a közegellenállási erő?
8. Lehet-e negatív értékű egy test mozgási energiája, egy test magassági helyzeti energiája, egy rugó rugalmas energiája?

Hallottál róla?

Az energia nem csak mechanikai fogalom. Legtöbb gépünket elektromos energia hajtja. A kémiai és a biológiai energia is elektromágneses eredetű. Az atommag alkotórészei között működő nukleáris kölcsönhatást is lehet energiával jellemezni. A kozmológusok azt sejtik, hogy az univerzumban van egy új energiaforma, a sötétenergia, ami a világegyetem gyorsuló tágulásáért felelős. Azért hívják sötétenergiának, mert egyelőre elképzelésük sincs az eredetéről.

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A 100 m magasan, 72 km/h sebességgel haladó repülőgépből kiejtenek egy 200 kg tömegű segélycsomagot. A kinyíló ejtőernyőnek köszönhetően a csomag 3 m/s sebességgel érkezik a talajra.
 - a) Mennyi munkát végez a csomagon a nehézségi erő?
 - b) Mennyi a csomag mozgási energiájának megváltozása?
 - c) Mekkora munkát végzett a csomagon a közegellenállási erő?
2. A játék pisztoly rugóját kétféle mértékben lehet összenyomni. Az első fokozatú összenyomáshoz 0,8 J munka szükséges. A második fokozathoz kétszer nagyobb deformáció tartozik, mint az elsőhöz. Összesen mekkora munka árán lehet a játék pisztoly rugóját a második fokozatig feszíteni? Mekkora munkával tudjuk a játék rugóját az első fokozattól a második fokozatig feszíteni?
3. Egy 100 N/m rugóállandójú rugó felső végét rögzítjük, az alsó szabad végére egy 100 dkg tömegű testet helyezünk. Mekkora a rugóban tárolt rugalmas energia, amikor a test egyensúlyban van?
4. Egyenes úton haladó jármű sebessége a kétszeresére nő. Hányszorosára változik a mozgási energiája?
5. A törvény alapján lőfegyvernek minősülnek az olyan eszközök, melyekből 7,5 J-nál nagyobb energiával távozik a lövedék. Egy puskához 8 g tömegű löszert használnak. Legalább mekkora sebességgel hagyja el a lövedék a lőfegyver puskacsövét?



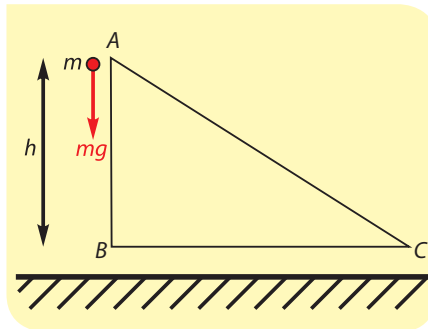
■ A legjobb férfi teniszesezők több mint 240 km/h sebességgel szerválnak. Mekkora az ennyire gyors teniszlabda mozgási energiája?

15. | Energiaátalakulások

A Nap fénye a földfelszín felett különböző mértékben melegíti fel a levegőt, emiatt alakulnak ki a szelek. A napsugárzás hatására a növekedő növényekben kémiai energia tárolódik. Azt látjuk, hogy az energiaformák kölcsönhatáskor átalakulhatnak. A mechanikai energia három formáját sikerült eddig megismernünk. Vizsgáljuk ezek átalakulásait!

Függ-e a munkavégzés az úttól?

Ugyanazt az m tömegű testet lassan, egyenletesen mozgassuk először az ábrán látható ABC törött szakaszon, majd közvetlenül az AC szakaszon. Mindkét alkalommal a mozgatott test h -val mélyebbre kerül. Számoljuk ki a nehézségi erőn végzett munkáját mindkét esetben!



Kezdjük az ABC pályán végzett munkavégzéssel! A folyamatot két részre bonthatjuk: az AB szakaszon az mg nehézségi erő és az AB elmozdulás egyirányú, tehát a munka $W_{AB} = F \cdot s = mgh$; a BC szakaszon az mg nehézségi erőnek nincs munkája, mert merőleges a BC elmozdulásra. Így:

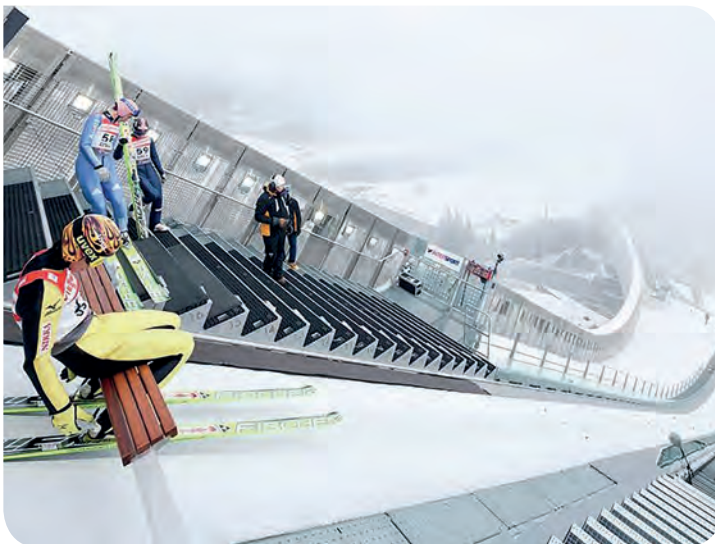
$$W_{ABC} = W_{AB} + W_{BC} = mgh + 0 = mgh$$

■ $W_{AB} = W_{ABC} = mgh$

Mekkora a munkavégzés az AC pályán? Az mg nehézségi erő és az AC elmozdulás most nem egyező irányú. Ilyenkor két lehetőség közül választhatunk. Vagy az erő elmozdulásirányú összetevőjét szorozzuk az elmozdulással, vagy az erőt szorozzuk meg az elmozdulás erőirányú összetevőjével. Az utóbbi tűnik egyszerűbbnek, hiszen az AC elmozdulás erőirányú összetevője éppen AB :

$$W_{AC} = mg \cdot AC_{\text{párh}} = mg \cdot AB = mgh$$

Megállapíthatjuk, hogy **a nehézségi erő által végzett munka független az úttól**, értékét a test magasságváltozása egyértelműen meghatározza. A nehézségi erő munkája a fenti folyamatban mgh , miközben az m tömegű test helyzeti energiájának megváltozása $-mgh$



Ha a testet lassan, egyenletesen mozgatva a C pontból visszajuttatjuk az A pontba (például egyszerűen úgy, hogy kézbe vesszük, és követjük a kijelölt útvonalakat), akkor az általunk végzett munka lesz mgh (ezért növekszik a test helyzeti energiája mgh értékkel), és a nehézségi erő által végzett munka lesz az előző ellentettje: $-mgh$, a végzett munka nem függ attól, pontosan milyen útvonalon került a test magasabbra, csak a szintkülönbség számít. Süllyedéskor – bármilyen útvonalon történjen – ugyanannyi energia szabadul fel, amennyi a test felemeléséhez szükséges volt. A gravitációs erő megőrzi, konzerválja az emelés során befektetett energiát. Úgy mondjuk, a gravitációs erő konzervatív. A rugóerő is ilyen tulajdonságú. A súrlódási vagy a közegellenállási erő munkája azonban függ attól, milyen pályán halad a test, ezek nem konzervatív erők, melyek a mechanikai energia csökkenését eredményezik.

■ Hogyan változik a síugró mechanikai energiája, miközben lecsúszik a magas sísáncról, majd onnan elrugaszkodva a levegőben repül?

A mechanikaienergia-megmaradás törvénye

Ha egy testre csak olyan erők hatnak, melyek munkája független az úttól (konzervatív erők), vagy a nem konzervatív erők munkája nulla, akkor a test mechanikai energiája nem változik. Ha a test a nehézségi erő és a rugóerő hatására mozog, akkor a következő összefüggést írhatjuk fel:

$$E_{\text{hely}} + E_{\text{rug}} + E_{\text{mozg}} = \text{állandó}$$

ahol E_{hely} a helyzeti (más néven magassági) energia,
 E_{rug} a rugalmassági energia,
 E_{mozg} pedig a test mozgási energiája.

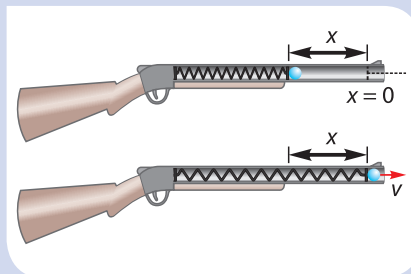
Ezt az összefüggést nevezzük a **mechanikaienergia-megmaradás törvényének**. A törvény segítségével a test két állapotát hasonlíthatjuk össze, melyeket nevezünk (1)-es és (2)-es állapotnak. Ha a vizsgált rendszerben nincsenek olyan nem konzervatív erők (vagy ezek elhanyagolhatók), mint amilyen a súrlódás és a közegellenállás, akkor a rendszer teljes mechanikai energiája az (1)-es és a (2)-es állapotban ugyanakkora:

$$E_{\text{hely}}(1) + E_{\text{rug}}(1) + E_{\text{mozg}}(1) = E_{\text{hely}}(2) + E_{\text{rug}}(2) + E_{\text{mozg}}(2)$$

A mechanikaienergia-megmaradás törvényének ezt az alakját úgy használhatjuk, hogy külön-külön tekintjük a test (1)-es és (2)-es állapotát. Összegyűjtjük az összes szóba jövő energiát mindkét állapotban, és ezeket egyenlővé tesszük. A számítás során nem kell azzal foglalkoznunk, milyen folyamattal jutott a test az (1)-es állapotból a (2)-esbe.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: A képen látható rugós puska régi, kedvelt gyerekjáték. A puskával 5 gramm tömegű műanyag golyót lehet kilőni. A lövedék mozgásakor a súrlódás és a közegellenállás elhanyagolható. A puskacsőben lévő 4 N/m rugóállandójú rugó nyújtatlan állapotban teljesen kitölti a csövet, összenyomott állapotban 20 cm-rel rövidebb. Energetikai számítással adjunk választ a következő kérdésekre:



■ Rugós játék puska, mellyel könnyű műanyag golyót lőhetünk ki

- Mekkora sebességgel hagyja el a vízszintesen tartott puska csövét a lövedék?
- Mekkora sebességgel hagyja el a függőlegesen felfelé tartott puska csövét a lövedék?
- A puskacső végétől számítva milyen magasra repül a lövedék a második esetben?

Megoldás: A rugó összenyomása során végzett munkánkkal egyenlő rugalmas energia tárolódik a rugóban. Mivel a súrlódás és a közegellenállás elhanyagolható, a lövedékre a nehézségi erőn és a rugóerőn kívül legfeljebb a cső falának nyomóereje hat. Azonban a nyomóerő munkája nulla, mert mindig merőleges a lövedék elmozdulására. Ezért alkalmazhatjuk a mechanikaienergia-megmaradás törvényét:

$$E_{\text{hely}} + E_{\text{rug}} + E_{\text{mozg}} = \text{állandó}$$

Megjegyzés: A rugó összenyomásakor a rugó $-0,2$ J munkát végez, mivel a rugóerő iránya ellentétes a rugó végének elmozdulásával. A lövedék kilövésekor ugyanez az erő az elmozdulással egyirányú, a végzett munka $0,2$ J lesz.

Tőled függ!

A rugós puskából kilőtt golyóról elmondottak szélesebb körben is érvényesek. Az eldobott kavics mechanikai energiája is állandó a mozgás során, ha a súrlódási veszteségtől eltekintünk. Ebből az következik, hogy ugyanabban a magasságban – ahol ugyanakkora a helyzeti energiája – ugyanakkora a mozgási energiája, tehát a sebessége is, akár felfelé, akár lefelé halad a kavics.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy 3 m magas diófa tetejéről leesik egy 5 g tömegű dió. Mekkora sebességgel ér földet?

Megoldás: Ezt a feladatot az előző leckeiben a munkatétel segítségével oldottuk meg. Most alkalmazzuk a mechanikai energiák megmaradási tételét. A h magasságban függő dió helyzeti energiája $m \cdot g \cdot h$, mozgási energiája nulla, teljes mechanikai energiája megegyezik a helyzeti energiával.

A talajszintre érve a helyzeti energia nulla, a mozgási energia $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ és ennyi a teljes mechanikai energia is. A súrlódástól eltekintve a mechanikai energia megmaradása teljesül.

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Az egyenlet egyszerűsíthető a dió tömegével, majd átrendezés után:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = 7,75 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

NE HIBÁZZ!

Könnyű összekeverni a mechanikaienergia-megmaradás törvényét az energiamegmaradás általános törvényével. Mindenki hallotta már az ismert mondatot, hogy „az energia nemvész el, csak átalakul”. Ez a rövid megállapítás az **általános energiamegmaradásra** vonatkozik. Minden eddigi tapasztalatunk azt mutatja, hogy teljesen általános értelemben az energia megmaradó mennyiség, semmiből nem keletkezik, nem tűnethető el.

A mechanikai energiák csak akkor maradnak meg, ha nem történik valamilyen olyan folyamat, ami másféle energiák megjelenésével jár. Legtöbbször a csúszási súrlódás, illetve a közegellenállás képes arra, hogy hőtermelés révén olyan folyamatok játszódjanak le, melyek kezdetén és végén a rendszer mechanikai energiája nem marad ugyanakkora. Tehát a mechanikaienergia-megmaradás törvénye csak korlátozottan érvényes.

A mozgási energia különleges szerepet tölt be a mechanikai energiák között. Nem tartozik a potenciális energiák közé, mert nem a test helyzetétől, hanem mozgási állapotától függ. Sőt a mozgási energia megváltozását nemcsak a helyzeti energiák változása alapján határozhatjuk meg, hanem a testre ható erők munkájaként is. Ha súrlódás vagy közegellenállás miatt változik is a teljes energia, a mozgási energia megváltozása kiszámítható a testre ható összes erő munkájának összegeként (ezt a törvényt neveztük munkatételnek). Ekkor nemcsak a konzervatív, hanem a nem konzervatív erők munkáját is figyelembe kell venni.

a) Két állapotot hasonlítunk össze, melyek teljes mechanikai energiája megegyezik. Az (1)-es állapotban a rugó összenyomott, a lövedék nem mozog. A (2)-es állapotban a rugó nyújtatlan, a lövedék éppen kirepül a csőből. Mivel a puska csöve vízszintes, ezért nincs helyzetienergia-változás, célszerű a cső szintjét tekinteni a helyzeti energia nulla szintjének.

A két állapotra írjuk fel a mechanikaienergia-megmaradási törvényt:

$$E_{\text{hely}}(1) + E_{\text{rug}}(1) + E_{\text{mozg}}(1) = E_{\text{hely}}(2) + E_{\text{rug}}(2) + E_{\text{mozg}}(2)$$

Az egyenletbe írjuk be a megfelelő energiategokat:

$$0 + \frac{1}{2}Dx^2 + 0 = 0 + 0 + \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = x\sqrt{\frac{D}{m}} = 0,2 \text{ m} \sqrt{\frac{4 \text{ N/m}}{0,005 \text{ kg}}} \approx 5,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A kilövés közben lényegében az történt, hogy a rugóban tárolt energia a lövedék mozgási energiájává alakult. Sikerült úgy kiszámítanunk a lövedék sebességét, hogy nem kellett arra figyelni, mennyi idő alatt játszódik le a folyamat, hogyan változik a lövedék gyorsulása, sebessége, helye az idő függvényében.

b) Függőleges puskacső esetén is ugyanazt a két állapotot hasonlítjuk össze, azonban az előző esethez képest az a különbség, hogy közben változik a lövedék magassági helyzeti energiája. A helyzeti energia nulla szintjét célszerű a lövedék kiindulási állapotához választanunk, így a puskacső elhagyásakor a lövedék emelkedése $h = x$ értékű.

$$E_{\text{hely}}(1) + E_{\text{rug}}(1) + E_{\text{mozg}}(1) = E_{\text{hely}}(2) + E_{\text{rug}}(2) + E_{\text{mozg}}(2)$$

Írjuk be a megfelelő energiategokat, figyelembe véve, hogy $h = x$ (vagyis $mgh = mgx$):

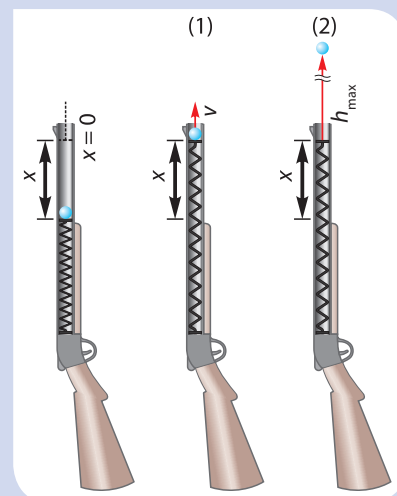
$$0 + \frac{1}{2}Dx^2 + 0 = mgx + 0 + \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{Dx^2}{m} - 2gx} = \sqrt{\frac{(4 \text{ N/m}) \cdot (0,2 \text{ m})^2}{0,005 \text{ kg}} - 2 \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (0,2 \text{ m})} = 5,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ebben az esetben az történt, hogy a rugóenergia nemcsak a lövedék mozgási energiájára, hanem részben a lövedék helyzeti energiájának növekedésére fordítódott. Ez a magyarázata annak, hogy a függőlegesen felfelé tartott puskacsőből kisebb sebességgel repül ki a lövedék.

c) Miután elhagyja a puskacsövet a lövedék, és függőlegesen felfelé mozog, mozgási energiája fokozatosan magassági helyzeti energiává alakul. Ebben az esetben az (1)-es állapot a cső elhagyása, a (2)-es állapot pedig a lövedék legmagasabb pontja. Érdemes ilyenkor a helyzeti energia nulla szintjét a puskacső torkolati nyílásához rendelni. Ilyenkor az energiamegmaradás törvénye egyszerűen így írható:

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh_{\text{max}}$$



■ A függőlegesen felfelé tartott puska esetén a lövedék energiájának összehasonlító állapottai

ami azt fejezi ki, hogy a nulla szint megválasztása miatt a kezdőállapotban a lövedéknek csak mozgási energiája van, míg a végállapotban csak helyzeti energiája, hiszen ott egy pillanatra megáll a lövedék (a rugó ebben az esetben már nincs kölcsönhatásban a lövedékkel, ezért nem kell a rugalmas energiátokat használnunk). A végeredmény:

$$h_{\max} = \frac{v^2}{2g} = \frac{(5,3 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 10 \text{ m/s}^2} = 1,4 \text{ m}$$

NE HIBÁZZ!

Ügyeljünk arra, hogy a helyzeti energia nulla szintjét minden alkalommal kijelöljük, ha a mechanikaienergia-megmaradás törvényét alkalmazzuk. Önkényesen oda választjuk, ahova akarjuk, illetve ahova a probléma szempontjából célszerűnek tűnik.

Hallottál róla?

Vízerőművekben a duzzasztott folyóvíz felgyorsulva lezúdul, megforgatja a turbinalapátókat. A víz helyzetienergia-változása biztosítja a turbinákba kerülő víz hatalmas mozgási energiáját. A turbinákból lelassulva, kisebb mozgási energiával kerül ki a víz. Ezért tudja az állandó fordulaton működő turbina meghajtani az áramfejlesztő generátorokat. A vízerőmű végső soron a víz helyzeti energiáját alakítja elektromossá.



A víztorony tárolójába elektromos energiát felhasználva pumpálják fel a vizet. Ha valamiért le kell ereszteni a víztorony vizét, akkor alul nagy sebességgel, nagy mozgási energiával ömlik ki a víz.

A szivattyús energiatároló vízerőművek a lakosság és az ipar alacsony villamosenergia-fogyasztásakor (például éjszaka) más alaperőművek (atom-, szénerőmű) által megtermelt áram segítségével vizet szivattyúznak a magasan lévő víztározóba. A fogyasztási csúcs idején, amikor megnő az elektromosenergia-igény, leengedik az így tárolt vizet és megtermelik a szükséges elektromos energiát.



NÉZZ UTÁNA!

A hatásfok

A gépek és erőművek jellemzésére jól használható fizikai mennyiség a hatásfok. Az általában a görög ábécé éta betűjével jelölt hatásfok egynél kisebb arányszám. Azt mutatja meg, hogy a gép vagy erőmű által felvett teljes energia hányad része hasznosul. Egy elektromos motor hatásfokát például a motor által végzett számunkra hasznos mechanikai munka és a hálózatból felvett összes elektromos energia hányadosa adja. Másik példa: az elektromos áram termelése szempontjából egy hőerőmű hatásfoka 25% körüli, ami az elektromos energia és az erőművet tápláló szén vagy földgáz elégetéséből származó összes energia hányadosa.

Tőled függ!

Örökmozgónak (perpetuum mobile) olyan elképzelt eszközt nevezünk, amelyet, ha egyszer mozgásba hozunk, akkor az örökre mozgásban marad, anélkül, hogy energiát venne fel a környezetéből. Ez nyilvánvaló képtelenség, hiszen bármely szerkezet kölcsönhatásban áll a környezetével, és így a kezdeti mechanikai energiáját „szétszórja” a külvilágba. Az ember ősi vágya az örökmozgó megalkotása. A múltban rengeteg feltalálót foglalkoztatott ez a feladat – eredménytelenül. A francia Tudományos Akadémia 1775 óta olvasatlanul elutasít bármilyen örökmozgóra vonatkozó szabadalmi beadványt. Manapság is felbukkannak örökmozgót ígérő ötletek, de ezeket kritikusan kell értelmezni.

Mit gondoltak régen?

A természet megismerése során arra törekszünk, hogy megmaradási törvényeket fogalmazzunk meg. Ilyen a tömeg-, az elektromostöltés-, a lendületmegmaradás törvénye. Ahogy azt később tanulni fogjuk, nem csak mechanikai energiák léteznek. Az **energiamegmaradás törvénye** általánosan igaz: **zárt anyagi rendszer teljes energiája állandó**. Olyan rendszereket nevezünk zárt anyagi rendszereknek, melyek semmilyen kapcsolatban nem állnak a környezetükkel. Az általános energiamegmaradás törvényének megfogalmazása nem köthető egyetlen tudóshoz. A gondolat már az ókorban is felbukkant, újkori megfogalmazásáért sokat tett Robert Mayer, Joule és Helmholtz.

NE FELEDD!

Azokat az erőket, melyeknek két adott pont közötti munkája nem függ a két pont közötti úttól, konzervatív erőknek nevezzük. A konzervatív erő által végzett munka értékét egyértelműen meghatározza a mozgás kezdő- és végpontja. Konzervatív erők: nehézségi erő, gravitációs erő, rugóerő.

A mechanikaienergia-megmaradás törvénye kimondja, hogy konzervatív erők hatására egy test mechanikai energiája nem változik:

$$E_{\text{hely}} + E_{\text{rug}} + E_{\text{mozg}} = \text{állandó}$$

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Sorolj fel konzervatív és nem konzervatív erőket!
- Az atléták a távol- és a magasugrás előtt „nekifutnak”. Miért? Hasonlítsd össze a távolugrás és a magasugrás nekifutását, és add meg a különbség fizikai okát!
- A lillafüredi vízesés Magyarország legnagyobb esésű vízesése. A 20 méter magasról lezúduló víz legfeljebb mekkora sebességgel érkezik le a mederbe?
- Egy lőszeres dobozon azt olvashatjuk, hogy a lövedék tömege 8 g, energiája 475 J. Legfeljebb milyen magasra lehet ezzel a fegyverrel lőni?
- Egy turista 7 kg tömegű hátizsákkal a hátán kirándul a Mecsekben. Egyik alkalommal a Tubesről túrázik a Zengőre. Mennyivel változik meg eközben a hátizsák helyzeti energiája,
 - ha a helyzeti energia nullszintjét a Tubeshez rögzítjük?
 - ha a helyzeti energia nullszintjét a Zengőhöz rögzítjük?
 A szükséges adatokat keressük ki az interneten!
- Egy gyurmadarabot a talajra ejtünk. Vajon mi lesz a kezdeti mechanikai energiájával?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

- A 20 m/s kezdősebességgel felfelé hajtott kislabda milyen magasra jut? Milyen magasan lesz a sebessége 10 m/s?
- A 10 N/m rugóállandójú, nyújtatlan rugó felső végét rögzítjük. Az alsó végére erősített 100 g tömegű testet egyszer csak elengedjük.
 - Mekkora a rugó legnagyobb megnyúlása?
 - Mekkora a rugó megnyúlása, ha elég sokat várunk?
- Lehetséges-e, hogy egy testnek állandó gyorsulása van, a mozgási energiája mégsem változik?
- Egy gumilabda a kemény talajjal való ütközés során elveszíti mozgási energiájának 20%-át. Hány pattanás után lesz a felpattanás kisebb, mint az eredeti magasság fele? A labdát kezdősebesség nélkül ejtjük le, és a közegellenállást elhanyagolhatjuk.

16. | A belső energia

Hogyan gyújtott tüzet az ember a történelem előtti időkben?

A leletek tanulsága szerint az egyik egykori eljárás lényege az volt, hogy egy fapálcát nagy sebességgel forgattak egy arra alkalmas mélyedésben. A gyors mozgás hatására az érintkező, súrlódó felületek felmelegedtek, végül olyan forróvá váltak, hogy az oda helyezett szalma lángra is kapott. A felmelegedés során az anyagok úgynevezett belső energiája növekszik. A belső energia növekedése az anyag részecskéinek egyre intenzívebb rendezetlen mozgásában nyilvánul meg, ezért nevezik ezt a rendezetlen mozgást hőmozgásnak is.

Sérül-e az energiamegmaradás törvénye amikor egy csúszó test megáll?

Amikor a csúszó test megáll, kezdeti mozgási energiája nullára csökken. Hová tűnik az energia? Bár a mechanikai energia elvész, figyelmesen megvizsgálva a súrlódás folyamatát az egymáshoz dörzsölődő felületek kisebb vagy nagyobb mértékű felmelegedését figyelhetjük meg. A csúszási súrlódás során a mechanikai energia tehát belső energiává alakul át – a mechanikai energiák összege önmagában nem, a belső energiával kiegészülve már megmaradó mennyiség.

Mi lesz az elégetett üzemanyagból?

A legtöbb magánkézben lévő gépkocsi reggel elindul útjára, majd este ugyanoda érkezik vissza. Miben különbözik egymástól a reggeli és az esti autó? Este kevesebb üzemanyag van a tankjában (tételezzük föl, hogy napközben nem tankolt), és este melegebb a motor, mint reggel. Próbáljuk meg összegyűjteni, hogy mi is történt az üzemanyag kémiai energiájával! Elvégezve a gondos leltározást, azt állapíthatjuk meg, hogy a hiányzó üzemanyag teljes mennyisége egyetlen szóval kifejezhető módon hővé vált. A hő azt jelenti, hogy valamilyen anyag termikus energiája (belső energiája, vagyis részecskéi rendezetlen mozgásának átlagos sebessége) megváltozik. A **hőközlés mindig rendezetlen energiaátadási folyamatot jelent**; a hőközlés pozitív, ha a test termikus energiája növekszik, illetve a hőközlés negatív, ha a test termikus energiája csökken.

Nézzük meg az autózásakor a részleteket! Városi forgalomban gyakran növeljük a sebességet, tehát növeljük a jármű mozgási energiáját, fékezéskor pedig éppen fordítva, csökkentjük a sebességet is, a mozgási energiát is. A mozgási energia növelésére fordítjuk az üzemanyag kémiai energiájának egy részét, fékezéskor a fék-

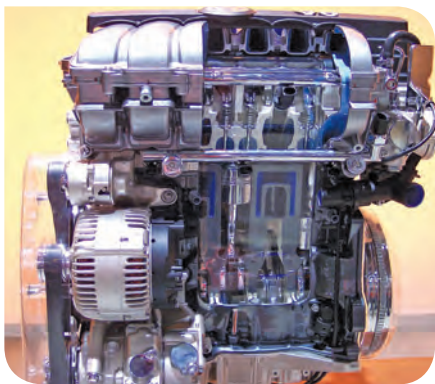
Az energia pontos meghatározását nehéz megadni, ennek ellenére mindennapi tapasztalataink alapján nagyon sokat tudunk az energiáról, bár lehetséges, hogy tudásunkat nem tudjuk tudományos igényességgel megfogalmazni. Amikor nagyon jó fizikai és szellemi állapotban vagyunk, azt mondjuk, „kirobbanóan sok energia van bennünk”. Pontosan értjük ennek a jelentését, de nehezen tudnánk leírni, hogy milyen formában is létezik bennünk az a rengeteg energia.

NÉZZ UTÁNA!

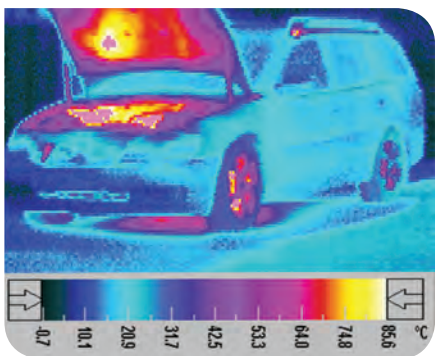
Keress videót az interneten, ami megőrökíti a kőkorszaki eszközökkel történt tűzgyújtást!



■ Gépkocsik nélkül szinte elképzelhetetlen az életünk



- Melyik alkatrész végzi elsődlegesen az erő szorozva elmozdulás összefüggéssel leírható munkát?



- Autózás közben a motor különböző részei eltérő módon melegednek fel (hőkamerával készült felvétel)



- Mivé alakul végső soron az elektromos autó „üzemanyaga”?



- A légellenállás igen jelentős hatás, ha a járművek nagy sebességgel haladnak

tárcsák (vagy fékdobok) és a fékbetétek egymáshoz szorulnak, erős csúszási súrlódás lép fel, ami nagy hőt jelent. Ez a hő felmelegíti a fékberendezést, a későbbiek során pedig a környezetünket. Megállástól megállásig a teljes mozgási energiaváltozás nulla, **az elhasznált üzemanyag kémiai energiája hővé vált!** Persze egyik autó motorjának **sem 100%-os a hatásfoka**, de ennek elvileg nem az az oka, hogy nem tudunk tökéletesen jó kenőanyagokat használni, nem tudjuk az egymáshoz képest elcsúszó alkatrészek között fellépő súrlódást megszüntetni. A szükségszerűen alacsonyabb hatásfok oka a forró kipufogógázok miatti **elkerülhetetlen hővesztesség**. A motorokból távozó kipufogógázok ugyan hidegebbek, mint az elégés pillanatában voltak, azonban a környezethez képest így is melegek (megégethetjük a kezünket, ha járó motor esetén megérintjük a kipufogódobot), tehát a távozó égéstermékek nemcsak kémiaiilag szennyezik a környezetünket, hanem ezek is hozzájárulnak a légkör melegedéséhez.

Ha dimbes-dombos területen autózunk, akkor változik a járművünk magassági (más szóval gravitációs) helyzeti energiája is; emelkedéskor nő a helyzeti energia, süllyedéskor csökken. Ha a nap végén ugyanott parkolunk le, ahonnan indultunk, akkor a teljes magassági helyzeti energiaváltozásunk összesen nulla. Ha viszont sík vidéken egyenletes sebességgel haladunk (például ilyen a sík autópályákon történő közlekedés), akkor a járműnek sem a mozgási energiája, sem a magassági helyzeti energiája nem változik, mégis fogy az üzemanyag. Ilyenkor a viszonylag csekély súrlódás mellett főként **a közegellenállás legyőzésére használjuk az üzemanyagot**. Tegyük csak ki kezünket a járműből, nagy sebességnél ijesztően nagy hátralökő erőt érzünk. Egyenes vonalú egyenletes haladáskor a járműre ható erők előjeles összege nulla, vagyis a hátrafelé ható súrlódási erő és a közegellenállási erő együttes nagyságának meg kell egyeznie a meghajtott kerekekre ható előremutató tapadási súrlódási erő nagyságával.

Ezek után próbáljunk meg más energiákat találni, olyanokat, melyek talán nem a környezet melegítésével végzik pályafutásukat az autók működése so-



- A biztonságos autózáshoz havas, jeges úton a hólánc használatával tudjuk biztosítani a kerekek tapadását, vagyis az út és a kerekek közötti elegendő súrlódást

rán. Számos villamos berendezés is van a kocsikban, például sokan nagyon szeretik a jó minőségű, nagy hangerővel működő hifiberendezéseket. Az autó motorjához kapcsolódó elektromos generátor (elnyelődő hőveszteséggel) elektromos energiát termel, a hifiberendezés pedig (szintén hőveszteséggel) az elektromos energiát hangenergiává alakítja. A hang viszont közelebb vagy távolabb, de elnyelődik a légkörben (vagy más testekben, például a fülünkben), és a hangenergia elnyelődése szintén termikusenergia-növekedést jelent.

Az autókban lévő villamos berendezésekkel lámpákat is üzemeltetünk, vagyis ilyenkor az energiaátalakítási folyamat végén fényenergiát kapunk. Ha ez a fény a földi tárgyakon vagy a légkörben elnyelődik, akkor ez a folyamat is a Föld termikus energiáját növeli. Lényegében arra a következtetésre jutottunk, hogy alig találunk olyan esetet, amikor a járművek üzemanyagának kémiai energiája végső lépésben nem a Föld termikus energiáját növeli. Rendkívül kis mértékben kijuthat a Föld légköréből a világűrbe az autók lámpái által megtermelt fényenergiából egy csekély rész, illetve lehetnek olyan berendezések is az autóban (például mobiltelefon), melyek a látható fényhez képest eltérő (sokkal kisebb) frekvenciájú, úgynevezett elektromágneses hullámokat juttatnak ki a Föld légköréből.



■ Az emberiség által felhasznált energiából egy igen csekély mennyiség fény formájában úgy jut ki a világűrbe, hogy közben nem melegíti a Földet

NE FELEDD!

Az energia munkavégző képesség. Az energiának nagyon sok fajtája létezik, melyek egymásba átalakíthatóak, vagy melyeket munkavégzésre használhatunk.

Az emberi tevékenységek során a legtöbb esetben olyan energiaátalakítási folyamatok történnek, melyek közben, illetve a folyamatok végén hő keletkezik, ami azt jelenti, hogy nő a környezetünk hőterhelése.

A fizika mindenhol ott van az életünkben, és általában mindig összetett módon jelenik meg. Mindennapi tapasztalataink, foglalkozásaink alapján a jelenségek bonyolultsága ellenére meglepően sok dolgot megérthetünk, ha nem ijedünk meg a dolgok összetettségétől, és logikusan, józanul gondolkodunk.

Az energiával kapcsolatos gondolatok nagyon gyorsan elvezetnek a tudatos környezeti magatartáshoz, ami szintén nagyon összetett kérdés. Ezért hosszú ideig érdemes magunkban gyűjteni a gondolatokat, információkat, és joggal bízhatunk abban, hogy ezekből olyan rendszer áll majd össze a fejünkben, ami segíti életvitelünket egész életünk során.

Ha a tananyag minden részletét nem is érthetjük meg azonnal, mégis érezhetjük a fizika üzenetét. Világos üzenet, hogy takarékoskodnunk kell az üzemanyagokkal. Hatalmas mennyiségben használunk fel energiát, és végső soron gyakorlatilag az összes felhasznált energiából hő lesz.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Sorold fel minél több energiafajtát!
2. Milyen fizikai és kémiai folyamatok során állítunk elő elektromos energiát?
3. Sorold fel példákat arra, amikor takarékoskodunk az energiával, és gyűjts össze példákat arra is, amikor pazaroljuk az energiát!
4. A jó minőségű elektromos kerékpárok lejtőn lefelé menet energiával töltik fel a jármű akkumulátorát. Az ilyen kerékpároknak lassabban kopik a féke. Vajon miért?
5. Egy zsúfolt irodában asztali számítógépekkel dolgoznak a munkatársak. Megfigyelték, hogy télen, napközben szinte soha nem kapcsol be a szobában az automatikus fűtésszabályozó, nyáron viszont akkor is bekapcsol a hűtés, ha a kinti hőmérséklet nem is magas. Magyarázzuk meg ezeket a megfigyeléseket!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Sorold fel azokat a lépéseket, ahogy egy gépkocsiban az üzemanyag kémiai energiája átalakul az indexlámpa fényenergiájává!
2. Nézz utána, hogy egyes erőművekben mi a tüzelőanyag, annak felhasználása során hány százalékban sikerül elektromos energiát előállítani (mennyi az elektromos energia előállításának a hatásfoka), és az elektromos energia előállítása során mennyi a fajlagos széndioxid-kibocsátás (CO_2 -tömeg/kWh)!
3. A nagy távolságokat megtevő utasszállító repülőgépek nagyjából tízezer méter magasban repülnek. Miért éri meg ilyen magasra felemelni a hatalmas tömegű gépeket?
4. Emelődaru 2,5 tonna tömegű testet emel egyenletesen 20 méter magasra. A daru villanymotorjának és a mechanikai szerkezetnek (kerekek, acélhuzalok stb.) a hatásfoka 85%. Hány kWh elektromos energia felhasználásával emeli fel a daru a testet?
5. Egy személygépkocsi sebessége autópályán 35 m/s. Ilyen sebesség esetén 100 kilométeren a fogyasztása benzinből 7,0 liter. A benzin fűtőértéke 43 MJ/kg, átlagos sűrűsége: 0,75 kg/liter.
 - a) Mennyi a benzin literre vonatkoztatott égéshője?
 - b) Mennyi a 100 km-en elfogyasztott energia?
 - c) Hány kilowattos teljesítménnyel égeti az autó az üzemanyagot?
6. Egy átlagos személygépkocsi fogyasztása benzinből az autópályán 100 kilométeren a megengedett sebesség esetén 7 liter. A benzin fűtőértéke 43 MJ/kg. Nézz utána, mennyibe kerül egy liter benzin! (A benzin átlagos sűrűsége 0,75 kg/liter.)
 - a) Mennyibe kerül fajlagosan az energia (Ft/MJ), ha ezt benzin formájában fogyasztjuk el?
 - b) Mennyi energia árán teszünk meg egy kilométert ezzel a személygépkocsival az adott sebesség esetén?
 - c) Mennyibe kerül az egy kilométer út megtételéhez szükséges üzemanyag ilyen sebesség és tempó mellett?
7. Hasonlítsuk össze különböző közlekedési formák energiafogyasztását! Egy szülő mindegyik esetben 10 km-es távolságra szállítja gyermekét. A szülő tömege 80 kg, a gyermek tömege 30 kg. Mindegyik esetben számítsd ki, mennyi a hasznos és az összes tömeg hányadosa, mennyi a szállítás hatásfoka, és mennyi a szállítás költsége 10 km-en! Nézz utána, mennyibe kerül egy liter benzin!
 - a) Mennyi energiát fogyaszt 10 kilométeren a szülő, ha kerékpárral (járműtömeg: 8 kg) utazik és viszi a fiát?
 - b) Mennyi energiát fogyaszt egy könnyű kismotorral 10 kilométeren (járműtömeg: 110 kg, fogyasztás 3,0 liter/100 km)?
 - c) Mennyi energiát fogyaszt a mai átlag személygépkocsi szállítás során (járműtömeg: 1000 kg, fogyasztás: 7,0 liter/100 km)?

17. | A táplálkozás és az energia

Hogyan jut a szervezetünk a táplálékból energiához?

Ha nagyon leegyszerűsítjük a táplálék energiájának felhasználását, akkor azt mondhatjuk, hogy **a szervezetünkben elégetjük a táplálékot**. Erről úgy győzhetjük meg magunkat, ha arra gondolunk, hogy belégzéskor oxigént juttatunk a tüdőnkbe, kilégzéskor viszont az oxigén egy része helyett szén-dioxidot juttatunk vissza a levegőbe. Ha minden bonyolult kémiai folyamattól eltekintünk, akkor azt láthatjuk, hogy lényegében a táplálékban lévő szén és hidrogént égeti el a szervezetünk. Ez az „égés” azért különleges, mert nem magas hőmérsékleten, hanem testhőmérsékleten, vagyis 36-37 °C-on történik. A táplálékokban lévő kémiai energiát bonyolult biokémiai folyamatok alakítják át egy különleges molekula szintén kémiai energiájává. Ezt a molekulát ATP-nek, adenzin-trifoszfátnak hívják. A hosszú név második fele arra utal, hogy a molekulalánc végén három foszfátcsoport helyezkedik el. Az energia a foszfátcsoportok kötéseiként raktározódik. Egy csoport leszakadásával átlagosan 30 kJ energia szabadul fel mólonként.

KILOJOULE (JOULE) ÉS KILOKALÓRIA (KALÓRIA)

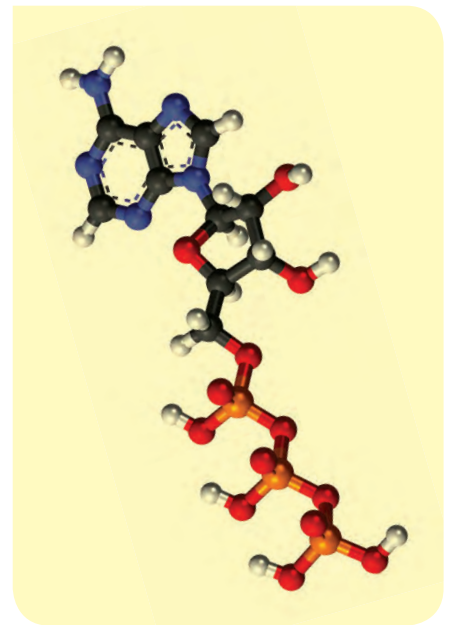
Az élelmiszerek tápértékadatait tartalmazó táblázatokban az energiataralom szinte mindig kétféle mértékegységgel szerepel, kilojoule (kJ) és kilokalória (kcal). A kJ a munka és az energia nemzetközileg elfogadott mértékegysége: $1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$. A joule és a kilojoule használata Magyarországon több mint 40 éve kezdődött el, a jogszabályok nagyjából 30 éve tették kötelezővé. A kilokalória régi mértékegység, amit a táplálkozással kapcsolatos adatok kivételével már alig használnak: $1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal}$. Az élelmiszerekkel kapcsolatban a mindennapos szóhasználat a kalória, de ezen az úgynevezett nagykalóriát, vagyis a kilokalóriát szokás érteni. A „kiskalóriát” (cal), vagyis a kilokalória ezredrészét ma már szinte senki sem használja.

A kalóriát Nicolas Clément francia tudós vezette be a hő mérésére 1824-ben. Clément kalóriája az úgynevezett **nagykalória**, vagyis a kg-kalória, mai szóhasználatlaltal a kilokalória volt. Ez annyi hőt jelent, ami **1 kg víz 1 Celsius-fokkal történő felmelegítéséhez szükséges**. Clément nagykalóriáját csak 1929-ben szorította ki a Brit Tudományos Akadémia javaslatára a **kiskalória** (vagy g-kalória), ami annak a hőnek felel meg, ami **1 gramm víz 1 fokkal történő felmelegítéséhez szükséges** (ugyanaz a javaslat vezette be a joule mértékegységet is). Ez a történet érthetővé teszi, hogy miért mondunk még ma is egyszerűen kalóriát a kilokalória helyett.

Mennyi energiára van szükségünk, ha nem csinálunk semmit?

Fontos kérdés, hogy mennyi energiára, hány kalóriára van szükség naponta a szervezetünknek. Induljunk ki abból, hogy egész nap lustálkodunk, fekszünk az ágyban a takaró alatt kellemes melegben. Nehogy azt gondoljuk, hogy ez nem igényel energiát! Sőt ennek az állapotnak az energiaigényét igen részletesen vizsgálták, és ezt BMR-nek (angolul *Basal Metabolic Rate*), magyarul alapanyagcserének nevezték el. Ez olyan mennyiségű energia (kalóriákban

Szervezetünknek meglehetősen sok energiára van szüksége. Az emberi test a számára szükséges energiát a táplálkozás során szerzi, az ételeinkben és az italainkban lévő kémiai energiát hasznosítjuk. Vannak olyan ételeink (például a szalonna) és vannak olyan italaink (például a forró csoki), melyekben nagyon sok energia van, és vannak olyanok, melyekben igen kevés. Azt szokták mondani, hogy a nyers karalábéban olyan kevés energia van, ami még az elrágáshoz szükséges mechanikai munkát sem fedezi. A tiszta ivóvíz nagyon fontos a szervezetünk számára, azonban a biológiailag felhasználható energiataralma nulla.



■ ATP-molekula



■ Joule készüléke, mellyel meghatározta a hő mechanikai egyenértékét

Hogyan volt régen?

A XVIII. század elején a hőt valamilyen folyadéknak képelték, amit „kalorikum”-nak neveztek. Úgy gondolták, hogy a melegebb testben több kalorikum van, ami át tud folyni a hidegebb testbe, ha az érintkezik a meleggel. Amikor ma úgy beszélünk, hogy a melegebb test hőt ad át a hidegebbnek, akkor ezt úgy értjük, hogy a melegebb test atomjainak rendezetlen hőmozgásából származó termikus (belső) energiája csökken, a hidegebb testé pedig növekszik. A régi-ek a hőt önálló létezőnek gondolták, hittek a hőfolyadék (kalorikum) létezésében, ma viszont már tudjuk, hogy önmagában hő nincs, a fogalmat többnyire a melegítés során közölt vagy elvont energia megjelölésére használjuk.

NE HIBÁZZ!

Ne téveszd össze a hőt a hőmérséklettel! A hőről mindig energiaátadási folyamattal kapcsolatban beszélünk, míg a hőmérséklet állapotjelző, a testek, anyagok termikus állapotát írja le.

Hogyan volt régen?

A hő mechanikai egyenértéke

A XVIII. század végén, a XIX. század elején kezdett világossá válni, hogy a hő nem egy olyan folyadék, ami a melegebb testből átfolyik a vele érintkező hidegebbe. Nyilvánvalóvá vált, hogy a hőfolyadék, az úgynevezett kalorikum nem létezik. Észrevették, hogy súrlódással, erős keveréssel, vagyis mechanikai munkával is lehet a testek hőmérsékletét növelni. James Prescott Joule lapátos keverőszerkezettel mérte meg a hő mechanikai egyenértékét, vagyis azt határozta meg, hogy **mennyi munkával lehet egységnyi tömegű víz hőmérsékletét 1 fokkal növelni.**

Természetesen nem a mai mértékegységeket használta, hanem erre a számmunkra meglehetősen furcsán hangzó eredményre jutott: 770 font-súly-láb munkával lehet egy font víz hőmérsékletét 1 Fahrenheit fokkal megnövelni. Mérése mindössze 1%-kal marad el a ma elfogadott értéktől (778 font-súly-láb), ami mai mértékegységekkel így írható:

1 cal = 4,186 J ≈ 4,2 J, vagy 1 kcal = 4,186 kJ ≈ 4,2 kJ.

kifejezve), amit a szervezet pihenés közben (tehát mindenfajta fizikai megterhelés nélkül) az élettani funkcióinak fenntartása miatt éget (használ) el. Átlagos életmód mellett ez a mennyiség teszi ki a napi kalóriaszükségletünk 50-60%-át. Magában foglalja a légzés, a szívverés, az izzadás, a testhőmérséklet fenntartását, továbbá egyéb szerveink működését.

Az alapanyagcserét számos tényező befolyásolja: életkor, testtömeg, testmagasság, nem, a környezet hőmérséklete, a táplálkozási és edzési szokások stb. Az osztódó sejtek nagyobb energiafelhasználása miatt a fiatal, növésben lévő, szöveteit gyorsabban megújító szervezet anyagcsereigénye is magasabb. Minél magasabb vagy súlyosabb valaki, az alapanyagcseréje annál több kalóriát igényel. A férfiak nagyobb izomtömeggel rendelkeznek, mint a nők, ez kb. 10-15%-kal gyorsabb anyagcserét, nagyobb alap-kalória-felhasználást jelent. A szigorú, kalóriamegvonásos diéta akár 20%-kal is lassíthatja az anyagcserét. A túl hideg (sarkköri) vagy túl meleg (trópusi) klíma 5-20%-os eltérést jelenthet a BMR-ben. A rendszeres testmozgás, a fejlett, tónusos izomzat szintén növeli a BMR-t.

AZ ALAPANYAGCSERE MEGHATÁROZÁSA (Olvasmány)

Az alapanyagcsere (BMR) meghatározására több képletet is kidolgoztak, manapság a legelfogadottabbnak a következő matematikai kifejezést tartják:

$$P = \left(\frac{10 \cdot m}{1 [\text{kg}]} + \frac{6,25 \cdot h}{1 [\text{cm}]} - \frac{5 \cdot a}{1 [\text{év}]} + s \right) \frac{\text{kcal}}{\text{nap}}$$

A formula azt határozza meg, hogy naponta az alapanyagcserénk érdekében hány kalóriát kell elfogyasztanunk. Ezért jelölik ezt P -vel, hiszen az energia/idő hányados a teljesítménnyel rokon mennyiség, amit az angol *power* szó kezdőbetűjével, P -vel jelölünk. A kifejezésben m a testtömeget (*mass*) jelenti kilogramm egységben, h a testmagasságot (*height*) centiméterben, a pedig az életkort (*age*) években. A zárójelben lévő utolsó tag, az s az ember nemére (*sex*) utal, amelynek átlagos tapasztalati értéke férfiak esetére $s = +5$, míg nőkre $s = -161$.

Vegyünk például egy 80 kg tömegű, 180 cm magas, 30 éves férfit. Behelyettesítés után azt kapjuk, hogy az ő alapanyagcsere-értéke:

$$P = (800 + 1125 - 150 + 5) \frac{\text{kcal}}{\text{nap}} = 1780 \frac{\text{kcal}}{\text{nap}}.$$

Számítsuk ki egy 60 kg tömegű, 160 cm magas, 70 éves hölgy alpanyagcsere-értékét is:

$$P = (600 + 1000 - 350 - 161) \frac{\text{kcal}}{\text{nap}} = 1089 \frac{\text{kcal}}{\text{nap}}.$$

Láthatjuk, hogy az idős hölgynek az alpanyagcsere-szüksége sokkal alacsonyabb, mint a fiatal férfinak. Nehogy azt gondoljuk hogy csak ennyi energiára van szükségünk, hiszen ezek az értékek arra vonatkoznak, hogy teljes téltenség, állandó heverés mellett mennyi energiát fogyaszt a szervezetünk.

Mennyi a napi energiaigényünk, ha nem csak lustálkodunk egész nap?

Átlagos mozgás esetén a napi kalóriaszükséglet nőknél hozzávetőlegesen az alpanyagcsere 1,6-szerese, férfiak esetén pedig nagyjából 2,2-szerese. Ez azt jelenti, hogy a kamasz lányoknak, fiatal nőknek nagyjából 2000–2500 kcal energiabevitelre van szükségük naponta, míg a kamasz fiúknak, fiatal férfiaknak 3000–4000 kcal a napi energiaszükségletük. A tapasztalatok alapján a kamasz fiúk, fiatal férfiak valóban jelentősen többet esznek, mint mindenki más a családjukban. Ha így táplálkozunk, és közben normális mértékben mozgunk is, akkor testsúlyunk nem változik. Intenzív sportolás, nehéz testi munka esetén viszont sokkal nagyobb a napi energiaigényünk, ami férfiak esetében elérheti a 6000–8000 kcal/nap értéket is.

Ha az életkor előrehaladtával nem csökkentjük a szervezetünkbe kerülő élelmiszerek energiatartalmát, vagy nagyon keveset mozgunk, akkor testtömegünk megnő, amit a későbbiekben igen nehéz lecsökkenteni. Az elhízás komoly rizikótényező, sok ember életét nehezíti meg, sőt jelentősen csökkenti a várható élettartamot. Ezért nagyon hasznos, hogy ismerjük ételünk, italaink energiatartalmát, és ezeket megfelelő mértékletességgel fogyasszuk. A következő táblázat számos élelmiszer táplálkozási szempontból fontos adatát tartalmazza.

A kalóriatáblázat legtöbb élelmiszerénél 100 g-os egységre vonatkoztatva szerepelnek a tápanyag-összetételek. Eltérő esetben melléírtuk a viszonyítási értéket (pl. db, adag).

Élelmiszer (100 g egységgel)	Energia (kJ / kcal)	Fehérje (g)	Szénhidrát (g)	Zsír (g)	Rost (g)
Édességek					
Csokoládétorta	1541/367	4,1	54,6	16,4	–
Fagyalt (2 gombóc)	672/160	2,2	27,8	4,5	–
Háztartási keksz	1640/392	9,8	78,0	6,8	0,2
Tejcsokoládé	2320/554	9,3	52,8	34,1	0,3
Túró Rudi (1 db, 30 g)	345/85	5,9	7,7	3,2	–
Felvágottak					
Kolbász	1916/458	19,8	0,3	41,9	–
Gépsonka	637/156	22,6	0,4	7,1	–
Párizsi	960/230	14,9	–	19,0	–
Gabonák – Lisztek					
Búzaliszt	1540/368	12,3	76,3	1,3	0,2
Rizs	1443/345	8,0	77,5	0,3	0,5
Tönkölybúza	1350/323	14,0	59,0	3,0	8,0

NE FELEDD!

Szervezetünkben a táplálék kémiai energiája az adenosin-trifoszfát, rövidítve az ATP-molekula három foszfátcsoportjának kémiai kötési energiájaként raktározódik. Táplálkozáskor a bonyolult biokémiai folyamatok energetikai alapja a táplálék szén- és hidrogéntartalmának égése, hiszen a belélegzett oxigén helyett szén-dioxidot lélegzünk ki.

A kalória az energia régi mértékegysége, amit manapság már csak az élelmiszerekkel kapcsolatban használnak:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J} \approx 4,2 \text{ J} \text{ vagy}$$

$$1 \text{ kcal} = 4,186 \text{ kJ} \approx 4,2 \text{ kJ}.$$

A táplálékok energiatartalmát égetési vizsgálatokkal állapítják meg.



■ Számold ki a saját alpanyagcsere-értékedet!

Gondold meg!

Jó tanácsokat kaphatunk a piramis alakú ábra üzeneteként is. Ezen az ábrán az élelmiszerek hat csoportját különböztetik meg: a gabonaféléket, a zöldségeket, a gyümölcsöket, az olajokat-zsírokat (ezt a vékony sárga vonal jelzi a piros és a kék háromszög között, mert törekedni kell az olajok-zsírok kis mennyiségű fogyasztására), a tejtermékeket és a húsokat, illetve hüvelyes növényeket (idetartozik a bab és a borsó, de tágabb értelemben minden olyan növény, ami a vegetáriánusok számára a húsok helyettesítését biztosíthatja). Az ábrán nagyon fontos szerep jut a bal oldali emberalaknak, aki a lépcsőn fut felfelé. Ez arra utal, hogy az egészséges étkezés mellett a rendszeres testmozgás is rendkívül fontos és hasznos. Felnőtteknek legalább napi 30 perc, gyerekeknek legalább napi 60 perc edzés, erősítés, testmozgás, torna ajánlott.



■ A testmozgásnak is fontos szerep jut

Tőled függ!

Az energiataloknak nem különösebben magas az energiatartalma, amit a bennük lévő cukornak tulajdoníthatunk. Ezzel szemben magas a koffeintartalmuk, valamint egyéb élénkítőszereket is tartalmaznak. Fogyasztásuk veszélyes lehet, gyermekek számára nem ajánlott!

Élelmiszer (100 g egységgel)	Energia (kJ / kcal)	Fehérje (g)	Szénhidrát (g)	Zsír (g)	Rost (g)
Zabpehely	1579/376	14,4	64,3	6,8	1,0
Gyümölcsök					
Alma	126/30	0,4	7,0	0,4	1,3
Banán	431/103	1,3	24,2	0,1	0,4
Cseresznye	255/61	0,8	14,0	0,7	0,4
Eper	142/34	0,9	7,2	0,6	0,8
Görögdinnye	122/29	0,5	6,5	0,2	0,8
Körte	209/50	0,4	12,0	0,4	2,6
Málna	117/28	1,2	5,4	0,8	5,6
Meggy	213/51	0,8	11,0	1,4	0,3
Narancs	167/40	0,6	8,5	1,5	0,5
Őszibarack	167/40	0,7	9,0	0,3	1,0
Szilva	238/57	0,7	13,1	0,5	0,5
Szőlő	318/76	0,6	18,1	0,5	1,3
Halak					
Hekk	374/89	20,2	–	0,9	–
Ponty	420/100	16,0	0,1	4,0	–
Szardínia (olajos)	1184/283	22,5	–	21,4	–
Húsok					
Csirke (mell)	440/110	24,7	0,5	1,0	–
Marhahús (hátszín)	958/228	16,0	0,6	19,0	–
Sertés	668/159	21,0	0,4	8,1	–
Kenyerek					
Fehér kenyér	1092/261	10,0	53,5	0,8	1,0
Félbarna kenyér	1075/257	9,8	52,3	1,0	1,2
Rozskenyér	1067/255	8,1	53,6	0,9	1,5
Olajos magvak					
Dió	2740/654	18,6	11,7	57,0	2,8
Mandula	2630/627	27,6	6,8	52,2	3,7
Mák	2250/537	20,5	23,9	38,2	–
Mogyoró	2900/691	15,6	8,7	63,5	3,2
Péksütemények					
Kakaós csiga (1 db)	1038/248	3,6	30,7	12,3	0,6
Pogácsa	1569/375	9,1	49,6	20,8	0,8
Túrós rétes (1 db)	1105/264	9,9	37,3	8,3	0,6
Zsemle (1 db)	615/147	5,1	30,8	0,4	0,5
Sajtok					
Camembert	1256/299	21,5	1,5	23,0	–
Mozzarella	1260/300	22,2	2,2	22,4	–
Trappista sajt	1554/370	27,7	1,6	28,1	–
Savanyúságok					
Csemegeuborka	65/15	0,6	2,6	0,1	–
Olajbogyó	937/223	0,2	6,5	21,9	–
Savanyú káposzta	84/20	1,1	3,4	0,2	0,7
Sós rágcsálnivalók					
Földimogyoró (sós)	2496/596	25,5	18,7	46,6	–
Pattogatott kukorica	2272/541	7,5	57,5	33,0	–
Tej, tejtermékek					
Tej (1,5%)	202/48	3,4	5,3	1,5	–
Tej (2,8%)	252/60	3,4	5,3	2,8	–
Tejföl	723/173	3,3	3,9	16,0	–
Tejszín (hab)	1221/292	2,6	3,0	30,0	–
Túró	823/197	17,9	3,5	12,4	–

Élelmiszer (100 g egységgel)	Energia (kJ / kcal)	Fehérje (g)	Szénhidrát (g)	Zsír (g)	Rost (g)
Zöldségek					
Bab (száraz)	1310/313	21,9	54,1	1,0	3,0
Burgonya	356/85	2,5	18,4	0,2	0,6
Csiperkegomba	163/39	5,9	3,3	0,2	0,8
Káposzta	130/31	1,6	5,7	0,2	0,7
Kukorica	531/127	4,7	23,6	1,6	1,5
Lencse	1393/333	26,0	53,0	1,9	4,0
Paradicsom	92/22	1,0	4,0	0,2	0,5
Retek	63/15	1,2	2,2	0,1	0,8
Sárgarépa	146/35	1,2	8,1	0,2	1,0
Uborka	46/11	1,0	1,7	0,1	0,6
Zöldbab	167/40	2,6	6,8	0,3	1,3
Zöldborsó	368/88	7,0	14,0	0,4	2,7
Zöldpaprika	84/20	1,2	3,0	0,3	0,9
Zsirádek					
Margarin	3180/760	0,5	0,4	84,0	-
Olaj	3757/898	-	-	99,8	-
Sertészsír	3757/898	0,1	-	99,7	-
Szalonna (nyers)	2925/699	4,2	-	75,8	-
Vaj	3024/724	0,4	0,5	80,0	-
Egyéb					
Tojás (1 db)	285/68	5,4	0,3	5,0	-
Cukor	1670/400	-	99,9	-	-
Kakaópor	1621/386	21,4	32,4	19,0	16,8
Méz	1362/362	0,4	81,0	-	-



Italtáblázat

Üdítőitalok és alkoholos italok energia- (kJ, kcal), alkohol- és cukortartalma

Italok (100 cm ³ egységgel)	Energia (kJ / kcal)	Alkohol (g)	Cukor (g)	Egyéb megjegyzés
Üdítők				
Canada Dry, Gyömbér	170/40	-	9,0	
Coca-Cola, Pepsi-Cola	180/44	-	11,0	13 mg koffeint tart.
Fanta	190/45	-	11,0	
Sió őszibaracklé	230/55	-	13,0	
Tonik	190/45	-	10,0	kinint tart.
Alkoholos italok				
Fehérbor	315/75	9,5	2,0	száraz
Tokaji aszú	945/225	11,0	12,0	3 puttonyos
Unicum	1340/320	35,0	19,0	
Édes pezsgő	400/95	9,5	7,0	
Világos sör	160/38	2,8	10,3	
Barna sör	214/51	3,9	13,8	
Martini fehér	460/110	14,3	3,1	száraz



■ Miből mennyit együnk?

NE FELEDD!

Átlagos életvitel esetén fiatal nőknek 2000–2500 kcal, fiatal férfiaknak 3000–4000 kcal a napi átlagos energiaigénye. Nagyon fontos, hogy változatosan étkezzünk, sok zöldséget, gyümölcsöt, fehérjét fogyasszunk, ellenben kerüljük a zsíros ételeket és a túlzott édesédfogyasztást. A helyes táplálkozás mellett a rendszeres napi testmozgás is fontos egészségünk megóvása érdekében.

MIBŐL, MENNYIT EGYÜNK? (Olvasmány)

Az előző táblázat is azt mutatja, hogy nagyon sokféle élelmiszert fogyaszthatunk. Az egészséges táplálkozás nemcsak azt jelenti, hogy sem túl sok, sem túl kevés kalóriát fogyasztunk, hanem az ételünk helyes összetétele is nagyon fontos. A ma elfogadott vélekedést a jobbra látható logóval szokták szemléltetni.

Az ábra azt mutatja, hogy a táplálkozástudatók véleménye szerint étkezéseinknél arra kell törekednünk, hogy nagyjából 30%-ban gabonaféléket



(lehetőleg teljes kiőrlésű gabonából készült kenyérféleségeket), 30%-ban zöldségfélét, 20%-ban gyümölcsöt és 20%-ban fehérjét (húsfeleségeket, gombát, növényi fehérjéket) fogyasszunk. A tányér mellett lévő kis kör egy poharat mutat, ami azt jelzi, hogy tejet, illetve joghurtfélét is nagyon ajánlott naponta fogyasztanunk.

Fontos az is, hogy változatosan étkezzünk, sokféle fehérjét fogyasszunk, vagyis váltogassuk a húsfélét, együnk gyakrabban halat, gombát, növényi fehérjéket. Mindig legyen a tányérunkon sok és sokféle zöldség, fogyasszunk sok és sokféle gyümölcsöt. A kenyérfélék esetén legalább fele részben teljes kiőrlésű gabonafélékből készült termékeket, vagyis sok barna kenyeret, barna péksüteményt együnk. Igyunk minél több alacsony zsírtartalmú, vagyis sovány tejet, fogyasszunk alacsony zsírtartalmú joghurtfélét. Csökkentsük a szervezetünkbe jutó konyhasó és cukor mennyiségét, vagyis szokjunk hozzá, hogy kevésbé sózzuk meg, kevésbé cukrozzuk meg ételünket, italainkat.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Fogalmazd meg, hogy szól a kilokalória (kcal) egység definíciója!
2. Mennyi kilokalóriát fogyasztasz naponta? Becsüld meg, hogy adott nap mennyi mechanikai munkát végeztél (MJ/nap)! Mennyi a különbség, és mire fordítódik?
3. Ismertesd azt a kísérletet, amely során meghatározható a hő mechanikai egyenértéke! Mennyi az 1 kcal hőnek a mechanikai egyenértéke?
4. Vizsgáld meg néhány élelmiszer energiatartalmát, és ellenőrizd, hogy helyesen alkalmazták-e a kJ és a kcal közötti mértékegység-átváltást!
5. Egy hőálló (Pyrex), 10 dkg tömegű, 23 °C-os üvegbögrebe töltünk 2,5 dl 90 °C-os tevizet. Mennyire hűti le az üvegbögre a forró vizet?
6. Mennyi energiával lehet egy 150 literes villanybojlerben a 10 °C-os víz hőmérsékletét 60 °C-osra emelni, ha a villanybojler 95%-os hatásfokú? Mennyibe kerül az ehhez szükséges elektromos energia? Az elektromos energia aktuális árának nézz utána!
7. Az osztálytermedben téli szellőztetéskor a levegő hőmérséklete 15 °C-ra lehűl. Becsüld meg, mennyi energiával lehet ezt a levegőmennyiséget 25 °C-ra melegíteni, ha a levegő átlagos sűrűségét 1,2 kg/m³-nek tekinthetjük!
8. Sorolj fel olyan élelmiszereket, amelyeknek a „kalóriatáblázatban” 1500–3500 kJ/100 gramm, és amelyeknek csak 100–600 kJ/100 gramm a fajlagos energiatartalma! Milyen ennivalók tartoznak az első, és milyenek a második csoportba? Becsüld meg ezekben a fehérje, szénhidrát, zsír százalékos összetételét is!
9. Nézz utána, hogy mennyi munkát végzel (mennyi kalóriát égetsz el) sík terepen 6 km sétával, kerékpározással, lassú futással!
10. Nézz utána, hogy az általad fogyasztott élelmiszerek milyen mennyiségben tartalmazzák az ember számára szükséges ásványi anyagokat és vitaminokat!
11. Mit tanácsolnál annak az osztálytársadnak, akin az elhízás jeleit veszed észre?
12. Mit tanácsolnál annak az osztálytársadnak, aki kórosan sovány lett?
13. Számítsd ki családtagjaid BMR- (alapanyagcsere) értékeit!
14. Tanulás közben sokszor édességeket nassolunk. Vajon a szellemi erőfeszítések sok kalóriát igényelnek? Fokozhatja szellemi teljesítményünket a csokoládé elfogyasztása?
15. A testsúly (testtömeg) megtartásához testtömeg-kilogrammonként nőknek napi 38-40 kcal/kg, férfiaknak 42-44 kcal/kg „energiabevitelre” van szükségük. Miután megmérte a testsúlyodat, számold ki, mennyi energiabevitelre van szükséged testsúlyod megtartásához, normális mozgásmennyiség mellett!
16. A fehérjeegyensúly megőrzéséhez testsúlykilogrammonként minimum 0,7 gramm fehérje„bevitelre” van szükség.
 - a) Mérd meg a testsúlyodat!
 - b) A testsúlyod ismertében számold ki, hogy mennyi (hány dekagramm) csirkemellet, vagy trapista sajtot, vagy babot kell egy nap megenned ahhoz, hogy biztosítsd fehérjeegyensúlyodat!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Melyek azok a vegyületek ételünkben, amelyek elégetésével nyerjük a testünk számára szükséges energiát? Mik az égetés anyagcseretermékei?
- Számítsd ki a saját tested hőkapacitását kJ/°C mértékegységben!
- Egy liter étolajat akarunk felmelegíteni. Az étolaj fajhője: 1,54 kJ/kg °C. Sűrűsége 0,92 kg/liter. Mennyi hő kell egy liter étolaj 20 °C-ról 250 °C-ra történő felmelegítéséhez?
- Egy 3 dl-es műanyag pohárban 2 dl forró (90 °C-os) tea van. 5 darab 2 cm élhosszúságú, éppen olvadásnak induló jégkockát dobunk bele. Kavargatjuk a jégkockákat mindaddig, amíg el nem olvadnak teljesen.
 - Mi lesz a közös hőmérséklet?
 - Mennyi vizezett teánk lesz a jég elolvadása után? (A tea hűtése jéggel nem igazán elfogadott a teainyencék körében.)
- Készíts hét napon keresztül feljegyzést étkezésedről!
 - A táblázatba jegyezd fel az élelmiszerek nevét, fajlagosenergia-tartalmát (MJ/kg), az elfogyasztott mennyiséget (kg, liter)!
 - Összesítsd naponta az energiafogyasztásodat (MJ/nap)!
 - Becsüld meg, hogy adott nap mennyi mechanikai munkát végeztél (MJ/nap)!
- Nevezd meg azokat az élelmiszereket, amelyeket az emberi szervezet nagy hatékonysággal képes feldolgozni és beépíteni, továbbá azokat, amelyekről nem híznak, de szükségesek!
- Készíts „programot” a napi étkezésedre vonatkozóan, hogy a reggel, délben, este elfogyasztott ételek ne csak a napi szükséges energiát tartalmazzák, de legyen meg az a mennyiség is, ami a gyomor, belek „foglalkoztatására” szükséges, valamint legyen bennük a napi szükséges vitamin és ásványi anyag is! Beszélj ezt meg az iskolában tanároddal és otthon a szüleiddel is!
- Mondd el, hogy a következő sütési, főzési technikák során milyen fizikai folyamatok útján történik energiabevitel az elkészítendő élelmiszerekbe: szabad tűzön bográcsban, gáztűzhelyen lábasban, elektromos kerámialapos tűzhelyen lábasban, indukciós tűzhelyen vasedényben, megfelelő edényrendszerben gőzzel történő párolás során, sütőben grillezéssel, légkeveréssel, mikrohullámú sütőben!
- Becsüld meg, hogy egy átlagos konditermi edzés mennyi mechanikai munkával jár, és a kapott értéket számítsd át kcal egységre!
- Egy éttermi vacsora gyakran a következőkből áll: Két rántott sertésszelet (darabonként 5 dkg) burgonyakörettel (20 dkg), 10 dkg uborkasalátával. Közben elfogy 3 dl bor (10% alkoholtartalom). Ezt követi egy tortaszelet (piskótatészta, krém összesen 8 dkg), majd 0,5 dl feketekávé három kockacukorral (3 gramm).
 - Mennyi energiát fogyasztott a vacsorázó?
 - Milyen magasra kellene felgyalogolnia a 80 kg tömegű vacsorázónak ahhoz, ha az elfogyasztott energiát teljes mértékben mechanikai munkavégzéssel akarná ledolgozni? (Az ember mechanikai munkavégzési határfokát tekintjük 40%-osnak.)
- Egy csirkefelsőcomb rántva 280 kcal, hozzá a hasáburgonya köretnek 340 kcal energiátartalmú étel az étlap szerint. (A számításokhoz szükséges adatokat olvasd ki a tankönyv idevonatkozó táblázatából!)
 - Mennyi a tömege a csirkefelsőcombnak és a burgonyának?
 - Mennyi a szénhidrát-, zsír-, valamint fehérjetartalma a kétféle ételnek?
- Nagyon népszerű a pattogatott kukorica és a földimogyoró.
 - Mennyi energiabevitelt jelent egy zacskó (100 gramm) pattogatott kukorica, vagy egy csomag (szintén 100 gramm) földimogyoró elfogyasztása?
 - Mennyi szénhidrátot, zsírt valamint fehérjét fogyasztottál el ezekkel?
- Reggelire régen egy földműves 20 dkg fehér kenyérral megevett 10 dkg szalonnát 20 dkg uborkával. Ivott még fél deci 50%-os pálinkát. (A számításokhoz szükséges adatokat olvasd ki a tankönyv idevonatkozó táblázatából!)
 - Mennyi energiát fogyasztott el ezzel a reggelivel ez a földműves?
 - Hány dekagramm fehérjét, szénhidrátot és zsírt evett meg a fenti ételek elfogyasztásával?

18. | Legfontosabb energiaforrásaink

Nem véletlen, hogy számos nép istenként tisztelte a Napot. A napenergián kívül a szél energiája is közvetlenül a napsugárzás hatására jön létre, és ugyanígy az esők is a Nap sugárzása miatt keletkeznek, vagyis a munkára fogott víz energiájának is a Nap sugárzása a hajtóereje. A növények is a Nap energiáját alakítják leveleik klorofilljának segítségével biokémiai energiává, továbbá a régmúlt növényi maradványokból keletkeztek fosszilis energia-hordozóink, a kőszén, a kőolaj, a földgáz és társaik. Mindössze az atomreaktorok energiája, a geotermikus energia és az árapályenergia nem származik a Napból (az atomenergia és a geotermikus energia rég felrobbant csillagok porának energiájaként maradt ránk, az árapályenergia a Föld-Hold-rendszer gravitációs energiájából származik).



■ Karbonkori megszenesedett fás gyökérszet

A napsugárzás energiája

A napfény a Föld minden egyes négyzetméterére (merőleges beesés esetén) közel 1400 J energiát szállít másodpercenként (a pontos érték 1366 W/m²). 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 kevesebb jut, nagyjából 200 W/m² (pontosabban 198 W/m²). Mivel egy négyzetkilométer egymillió négyzetméter, ezt a sugárzási teljesítményt 200 MW/km² alakban is kifejezhetjük. Tíz négyzetkilométerre számítva ez éppen akkora, mint a Paksi Atomerőmű teljes hasznos teljesítménye (2000 MW), ami az ország elektromosenergia-termelésének a 40%-át adja. Magyarország területe 93 000 km², ami azt jelenti, hogy a hazánkat érő napsugárzás teljesítménye 9300 atomerőmű teljesítményével egyezik meg, melynek értéke 18 600 GW (feltéve, hogy Magyarországot a világtárlagnak megfelelő napsugárzás éri). Az egész világ villamosenergia-termelése jelenleg nagyjából 2500 GW, tehát egyedül a Magyarországot érő átlagos napenergia közel hét és félszer akkora, mint a Föld teljes villamosenergia-termelése.

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 **bar-nakőszén**, a **kőolaj**, a **földgáz** és a többiek, ahogy ezt már földrajzból megismerhettük. A fosszilis szó jelentése megkövesedett, a fosszilis energiahordozó pedig a növények föld alatti, oxigén nélküli elbomlásából keletkezett anyagokat jelenti, melyek lehetnek szilárd, folyékony és légnemű halmazállapotúak.

A fosszilis tüzelőanyagok kialakulása jellemzően néhány millió évig tart, de vannak olyan nagyon régi fosszilis energiahordozók is, melyek 650 millió évesek. Például a földtörténeti karbonkor nem véletlenül a szénről kapta a nevét (a szén latin neve: carbonium), mert ebben a korban keletkezett a Föld teljes kőszénkészletének hozzávetőlegesen a fele. Ez a kor nagyjából 360 millió évvel ezelőtt kezdődött és 60 millió évig tartott, vagyis 300 millió éve fejeződött be. Az északi féltekén trópusi éghajlat uralkodott, a nedves, párás, gyakran mocsaras környezetben hatalmas, 30 méter magas, sűrű erdők keletkeztek (a megtalált megkövesedett fatörzseken nincsenek évgyűrűk, vagyis nem voltak évszakos változások), és az elsüllyedt növényi maradványokból alakult ki a kőszén.

A **szénfajták** közül az antracit a legtisztább és legnagyobb fűtőértékű kőszén a hagyományos kőszénfajták közül. Szénültési foka magas (tisztaszentartalma 91–98%), kemény kőzetként viselkedik, nem porlik és nem hagy nyomot más felületeken. A legértékesebb kőszén, mivel minden más típusnál na-

gyobb a széntartalma; belőle nyerhető ki a legtöbb hő, ráadásul alig füstöl és kicsi az éghetetlen salakanyag-tartalma.

Minőségileg messze felülmúlja a barna- és a feketekőszént, de mivel kialakulása hosszabb ideig tart vagy más kőzetesedési folyamatot igényel, valamint mélyebb rétegekben található meg, az előbbieknél ritkább, és a bányászata körülményesebb (ebből kifolyólag az ára nagyobb). Manapság a világ antracitkitermelésének háromnegyede Kínában történik.

A fűtőértékek alapján lehet osztályozni a különböző szénfajtákat. A fűtőérték azt mutatja meg, hogy az egyes szenek elégetésekor kilogrammonként mennyi hő szabadul fel.

A táblázat alapján látható, hogy a fűtőérték mellett más szempontok is érvényesülnek a különféle szénfajták osztályozásánál.

A kőolaj (más néven ásványolaj) a föld mélyén található folyékony szénhidrogén-vegyületek keveréke. A legtöbb szakember szerint a kőolaj is növényi eredetű, régi növényekből keletkezik egy-két millió év alatt, azonban vannak olyan kutatók is, akik szerint a kőolaj a Földdel együtt keletkezett, és lassan felszivárog a mélyből. Lehetséges az is, hogy mindkét módon létrejöhetett.

A **kőolaj** a porózus (üreges) kőzetekben gyűlik össze, általában alatta víz, felette pedig gáz (leggyakrabban földgáz) található. Ezért gyakran a fűrés helyétől és mélységétől függ, hogy földgáz, kőolaj vagy víz kerül a felszínre.

A kőolaj sokféle, változatos összetételű szerves vegyületet tartalmaz. Ezeket nem tiszta állapotukban nyerik ki, hanem alkalmazási területeik szerinti csoportonként választják el.

Így a finomítás jelentése szélesebb értelemben magában foglalja a termékek szorosabb értelemben vett finomításán, vagyis tisztításán kívül a kőolaj részekre bontását, kondenzációját, vagyis frakciókra bontását, amit frakcionálásnak is nevezünk. Így nyerjük a különböző üzemanyagokat (fűtőanyagokat): benzint, paraffin lámpaolajat, lökhajtásos repülő-, gyors járású dízel-, hajódízel üzemanyagot, kazánfűtő olajat, illetve pakurát.

A **földgáz** tiszta formájában színtelen, szagtalan és átlátszó gáz. A földgáz is a fosszilis tüzelőanyagok közé tartozik. A földgáz néhány métertől több mint 5000 méteres mélységig található, nyomása némely esetben meghaladja a 300 atmoszférát (a normál légköri nyomás háromszázszorosát), hőmérséklete pedig a 180 °C-ot, függően a lelőhely mélységétől. A földgáz szénhidrogén-alapú gázok gyúlékony elegye. Szagossítására és ennek köszönhetően könnyű felismerhetőségére a jellegzetesen kellemetlen szagú etil-merkaptánt vagy más néven etán-tiolt használják.

A táblázat alapján láthatjuk, hogy a földgáz döntően metánból áll, vagyis a földgáz könnyebb, kisebb sűrűségű, mint a levegő. A háztartásokban nagyon gyakran fűtésre, használati melegvíz-előállításra, főzésre használjuk a földgázt.



■ Antracit

A különböző szenek fűtőértékei

Szénfajta	Fűtőérték (MJ/kg)
Antracit	26–33
Feketekőszén	24–35
Barnakőszén	19–27
Tőzeg	20–22
Lignit	10–20

A földgáz tipikus összetétele

Összetevők	Vegyjele	Mennyiség (%)
metán	CH ₄	97
etán	C ₂ H ₆	0,9
propán	C ₃ H ₈	0,4
bután	C ₄ H ₁₀	0,2
szén-dioxid	CO ₂	0,5
oxigén	O ₂	0–0,08
nitrogén	N ₂	0,9
nemesgázok	Ar, He, Ne, Xe	(nyomelemként)



■ Szélfarm a Fülöp-szigeteken



■ Tengeri szélerőműtelep
Németországban az Északi-tengeren
(Borkum Riffgrund 1)



■ Az Aldeadávila-gát a Douro folyón
Portugália és Spanyolország között



■ Árapályerőmű Észak-Írországban

Megújuló energiák

A legfontosabb megújuló energiaforrásaink közé tartozik a napenergia, a szélerő, a vízi energia, a tengerek árapály-energiája, a megújuló geotermikus földhőenergia, a biomassza, az energianövények és a bioüzemanyagok energiája.

A napenergiáról a következő leckében lesz részletesen szó. A **szélerő** régóta használja az emberiség, gondoljunk csak a szélmalomokra. Elektromosenergia-termelésre az utóbbi két-három évtizedben rengeteg hatalmas szélkereket építettek. A legnagyobb gond ezekkel az, hogy a szárazföldek belsőjében 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. A tengerpartokon valóban viszonylag sok energiát tudnak megtermelni, azonban az igazsághoz az is hozzátartozik, hogy a hatalmas acélszerkezetek legyártása is sok energiával jár, nem egyértelmű ezek megtérülése. (Olyan kísérleteket is végeznek, hogy a tenger alá telepítenek a szélkerekekhez hasonló szerkezeteket, melyeket a tengeráramlatok hajtanak.)

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 termeljük elektromos energiát. Ma a világ elektromos energiájának nagyjából 16%-át állítják elő vízi erőművekben. Ha a folyók vízhozama nem túlságosan nagy, vagy nincs megfelelő esésük a folyóknak, akkor nem biztos, hogy érdemes vízi erőművet építeni az ilyen folyókra. Erről a szakemberek között évtizedek óta le nem záruló viták folynak.

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 feltorlódtott 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.

A **geotermikus energia**, vagyis a földhő hasznosításának is több módja van. Ha a területen igen erős a vulkáni tevékenység, tehát a geotermikus gradiens nagy, azaz, mondjuk, méterenként 1 °C-kal nő a talaj hőmérséklete, akkor



■ Geotermikus erőmű a Fülöp-szigeteken

a talajba lejtattott vizet gőz formájában nyerjük vissza, amivel gőzturbinát üzemeltethetünk, és így elektromos energiát állíthatunk elő. Magyarországon nem ennyire nagy a geotermikus gradiens (100 méterenként 3 °C-kal nő a talaj hőmérséklete), azonban így is jelentős mennyiségű termálfvízkinccsel (hévizzel) rendelkezünk. Lényegében nincs olyan része Magyarországnak, ahol a felszín alatt ne fordulnának elő jó vízadó tulajdonságú képződmények. A bennük tárolt vizek a mélységgel arányosan növekvő hőfokúak. Egy másik módja a földhő hasznosításának az, amihez nem is kell vulkáni terület, nem kell hozzá forró talaj. Hőszivattyúval hőt vonunk ki a talajból, amivel épületeket lehet fűteni. A mai hőszivattyúkkal elérhetjük a 4-es jósági tényezőt is, ami azt jelenti, hogy egy egység elektromosenergia-befektetéssel a talajból kivont energiával együtt 4 egység hőt nyerhetünk. Ugyanezzel a rendszerrel, fordított üzemmódban nyáron az épületből vonhatjuk ki a hőt, amivel a talajt melegítjük. Így az épületeinket nyáron olcsón hűthetjük, télen pedig rendkívül gazdaságosan fűthetjük.

A **biomassza** kifejezésen tágabb értelemben a Földön lévő összes élő tömeget értjük. A megújuló energiákra való tekintettel a biomassza jelentése így módosult: energetikailag hasznosítható növények, termékek, melléktermékek, növényi és állati hulladékok. A biomasszaként felhasználható energiának általában öt forrását szokták megkülönböztetni, ezek a szemét, a fa, a hulladék, a biogáz és az alkohol alapú üzemanyagok. A szemét és a fa energiáját általában ezek elégetésével nyerjük, de a fakitermelés során keletkező hulladékokat, vagy például a papírgyártás során keletkező melléktermékeket is elégetik, és így nyernek belőlük energiát. A hulladékok általánosságban is fontos szerepet töltenek be a biomasszával történő energiatermelés során vagy közvetlen égetés, vagy biogáz létrehozásának segítségével.



■ Repceföld



■ Biomassza-fapellet



■ A pécsi Pannonpower erőmű



■ Biogázfejlesztő Németújvárott

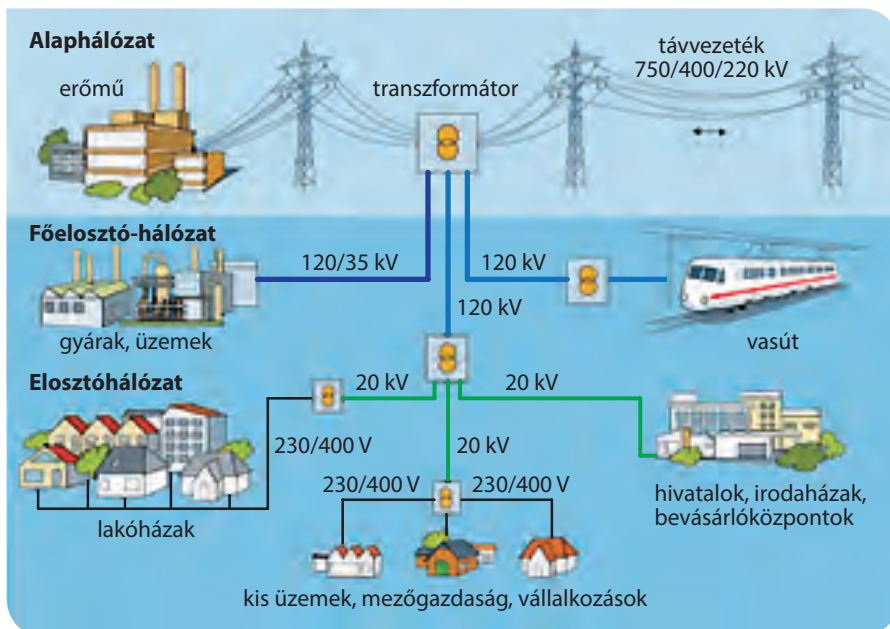
Az elektromos energia

Az elektromos energia a legsokoldalúbb energiaforrás. Másodlagos energiaforrásnak nevezzük, mivel lényegében mesterségesen állítják elő. Az erőművek egy részében először forró gőz jön létre (például a szén, a gáz elégetése vagy a maghasadás során), ez megforgatja a turbina lapátjait. A turbina forgó mozgásának segítségével az áramfejlesztő generátor állítja elő az elektromos áramot. A forró gőz mellett a szél és az áramló víz is alkalmas a turbinák megforgatására, ahogyan az a szél- és vízi erőművekben történik.

Az elektromos energiát felhasználjuk melegítésre (teaforraló, elektromos tűzhely, sütő) illetve gépek meghajtására (turmixgép, fűró, mosógép). Elektromos árammal működik a számítógép, a televízió.



■ Az erőműből távvezetéken szállítják a villamos energiát a fogyasztóig



■ Figyeld meg a képet! Azonosítsd a hálózatban megfigyelhető csomópontokat!

Az energiahordozók és az energia szállítása



■ Szárazföldi energiahordozó szállítása



■ Energiahordozó vízi szállítása

Az energia előállítása és felhasználása általában nem ugyanakkor és ugyanott történik. A lelőhelyektől a felhasználóig vezető út jelentős részét az óceánokon közlekedő óriási tankhajókban, az úgynevezett tankerekben teszi meg a kőolaj. A közúti közlekedés és vízi szállítás mellett a kőolaj és fölgáz szállítás a szárazföldön csővezetékben történik. Az egyik leghosszabb – Barátság nevű – csővezeték Oroszország középső területeiről szállítja az olajat nyugat felé kb. 4000 km hosszan. A vezeték átmérője 30-120 cm, az olaj áramlási sebessége 1-6 m/s. A vezeték általában a föld felszíne felett fut, szükség esetén nagyjából 1 m mélyen ágyazzák a talajba. Az olaj áramlását szivattyúk tartják fenn. A mindig fagyos alaszakai lelőhelyek olaja a Transzalaszkai Csővezetéken halad a fagymentes déli kikötő felé. Az Európában felhasznált földgáz is csővezetéken érkezik a szibériai lelőhelyekről. A csővezetékben túlnyomás uralkodik, melynek fenntartása a vezeték mentén 100-200 kilométerenként elhelyezkedő kompresszorállomások segítségével lehetséges, amelyek összenyomják és felgyorsítják az áramlás során bekövetkező súrlódás miatt lelassult gázt.

A csővezeték általában elkerüli figyelmünket, nem úgy az elektromos távvezeték. Az erőművekben termelt elektromos energia hosszú távú szállítása nagyfeszültségű távvezeték segítségével történik. Hazánkba Ukrajna felől 750 kV-os távvezetéken érkezik az áram, országon belül 400 kV és 220 kV-os részei vannak az úgynevezett alaphálózatnak.



■ A Transzalaszkai Csővezeték egy részlete

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi a fotoszintézis? Magyarázd el, hogy miért alapja a fotoszintézis a növényi szerves anyag „létrehozásának”, majd az állati szerves anyag létrejöttének!
2. Melyek a fosszilis energiaforrások? Miért nevezzük őket fossziliseknek?
3. Miért nevezhető a Nap energiája és a Föld közethője „kimeríthetetlen” energiaforrásnak?
4. Miért mondhatjuk azt, hogy a jelenlegi években megtermelt biomasszának (mezőgazdasági növények, tenyésztett állatok, állatok trágyája stb.) bármilyen formájú energetikai felhasználása CO₂- (szén-dioxid-) semleges?
5. Melyek azok a megújuló energiaforrások, melyek fejlesztésével döntő mértékben egyet tudunk érteni, és melyek azok, melyeket jobb lenne nem fejleszteni? Válaszunkat indokoljuk!
6. Nézz utána, hogy milyen sajátosságokkal jellemezhetők a különböző szénfajták!
7. Nézz utána, hogy mekkora elektromos teljesítményre és mekkora hőteljesítményre (távhőszolgáltatásra) képes a nemrégiben Pécsen megépült megújuló forrásokat használó erőmű!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A Pannon Biomassza Kft. (Pécs) évente a faapríték-tüzelésű fluidágyas kazánjának éves, 8000 órás üzemidejű működtetéséhez kb. 420 000 tonna tűzifát vásárol meg, és használ fel. A felaprított fa fűtőértéke 11,0 GJ/tonna. A mi éghajlatunkon hektáronként évente 6 tonna fa kitermelése jelenti a fenntartható erdőgazdálkodást. A sarangolt (legallyzott) hosszú (2,5 méteres) rönkfá nedvességtartalma éves átlagban kb. 40%. A fa kérge a teljes tömeg kb. 5%-a (ezt lehántják, nem jut a kazánba).
 - a) Hány hektár területről lehet ilyen mennyiségű fát kitermelni?
 - b) Mennyi az elégetett összes fa energiatartalma?
 - c) Mennyi vizet szállítanak be az erőműbe évente a fával együtt?
 - d) Mennyi fakéreg keletkezik az előkészítés során?
2. A Pannongreen Kft. (Pécs) faapríték tüzelésű fluidágyas kazánjában 335 nap alatt (éves üzemidő 8000 óra) 420 000 tonna tűzifát használnak fel, fűtőértéke 11,0 GJ/tonna. A kazánhatásfok: 91%. A beépített villamos teljesítmény (termelt elektromos energia teljesítménye) 50 MW.
 - a) Mennyi az elégetett fa átlagos hőteljesítménye?
 - b) Mennyi a gőzfejlesztésre jutó éves hőenergia?
 - c) Mennyi lehet maximálisan a megtermelt villamos energia évente?
 - d) Hány százalékos az elektromos energiatermelés hatásfoka?
 - e) Mennyi hőt kell a téli fűtés és a használati meleg víz előállításához eladnia az erőműnek a hőszolgáltató számára (Combined Heat and Power technology – CHP = egyidejű hő- és elektromosenergia-előállítás üzemmódban), hogy az éves energetikai hatásfok 55%-os legyen?
3. A Szarvasi-1 energiafűből 10 tonna takarítható be évente hektáronként tüzelés céljára. Nedvességtartalma augusztusban 13%. Átlagos égéshője 14 MJ/kg. A hengerbála magassága 1,2 m, átmérője 1,3 m, a tömege 160 kg.
 - a) Mennyi energiatartalom terem meg energiafűből hektáronként?
 - b) Mennyi a hengerbála sűrűsége?
 - c) Mennyi a hengerbála térfogati energiasűrűsége?

NE FELEDD!

Az emberiség számára felhasználható energiaforrások közül mindössze az atomenergia, a geotermikus energia és az árapály-energia nem származik a Naptól. Felmerült annak a lehetősége is, hogy talán a kőolaj egy része sem növényi eredetű (régés-régen elkorhadt növényekből származó), hanem a Földdel együtt keletkezett, és a Föld mélyéből szivárgott fel.

A fosszilis energiahordozók elbomló növényekből származnak, ezek közé tartozik a feketekőszén, a barnakőszén, a kőolaj, a földgáz és még néhány hasonló anyag. A 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. Ezek felhasználása az utóbbi évtizedekben erőteljesen növekszik, bár sokan azon a véleményen vannak, hogy sokkal óvatosabban szabadna csak a megújuló energiaforrások kiaknázását fejleszteni.

A sokoldalúan felhasználható elektromos energia előállítása erőművekben történik, szállításában fontos szerep jut a nagyfeszültségű távvezetékek hálózatának.

A gépek és erőművek energia-hatékonyságát a hatásfok mutatja meg.

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

4. Búzaszalmából kb. 3 tonna terem meg évente hektáronként. Átlagos fűtőértéke 15 MJ/kg. Bálázógépekkel főleg kétféle bálaformát készítenek a szállításra. Az egyik a hengerbála, melynek a magassága 1,2 m, átmérője 1,3 m, a tömege 160 kg, a másik pedig a szögletes bála, amelynek 2,4 m a hossza, 1,2 m a szélessége, 0,9 m a magassága és 400 kg a tömege.
- Mennyi energiataralmat lehet betakarítani búzaszalmából hektáronként?
 - Hány hengerbála, illetve szögletes bála készíthető hektáronként?
 - Mennyi a hengerbála és a szögletes bála sűrűsége?
 - Mennyi a térfogati energiasűrűség az egyik és a másik bálázási technológia során?
5. A Pannon Biomassza Kft. évente 240 000 tonna búzaszalmát vásárol fel a Pannon Hő Kft. által üzemeltetett szalmabála-tüzelésű kazán működtetése céljából. A búzaszalmából évente hektáronként kb. 3 tonna takarítható be. A búza termőterülete az ország 13%-a. Az erőműbeli tároláshoz és a kazánhoz történő feladáshoz szögletes nagy bálák szükségesek, amelyeknek az adatai: hossz: 2,4 m, szélesség: 1,2 m, magasság: 0,9 m és a tömeg: 400 kg. Ezek a méretek a kamionos, pótkocsis teherautós szállításhoz igazodnak, amelyekre így $5 \cdot 2 \cdot 3$, vagyis 30 bálát, azaz 12 tonna szalmát lehet egyszerre felrakni.
- Hány hektárról takarítható be a 240 kt búzaszalma?
 - Magyarország mekkora területéről lehet a 240 000 tonna szalmát begyűjteni?
 - Hány fuvarral lehet ezt a mennyiséget az erőműbe három megyéből beszállítani?
 - Hány teherautót, kamiont jelent ez a szalmamennyiség naponta, ha évente 220-230 napon lehet csak szállítani?
6. A Pannon Hő Kft. által üzemeltetett szalmabála-tüzelésű kazán 8000 órás éves üzemidő alatt 240 kt búzaszalmát használ fel, aminek fűtőértéke 14,0 GJ/tonna. A kazánhatásfok: 91%. A beépített villamos teljesítmény (termelt elektromos energia teljesítménye) 32 MW.
- Mennyi az elégetett szalma átlagos hőteljesítménye?
 - Mennyi a gőzfejlesztésre jutó éves hőenergia?
 - Mennyi lehet maximálisan a megtermelt villamos energia évente?
 - Hány százalékos az elektromos energiatermelés hatásfoka?
 - Mennyi hőt kell a téli fűtés és a használati meleg víz előállításához eladnia az erőműnek a hőszolgáltató számára (Combined Heat and Power technology – CHP = egyidejű hő- és elektromosenergia-előállítás üzemmódban), hogy az éves energetikai hatásfok 55%-os legyen?
7. Energianyárból 20 tonna takarítható be évente hektáronként. Nedvességtartalma januárban 45%. Ekkor fűtőértéke 11 MJ/kg.
- Mennyi energiamentiség terem meg energianyárból hektáronként?
 - Mennyi lesz ennek az energianyárnak a tömege októberben, ha addigra megfelelő levegőztetéssel ki tudtuk szárítani, és ekkor a nedvességtartalma 16%?
 - Mennyi a kiszáritott energianyár égéshője?
8. Ellenőrizzük számítással azt a leckében szereplő állítást, hogy ha egy köbméter biogáz 60%-ban metánt tartalmaz, akkor ez megfelel 0,6 liter tüzelőolaj (gázolaj) fűtőértékének!

19. | A napenergia felhasználása

A napállandó

A napállandó a Nap kisugárzott energiamennyiségének az a része, mely eléri a földi légkört. Értékéről már az előző leckében is tanultunk, ma elfogadott számértéke 1366 W/m^2 . A napállandó pontos definíciója az, hogy megadja a Föld közepes naptávolságában a Napra merőleges 1 m^2 -es felületen egy másodperc alatt áthaladó energia mennyiségét. Ezzel a meghatározással kizárjuk azt, hogy a napállandó függjön a Nap–Föld-távolságtól, hiszen a Nap körül ellipszispályán mozgó Föld télen kissé közelebb, nyáron kissé távolabb van a Naptól. (Így például január elején 1412 W/m^2 , július elején viszont csak 1321 W/m^2 a napfény intenzitása.) Azonban a napállandó még így sem állandó, mert értéke függ a Nap intenzitásváltozásától, aminek nagyjából 11 éves váltakozása összefüggésben van a napfoltok számának ingadozásával. Ez a váltakozás azonban a Nap által kisugárzott energiamennyiségben mindössze egyezreléknyi ingadozást okoz.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Mekkora a Nap fűtőteljesítménye, azaz hány wattos kályhaként sugároz a Nap?

Megoldás: A Nap teljes sugárzását (ami nemcsak a látható fénytartományba esik, hanem benne van az infravörös és az ibolyántúli sugárzás is) a napállandóból (1366 W/m^2) és a közepes Nap–Föld-távolságból (149,6 millió km) határozhatjuk meg. Feltesszük, hogy a Nap minden irányba (tehát nem csak az ekliptika mentén) ugyanolyan intenzitással sugároz, és eltekintünk attól, hogy ebből a sugárzásból bármi is elnyelődne, miközben a fény a Naptól távolodik.

A Nap fűtőteljesítményét, vagyis a sugárzási teljesítményét úgy határozhatjuk meg, hogy a napállandót megszorozzuk egy olyan gömb felszínének nagyságával, amelynek sugara éppen a Nap–Föld-távolság. Ugyanis ennek a gömbnek (melynek közepén található a Nap) minden egyes négyzetméterén napállandónyi energia halad át másodpercenként. Az R sugarú gömb felszíne:

$$4R^2\pi = 4 \cdot (1,496 \cdot 10^{11} \text{ m})^2 \cdot \pi = 2,812 \cdot 10^{23} \text{ m}^2$$

A Nap teljes fűtőteljesítménye:

$$P_{\text{Nap}} = \left(1366 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) \cdot (2,812 \cdot 10^{23} \text{ m}^2) = 3,84 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

Megjegyzés: Madách Imre (1823–1864) idejében már ismert volt a napállandó hozzávetőlegesen pontos értéke, és tudták azt is, hogy milyen messze van a Föld a Naptól, vagyis elvégezték a fenti számítást. Akkor még úgy gondolták, hogy a Nap kőszénből van, aminek égése szolgáltatja a Nap sugárzási energiáját. A kőszén égéshőjéből azt is kiszámították, hogy mennyi időre elegendő ekkora mennyiségű kőszén, és a *Biblia* alapján hitelesnek fogadták el a világmindenség teremtéstől addig eltelt idejét. Arra jutottak, hogy alig egy-két-ezer év múlva a Nap ki fog hunyni, sötétség és hideg köszönt a világra, amit hóhalálnak neveztek. Ezt mutatta be Madách *Az ember tragédiájának* eszkimó színében.

Az ember ősidők óta közvetlenül is használja a Nap energiáját, akár tudunk róla, akár nem. Gondoljunk csak arra, hogy szárítás-kor, aszaláskor, ételek, italok érlelésekor, üvegházak melegítésekor hagyományosan napenergiát hasznosítunk. A napenergia egyre szélesebb körű felhasználása a XX. században terjedt el világszerte. A napsugárzást ma már nemcsak világításra és melegítésre használjuk, hanem képesek vagyunk a Napból érkező fényt nap-elemek segítségével közvetlenül elektromos energiává alakítani, ami a napenergia felhasználásának új lehetőségeit indította el.



■ Ilyen sapkával a Nap energiájával tesszük elviselhetőbbé a kánikulát

NE HIBÁZZ!

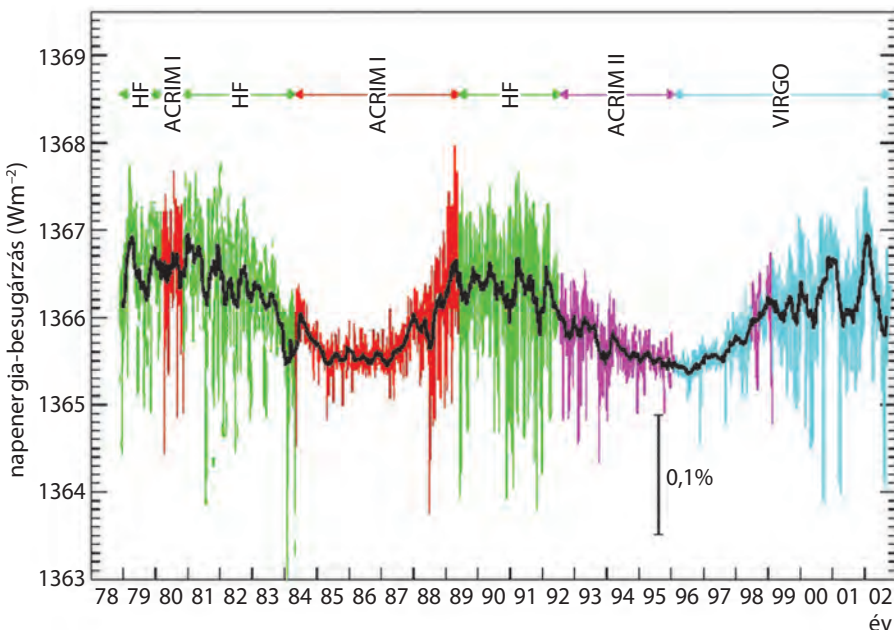
Amikor azt mondjuk, hogy a Nap fényintenzitása a Föld legfelső légrétegeiben közelítőleg 1400 W/m^2 , akkor ezt így is írhatjuk: $1400 \text{ J/s} \cdot \text{m}^2$, hiszen $1 \text{ watt} = 1 \text{ joule/másodperc}$, azaz $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$. Ez azt jelenti, hogy a Napból érkező energiaáram akkora, hogy a terjedési irányra merőlegesen álló minden egyes négyzetméternyi felületen másodpercenként 1400 J energia halad át.

Általánosságban is kimondhatjuk, hogy az intenzitás azt mutatja meg, hogy a sugárzás terjedési irányára merőleges egységnyi felületen másodpercenként mennyi energia halad át:

$$\text{Intenzitás} = \frac{\text{energia}}{\text{felület} \cdot \text{idő}}$$

Mivel az energia/idő teljesítmény jellegű mennyiség, aminek a mértékegysége watt, ezért az intenzitás mértékegysége W/m^2 . Sokszor watt helyett annak ezerszeresét, a kilowattot használjuk, amivel a napállandó kerekített értéke így adható meg: $1,4 \text{ kW/m}^2$.

A napállandót először Claude Pouillet francia fizikus, a Sorbonne professzora mérte meg 1838-ban úgy, hogy a Nap fényét vízben elnyelte, és mérte a víz felmelegedését. Az általa kapott 1228 W/m^2 -es érték közel járt a ma ismert értékhez. Azóta a mérési módszerek sokat finomodtak, és 1978 óta műholdakon elhelyezett műszerek segítségével kapjuk a legpontosabb értékeket. A grafikonon jól látszik a világűrben végzett mérések adatainak szórása, és a napfolttevékenység 11 éves ingadozása.



■ A napállandó mérési adatai Föld körül keringő műholdak vizsgálata alapján (a különböző műholdakat különböző színek jelölik)

Mihez kezdhetünk ilyen sok energiával?

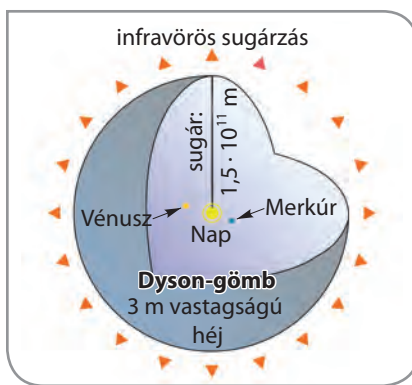
A „Számoljuk ki!” részben láthatjuk, hogy a Nap sugárzási fűtőteljesítménye $3,84 \cdot 10^{26} \text{ W}$, amit úgy mondhatunk ki megfelelő előtétző segítségével, hogy ez $384 \text{ YW} = 384 \text{ jottawatt}$. A Földön minden emberre nagyjából 350 W -os átlagos villamosenergia-termelés jut, és mivel az emberiség jelenleg hétmilliárdot meghaladó számú emberből áll, így a Földön az elektromos energia termeléséhez

$$(350 \text{ W}) \cdot (7 \cdot 10^9) \approx \mathbf{2,5 \text{ TW}} = 2,5 \text{ terawatt} \quad (2,5 \text{ TW} = 2,5 \cdot 10^{12} \text{ W} = 2,5 \text{ billió watt})$$

erőművi teljesítmény szükséges. (A megépített erőművek teljesítménye ennél jelentősen nagyobb, mert a váratlan erőművi kimaradások, illetve a rendszeres karbantartások miatt tartalék kapacitásokra van szükség.) A Nap fűtőteljesítménye $384 \text{ YW} = \mathbf{384 \text{ billió TW}}$, vagyis a Nap teljesítménye több mint 150 billiószor nagyobb a Föld jelenlegi teljes elektromos energia-termelésénél. (Az emberiség teljes energiafelhasználása nem éri el a 20 TW teljesítményt, vagyis a Nap fűtőteljesítménye az emberiség mai igényének nagyjából 20 billiószorosa.) Hihetetlenül sok energiáról van szó, ami megmozgatta a tudósok fantáziáját is.

Hallottál róla?

Az angol születésű, később amerikai állampolgárságú Freeman Dyson 1960-ban felvetette azt a lehetőséget, hogy néhány ezer év múlva az emberiség energiaigénye olyan nagy lesz és a technológiai fejlettségünk olyan magas szintet ér el, hogy képesek leszünk a Nap által kisugárzott energiát saját szükségletünkre felhasználni. Megszületett a Dyson-gömb gondolata, ami azt jelenti, hogy hozzunk létre egy Nap–Föld-távolság sugarú gömbhéjat a Nap körül, és ennek a gömbhéjnak a belső felülete nyelje el a napsugárzást, és alakítsa át olyan energiává, amit az emberiség saját szükségletei szerint felhasználhat. A kiváló matematikus és fizikus Dyson sokat foglalkozott idegen értelmes civilizációk kutatásával. Arra jutott, hogy ha nálunk fejlettebb civilizációk már megvalósították saját csillaguk energiájának teljes felhasználását, vagyis megépítették Dyson-gömbhéjukat, akkor ezzel egyben el is takarták magukat a külső szemlélő elől. Esetleg ez lehet a magyarázata annak, miért nem találtunk még olyan értelmes rádióhullámjeleket, melyeket nálunk fejlettebb civilizációk sugároznak ki. Sőt Dyson azt is javasolta, hogy érdemes lenne olyan forrásokat keresni a világűrben, melyek erős infravörös-sugárzók, de nem sugároznak a látható és az ibolyántúli tartományban. Ezt a gondolatát arra alapozta, hogy az energiamegmaradás törvénye alapján a Dyson-gömbhéj nemcsak elnyelné a napsugárzást, de kifelé sugároznia is kellene. A Dyson-gömbhéj nem melegedne fel annyira, mint a Nap felszíne, ezért alacsonyabb energiájú infravörös sugárzást bocsátanak ki.



■ Dyson eredeti elképzelésében 3 méter vastagnak képzelte a gömbhéját

Napkollektorok

A napkollektorok olyan eszközök, melyek a napfény elnyelésével hőt gyűjtenek össze. Napkollektornak tekinthető a kertben a napon hagyott locsolócső is, melyben hamar felforrósodik a víz, hiszen napos időben a Föld felszínén közel 1000 W/m^2 a napsugárzás teljesítménye. Régóta használják a feketére festett hordókat meleg víz előállítására, melyeket a kertek, udvarok napsütötte részein helyeznek el, és melyekben délutánra nagy mennyiségű meleg vízre tehetünk szert, ha napközben a hordóra süt a Nap.

A mai, korszerű meghatározás szerint a napkollektor olyan épületgépeszeti berendezés, amely a napenergia felhasználásával közvetlenül állít elő fűtésre, vízmelegítésre használható hőenergiát. Fűtésre való alkalmazása az épület megfelelő hőszigetelését feltételezi, és általában csak tavasszal és ősszel mint átmeneti, illetve télen mint kiegészítő fűtés használatos. Magyarországon az évi napsütéses órák száma közel 2000 óra/év, ami azt jelenti, hogy érdemes napkollek-



■ A fekete csőben felmelegedett víz folyik vissza a csúszdán át a medencébe



■ Feketére festett fémhordóból készített kerti zuhany

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Tételezzük fel, hogy a Dyson-gömbhéj vastagsága 20 cm, átlagos sűrűsége pedig 600 kg/m^3 . Határozzuk meg, hogy mennyi lenne a tömege, és hasonlítsuk össze ezt a tömeget a Föld $5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ tömegével!

Megoldás: A gömb felszínét így számíthatjuk ki:

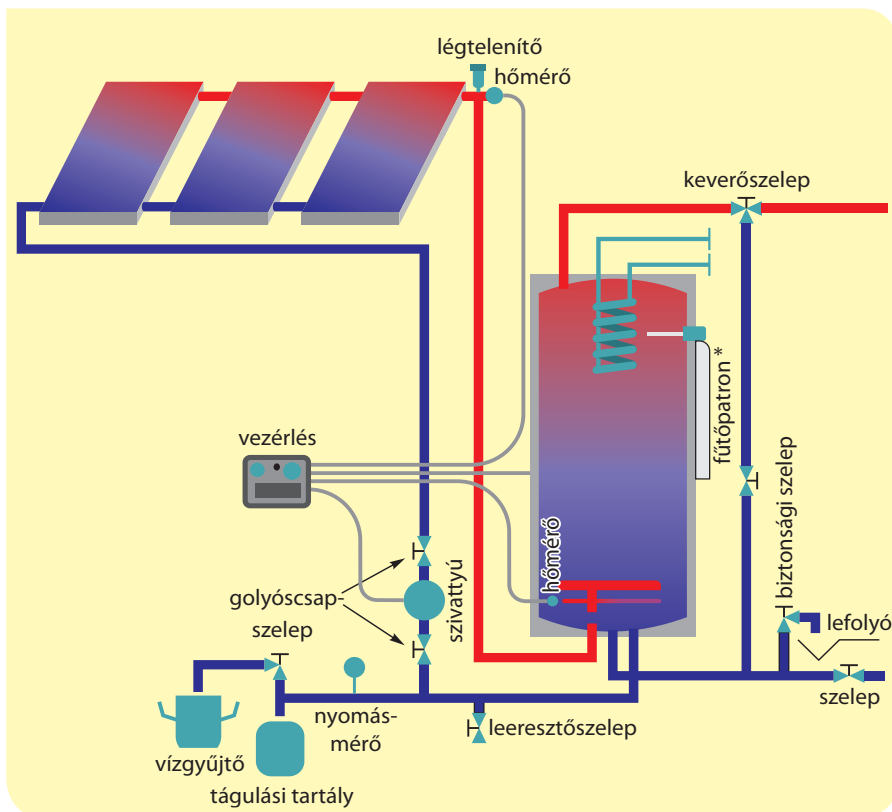
$$4\pi R^2$$

ahol $R = 150$ millió $\text{km} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$ az átlagos Nap–Föld-távolság.

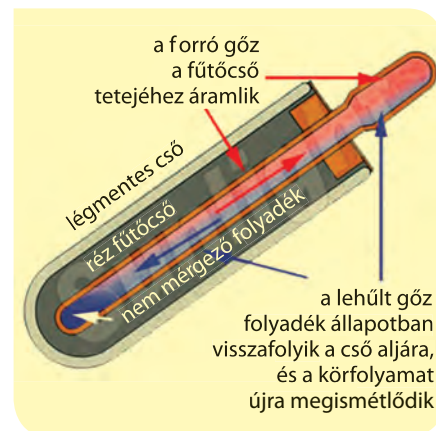
A Dyson-gömbhéj térfogatát úgy kapjuk meg, ha a gömbhéj felszínét megszorozzuk a $d = 0,2$ m-es vastagságával: $V = 4\pi R^2 d$. Végül a gömbhéj tömegét a térfogata és a feltételezett $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ sűrűségének szorzataként számíthatjuk ki:

$$\begin{aligned} m &= \rho V = \rho \cdot 4\pi R^2 d = \\ &= 4\pi \cdot (1,5 \cdot 10^{11} \text{ m})^2 \cdot (0,2 \text{ m}) \cdot \\ &\cdot (600 \text{ kg/m}^3) = 3,4 \cdot 10^{25} \text{ kg} \end{aligned}$$

Eredményünk szerint a Dyson-gömbhéj a Föld tömegének több mint öt és félszerese lenne, szóval nemcsak a megépítési technológia jelent ma még megoldhatatlan nehézséget, hanem az építési anyagok beszerzése is. A kőzetbolygók (Merkúr, Vénusz, Mars) mind kisebb tömegűek a Földnél, az óriásbolygók anyagát viszont gáz alkotja, ami szintén hatalmas anyagbeszerzési nehézségeket jelent.



■ Napkollektoros fűtési rendszer vázlatos felépítése (ebben a rendszerben a *-gal jelzett fűtőpatron arra szolgál, hogy akár az épület ráségítő fűtéseként is használható legyen ez a megvalósítás)

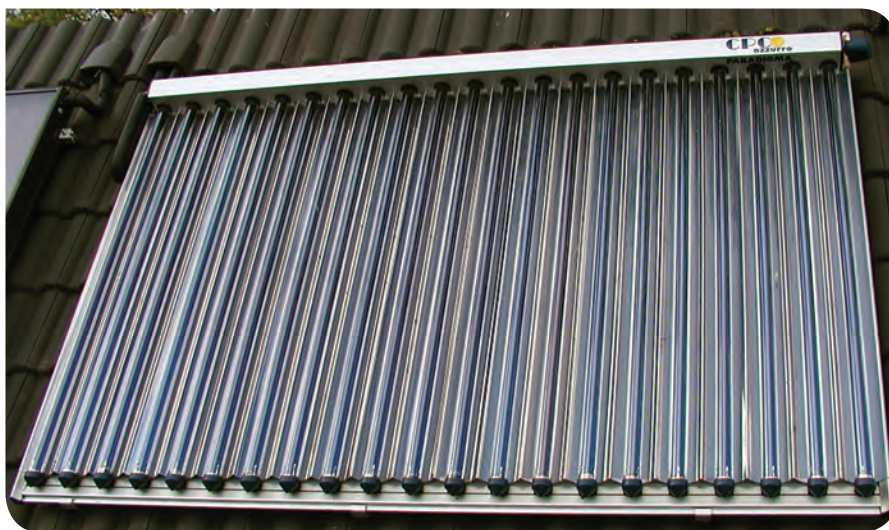


■ Vákuumcső szerkezete

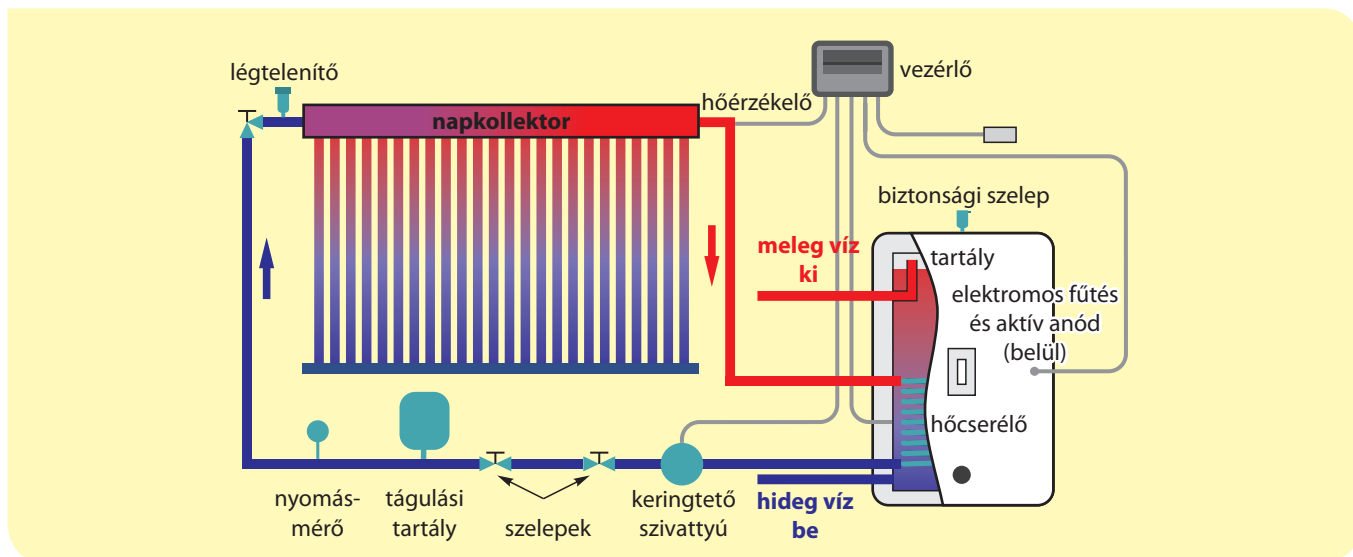
torokat használni, főként használati meleg víz előállítására. A számítások azt mutatják, hogy az éves melegvíz-szükséglet 70%-át elő lehet állítani napmeleggel.

A napkollektorok az 1950-es évektől kezdve terjedtek el világszerte. Kezdetben úgynevezett **síkkollektorokat** használtak, melyek tetején egy átlátszó, hőszigetelő, síkúveg vagy műanyag réteg található, ezért nevezzük ezeket síkkollektoroknak. Az átlátszó

réteg alatt fényelnyelő felületet találhatunk, ami általában megfelelő festékbevonatú rézlemez (a speciális festék a napfényt jól elnyeli, azonban infravörösben nem sugároz jól, ezért megtartja a hőt). A fényelnyelő réteg alatt folyadék áramlik, ami lehet csőkígyó elrendezésű, de lehet simán két síklap között szabadon áramló folyadék is. A síkkollektorok legalsó rétege egy hőszigetelő hátlap.



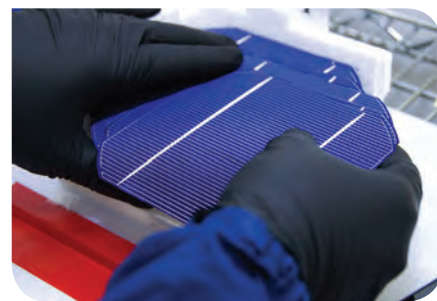
■ Vákuumcsöves napkollektortábla a háztetőn



■ Vákuumcsöves napkollektoros rendszer vázlata

Napelemek

A napelemek a fény energiáját közvetlenül elektromos energiává alakítják. A jelenséget 1839-ben a francia Alexandre-Edmond Becquerel fedezte fel 19 éves korában, miközben apjával, a szintén elismert tudós, Antoine César Becquerellel annak laboratóriumában kísérletezett. (Henry Becquerel, a radioaktivitás felfedezője 1852-ben A. E. Becquerel fiaként, A. C. Becquerel unokájaként látta meg a napvilágot.) A laboratóriumban ezüst-kloridot kevertek savas oldatba, és ebbe két platinaelektrodát helyeztek. Amikor az oldatot megvilágították, az elektrodák között feszültség jött létre, ha árammérőn keresztül rövidre zárták a kört, akkor elektromos áramot, úgynevezett fotoáramot mértek. Ezt a jelenséget Becquerel-effektusnak is nevezik, azonban angol nyelvterületen a „photovoltaic effect” terjedt el, amit így rövidítenek: PV-effektus. Magyar megfelelője egyelőre nincs ennek a kifejezésnek, bár manapság már sok helyen találkozhatunk a „fotovoltaikus” hatás elnevezéssel. Vannak, akik a „fotovillamos” jelzővel próbálkoznak, sőt a napelemeket is szívesebben szeretnék „fotovillamos” elemeknek hívni.



■ Szilícium egykristály alapú napelemtábla



■ Szolgálatba állt a Királyréti Erdei Vasút legújabb járműve, a napelemekkel működő elektromos motorvonat, neve Vili



■ Napfarm Freiberg (Németország) mellett



■ 2015-ben a Solar Impulse 2 napelemes repülőgép 16 óra alatt tett meg 1465 km-nyi távot



■ Egyre népszerűbbek fiatal mérnökök között a napelemes autók versenye



■ A képen látható inverter a napelemtáblák egyenáramát a hálózati árammal azonos frekvenciájú váltóárammá alakítja, és így a feleslegben megtermelt napenergiát az elektromos hálózat veszi fel

■ Az első naphőerőmű (Barstow, Kalifornia, Mojave-sivatag, USA) 1982–1988-ban épült. A második naphőerőmű 1994–1999 között ugyanott épült az első továbbfejlesztett változataként



■ Napelemtáblák a Nemzetközi Űrállomáson

A napelemek gyakorlati felhasználása akkor indult el útjára, amikor félvezetőikkel sikerült megvalósítani a jelenséget. Két különböző típusú félvezető réteget hoznak érintkezésbe, és megvilágítják a határreteget. A fény energiájának hatására a rétegben töltésszétválás jön létre, hasonlóan ahhoz, ahogy a galvánelemek pólusain a kémiai reakciók töltéseket választanak szét. Zárt áramkör esetén a megvilágított napelem folyamatosan egyenáramot hoz létre.

NAPKOHÓK *(Olvasmány)*

A napenergia hasznosításának további lehetősége az, hogy hatalmas parabolatükrökkel összegyűjtjük a napfényt, és azt egy pontba (közelítőleg egy pontba, valójában egy kis térfogatba) fókuszáljuk. Ha ebbe a pontba egy víztartályt helyezünk, akkor forró gőzt is elő tudunk így állítani, és ezzel a gőzzel gőzturbinát hajthatunk meg, amivel például elektromos energiát termelhetünk, vagy közvetlenül meghajthatunk egy gépet, például egy szivattyút.



STIRLING-MOTOR *(Olvasmány)*

A Stirling-motor vagy más néven hőlégmotor, külső hőbevezetésű hőerőgép, általában dugattyús-forgattyús mechanizmussal készül. A belső égésű motorokkal szemben a Stirling-motor hőforrása nem a hengerben eléggő fűtőanyag, mint a benzin- vagy dízelmotoroknál, vagy a gázturbinában, hanem a motort Robert Stirling lelkész találta fel 1816-ban, aki az első gépeken lényeges újításokat dolgozott ki, az első szabadalmat adta be, és később segített mérnök fivérének, James Stirlingnek a további fejlesztésben.



■ Spanyolországban, a Tabernas-sivatagban napenergia-kutató központ működik, ahol többek között Stirling-motor építésével is foglalkoznak

Manapság erőteljesen fejlesztik a Stirling-motorokat, melyeket parabolatükör segítségével napenergiával hajtanak meg. A parabolatükör fókuszálja a napfényt, a tükör fókuszában helyezkedik el a Stirling-motor hőfelvevő bemenete. A motor periodikus működéséhez meg kell oldani a hőleadást is, ami ventilátorral és hűtőbordákkal történhet. A felvett és a leadott hő különbsége a motor hasznosítható munkája, ami akár elektromos energia előállítását, akár közvetlenül mechanikai munkavégzést tesz lehetővé.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen érvek szólnak a sík napkollektorok és a vákuumcsöves kollektorok mellett és ellen? Te melyiket választanád?
2. Parabola keresztmetszetű, tükröző felületű vályúkkal is lehet fókuszálni a napfényt. Ilyenkor nem egy fókuszpontról, hanem egy fókuszegyenesről beszélhetünk. Nézz utána, hogy ennek a megoldásnak milyen gyakorlati megvalósításai vannak!
3. A Nap sugárzásának milyen két eltérő energetikai hasznosítását valósították meg napjainkig?
4. Nézz utána, hogy mekkora teljesítményű napenergiával működő Stirling-motort lehet kereskedelmi forgalomban kapni, és hasonlítsd össze ezt a teljesítményt személygépkocsik, motorkerékpárok teljesítményével!
5. Nézz utána, hogy sütni, főzni lehet-e napenergiával! Ha igen, a Föld mely területein van ennek a felhasználásnak jövője?
6. Gondold meg, hogy a hatalmas tömeg mellett még milyen nehézségei lehetnek a Dyson-gömbhéj megépítésének! (Az internet segítségével számos ellenérvet találhatsz róla.)
7. Magyarország déli területein a napsütéses órák száma megközelítőleg 2100 óra/év. 80-100 méter magasan a tengerszinttől a földfelszínre érkező napsugárzás intenzitása (teljesítményfluxusa) mérőleges beesés esetén: 800 W/m^2 körüli. (A napállandó a világűrben 1366 W/m^2 .) Mennyi a Nap direkt sugárzásának 1 m^2 -re jutó összege egy év alatt?

NE FELEDD!

A Naptól a Föld légkörének tejejére a napsugarak négyzetméterenként és másodpercenként közel 1400 J energiát szállítanak. Tiszta, napos időben ebből a Föld felszínére közel 1000 W/m^2 teljesítménnyel érkezik a napenergia. Ez igen jelentős mennyiség, érdemes erőfeszítéseket tenni, fejleszteni, kutatásokat végezni, hogy a napenergiából minél többet tudjunk hasznosítani.

A napkollektorok a napenergiát olyan kezelhető energiává alakítják, hogy az alkalmas családi házak, épületek, lakások használati melegvízszükségletét biztosítani, sőt a téli fűtési hő egy részét is tudják szolgáltatni napsütéses téli napokon.

A napelemek a napenergiát közvetlenül elektromos energiává alakítják át, így akár azt is megoldhatjuk, hogy a tetőre szerelt napelemtáblákkal nullára csökkentjük a házunk, lakásunk villanyszámláját. Ez úgy történhet meg, hogy a napelemek által termelt elektromos energiát a villamos hálózatba megfelelő átalakítás után be lehet táplálni, amivel az elektromos szolgáltató ugyanúgy elszámol felénk, ahogy mi fizetünk a szolgáltató által nyújtott energiáért.

A napkollektorok és a napelemek mellett még számos más napenergia-hasznosító megoldás létezik, melyek kutatásával intenzíven foglalkoznak. A napkohókban gőzt termelnek, mellyel gőzturbinák hajthatók meg. A Stirling-motor alkalmazása reneszánszát éli, ennek az úgynevezett külső hőbevezetésű motornak az energiaellátását napenergiával, parabolatükrökkel oldják meg.

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Nézz utána, hogy mennyi volt a 2013-as és a 2014-es években az emberiség primer energiafelhasználása!
2. Sorolj fel különböző felépítésű naperőműveket! Milyen fizikai elvek alapján működnek naperőművek? Miért termel időben egyenfeszültséget a napelemes park, és miért termel időben változó elektromos energiát a napkórhós vagy a napvályús elrendezés? Hogyan oldják meg az egyik és a másik rendszerben az éjszakai és borús időbeli elektromos energiaszolgáltatást? Melyik esetben kell az elektromos energiát, és melyik esetben kell a hőt tárolni?
3. Sorold fel az előnyeit és a problémáit is a fix hajlásszögben telepített napelempanelnek, és az egytengelyes, valamint a kéttengelyes paneltartó (mozgató) rendszereknek! Az utóbbi kettő körülbelül hány százalékban termel több elektromos energiát egy évben a fix telepítésűhöz képest?
4. A napállandót az határozza meg, hogy mekkora a nap-sugárzás átlagos intenzitása a Föld közelében. Mekkora lenne a napállandó a marslakók szerint, akik természetesen a Mars-közeli sugárzási intenzitást mérnék, ha léteznének? (Bizonyos legendák szerint a marslakók és a magyarok között rokoni kapcsolat van.)
5. Számítsd ki a következő értékeket (a hiányzó, szükséges adatokat a tankönyvből, táblázatokból vagy az internetről szerezd be)!
 - a) Mennyi a Föld keresztmetszetének megfelelő felületen áthaladó, a Napból származó energia éves mennyisége?
 - b) Hányszor nagyobb a Napból származó energia éves mennyisége az emberiség jelenlegi éves primer energiafelhasználásához képest?



20. | Atomenergia

Tömeghiány

A fizika leghíresebb egyenletét Albert Einstein 1905-ben alkotta meg, ez a nevezetes $E = mc^2$. Az egyenletben E az energiát, m a tömeget, c pedig a fénysebességet jelenti (a fénysebesség számértéke m/s egységben pontosan: $c = 299\,792\,458$ m/s). Ezt a nagyon fontos összefüggést tömeg-energia egyenértékűségnek (idegen szóval ekvivalenciának) hívják, ami azt a meglepő tényt jelenti, hogy a tömeg és az energia lényegében ugyanaz. Amikor például a francia-svájci határon lévő CERN-ben (az Európai Nukleáris Kutatási Szervezetben) működő LHC-ban (a Nagy Hadron Ütköztetőben) hatalmas energiával egymással szemben haladó protonokat ütköztetnek, akkor ennek során rengeteg elemi részecske keletkezik, melyek együttes tömege sokszorosa a két ütköző proton tömegének. Ez úgy lehetséges, hogy a szétrepülő részecskék energiája kisebb, mint a protonok energiája volt az ütközés előtt, az energia tömeggé alakult. Ugyanez visszafelé is igaz, a tömeg energiává alakítható.

Tömeghiány atommag-átalakulás esetén

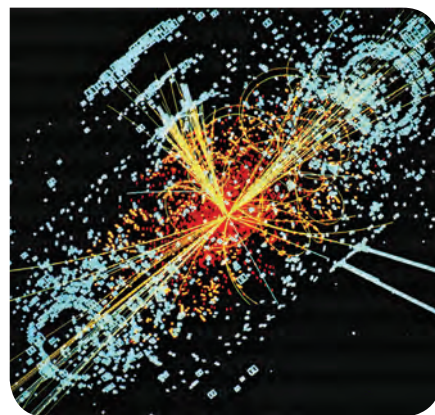
Vannak stabil atommagok, melyek önmaguktól nem változnak, és vannak instabilak, melyek véletlenszerűen, előre nem kiszámítható pillanatban másféle atommaggá alakulnak. Akár a stabilakat, akár az instabil atommagokat mesterségesen másféle maggá lehet alakítani, ha valamilyen elemi részecskét (például protont, neutron) lövünk beléjük.

Az Einstein-képlet megszületését követő időkben kezdték a tudósok feltérképezni az atommagok energiáját. Azt állapították meg, hogy az atommagokban lejátszódó folyamatokat kísérő energiák százezerszer, milliószor nagyobbak, mint a kémiai energiák, vagyis az atommagok világában jól mérhető a tömeghiány. Az atommagok világában az egyik legegyszerűbb magreakció az, amikor egy proton és egy neutron egyesül, és belőlük deutron keletkezik. A deutron tömege kisebb mint a proton és a neutron tömegének összege. Ez a tömegkülönbség azonban nagyon jól mérhető, és ugyanígy nagyon jól mérhető a deutron keletkezésekor felszabaduló energia (ugyanis a proton és a neutron egyesülésekor egy nagy energiájú fényrészecske – foton – keletkezik, aminek jól mérhető az energiája). Mindezek alapján nem meglepő, hogy

Hogyan volt régen?

Nagyon sokáig azt hittük, hogy az atomok változtathatatlanok. Persze a kémiai változások átrendezik az atomok elektronjait, a molekulákban az elektronok teljesen más mintázatot (kötéseket) alakítanak ki, mint amilyen az atomokban lévő elektronformáció, sőt elektronok elvételével vagy hozzáadásával az atomokat ionokká lehet átalakítani, de ezek a változások nem érintik az atommagokat. Tehát amikor az atomok változtathatatlanságáról hallunk, akkor ez valójában az atommagok változtathatatlanságát jelenti. A XIX. század legvégén, a XX. század elején derült ki, hogy az atommagok nem ilyenek.

Az életben nagyon gyakran vállalunk kockázatot, például akkor, amikor közlekedünk. Általában nem félünk a mozgó járművekben, különösen akkor nem, ha a szabályokat betartó, a sebességkorlátozásokat nem túllépő, gyakorlott, jó sofőr vezeti azt a járművet, amelyben utazunk. Pedig tudjuk, hogy vannak közlekedési balesetek, mégsem gondolunk arra, hogy be kellene tiltani a járműközlekedést, vállaljuk a közlekedéssel járó kockázatokat. Az atomenergiától viszont sokan félnek, miközben gyakran azt sem tudják, hogy mit is nevezünk atomenergiának, vagy más szóval nukleáris energiának. Félnék a radioaktív hulladékoktól is, de ezek is nagyrészt ismeretlenek előttünk. Fontos, hogy megkülönböztessük a reális veszélyeket és az alaptalan félelmeinket.



■ Két proton ütközése a Nagy Hadron Ütköztetőben (LHC) részecskék sokaságát hozza létre, melyek együttes tömege sokszorosa az ütköző két proton tömegének



■ Égéskor kémiai energia alakul át hővé, a tömegváltozás szinte mérhetetlen

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Táblázatok adatait felhasználva ellenőrizzük, hogy amikor egy proton és egy neutron deuterónná egyesül, akkor valóban $3,568 \cdot 10^{-13}$ J energia szabadul fel!

Megoldás: Használjuk például a Függvénytáblázat, a Wikipédia vagy más források adatait:

$$\begin{aligned} m_{\text{proton}} &= 1,67262 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ m_{\text{neutron}} &= 1,67493 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ m_{\text{deuteron}} &= 3,34358 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \end{aligned}$$

(Azért adtuk meg 6 értékes jegy pontossággal a tömegadatokat, mert a folyamatosan finomodó mérések ezeket a jegyeket már nem változtatják.)

Számítsuk ki a tömeghiányt:

$$\begin{aligned} \Delta m &= (m_{\text{proton}} + m_{\text{neutron}}) - (m_{\text{deuteron}}) = \\ &= 3,97 \cdot 10^{-30} \text{ kg} \end{aligned}$$

amiből a felszabaduló energia nagyságát az Einstein-képlet szerint kaphatjuk meg:

$$E = \Delta mc^2 = 3,568 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

vagyis igazoltuk a mérések alapján kapott energia értékét.

ha összehasonlítjuk a tömeghiányból számított Δmc^2 energiát és a deuteron keletkezésekor létrejövő foton energiáját, akkor tökéletesen megegyező értéket kapunk.

Az atommagok kötési energiája

Az atommagok protonokból és neutronokból állnak. Ha megmérjük külön-külön a protonok és a neutronok tömegét, majd az atommagok tömegét is, akkor minden esetben azt tapasztaljuk, hogy az atommagok tömege kisebb, mint a bennük lévő protonok és neutronok tömegének összege.

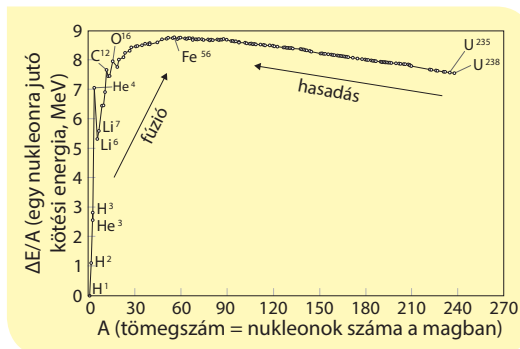
Ez a furcsa tény egyszerű lehetőséget ad az **atommagok kötési energiájának meghatározására**.

Nem kell ugyanis semmi mást tennünk, mint megmérni az atommagok tömegét, és ezt az értéket ki kell vonnunk a magban lévő protonok és neutronok egyenkénti tömegének összegéből, majd a tömeghiányt meg kell szoroznunk a fénysebesség négyzetével. Minél több protonból és neutronból áll egy atommag, annál nagyobb tömeghiányt tapasztalhatunk, vagyis annál nagyobb a kötési energia. A kötési energia azt jelenti, hogy mekkora energia befektetésével lehet teljesen eltávolítani egymástól a protonokat és a neutronokat.

Az egyes atommagok stabilitását nem önmagában a kötési energia értéke határozza meg, hanem az úgynevezett **egy nukleonra jutó kötési energia**. Nukleonnak nevezzük a protonokat és a neutronokat, vagyis az atommag (a nukleus) alkotóelemeit. Az egy nukleonra jutó kötési energiát úgy kapjuk meg, hogy **az atommag teljes kötési energiáját elosztjuk a nukleonok számával**. Az atommagban lévő nukleonok számát **tömegszámnak** hívjuk. A stabil atommagok közül a közepes tömegű atommagoknak a legnagyobb az egy nukleonra jutó kötési energiája, pontosabban a vashoz hasonló méretű atommagok a legstabilabbak. Ez azt jelenti, hogy ha az univerzumban az atommagok felveszik legalacsonyabb energiájú, vagyis legerősebben kötött állapotukat, akkor a világban csupán vas, illetve ahhoz közeli rendszámú elem lesz. Manapság ez még távolról sincs így, ami arra utal, hogy nagyon fiatal univerzumban élünk.

Mi az atomenergia?

Az előzőek alapján jogosan kételkedhetünk abban, hogy az atomenergia az atom energiája. Valójában az atomenergia az atommagok energiájához köthető fogalom. Angolul „nuclear energy” (nukleáris energia), ami világosan kimondja, hogy az atommagok energiájáról van szó. Ha sikerül úgy átalakítani az atommagokat, hogy az egy nukleonra eső kötési energiájuk növekedjen, vagyis összességében a nukleonok (protonok és neutronok) alacsonyabb energiájú állapotokba jussanak, akkor ez a folyamat hatalmas energiafelszabadulással jár, a kémiai energiákhoz képest milliószoros energiákat kaphatunk.

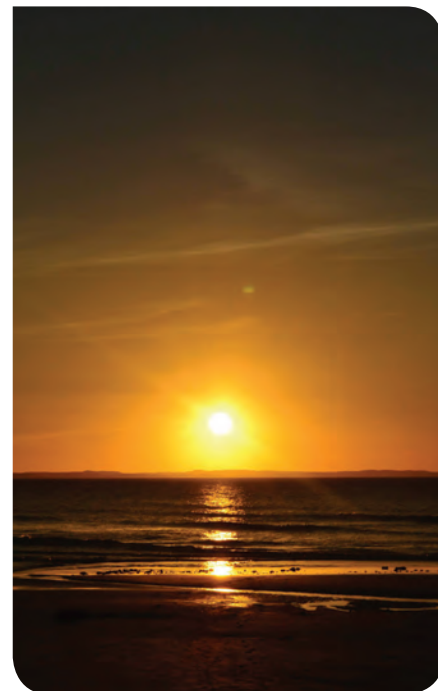


■ Az egy nukleonra eső kötési energia a különböző tömegszámú atommagokban

Az egyik lehetőség a fúzió. Ilyenkor könnyű magok, például hidrogén atommagok (protonok) egyesülnek, és végeredményben hélium jön létre. A két protonból és két neutronból álló hélium atommag különösen stabil képződmény, nagy a kötési energiája, ezért a hidrogén → hélium átalakulás igen nagy energianyereséggel jár. Ez történik a Nap belsejében, ez adja a Nap energiáját immár négy és fél milliárd éve folyamatosan, és még nagyjából ugyanennyi idő hátra is van. A protonok pozitív töltésűek, taszítják egymást, különösen akkor, ha igen közel kerülnek egymáshoz, ilyenkor a taszítóerő akár 100 N értéket is elérhet. Ez azt jelenti, hogy csak akkor egyesülhetnek a protonok, ha rendkívül gyorsan mozognak, vagyis mozgási energiájuk hatalmas. Ez csak igen magas hőmérsékleten valósul meg, a természetben ez történik a csillagok belsejében.

Atommagfúzió

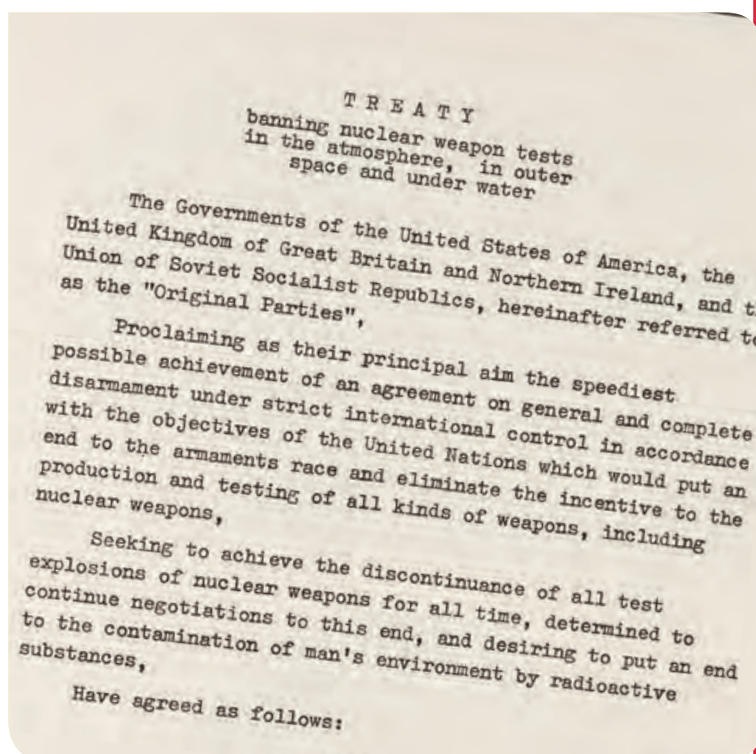
Ma 50 évre teszik a fúziós reaktorok létrejöttét. Földi körülmények között 100 millió °C-os hőmérsékletet kell előállítani, amiben a magfúzió zajlik. Ilyen magas hőmérsékleten az atomok teljesen ionizálódnak, atommagok és elektronok keveréke jön létre. Ezt az anyagot magas hőmérsékletű plazmának hívjuk, melyet valahogyan légüres térben kell lebegtetni. A lebegtetést különleges mágneses terekkel próbálják megoldani, ami azért igen nehéz feladat, mert a magas hőmérsékletű plazma teljesen másképp viselkedik, mint amit például a gázok esetében megszokhattunk. A jelenlegi kísérletekben néhány másodpercig sikerül a fúzióhoz szükséges hőmérsékletű plazmát egyben tar-



■ A Nap (és más csillagok) energiáját a hidrogén → hélium átalakulás energianyeresége biztosítja

Hogyan volt régen?

Földi körülmények között atommagfúziót először katonai céllal hoztak létre, amit hidrogénbombának hívunk. Az USA 1952-ben, a Szovjetunió 1953-ban robbantott először ilyen bombát, melyek egymástól eltérő szerkezetűek voltak. Ezekben a bombákban urán vagy plutónium maghasadásával hozzák létre azt a rendkívül magas hőmérsékletet, ami a fúzió beindulásához szükséges. A nukleáris fegyverek kipróbálását tiltó atomcsendegyezményt 1963-ban írták alá az USA, a Szovjetunió és Nagy-Britannia vezetői, és azóta igen sok ország csatlakozott ehhez (Kína és Franciaország a mai napig nem). A II. világháború után meginduló titkos magfúziós kutatások célja nemcsak a hidrogénbomba létrehozása volt, hanem a hosszú ideig fenntartható, szabályozható, energiatermelő fúzió megvalósítása is. Az ilyen folyamattal működő eszközt nevezzük fúziós reaktoroknak. 1955-től kezdve megszűnt ezeknek a kutatásoknak a titkossága, sőt ez a kutatási téma lett az első a világon, melyen az országok teljes együttműködésben dolgoznak. Az első komolyabb sikereket az 1960-as években érték el, és akkor azt prognosztizálták, hogy a fúziós reaktorokat a gyakorlatban 50 év múlva fogják elindítani.



■ Az 1963-as atomcsendegyezmény első oldala



■ Atommagfelhő Hiroshima felett



■ Az első atommáglya helyén Chicagóban ez a Henry Moore-szobor áll, amit az atommáglya sikeres begyűjtésének 25. évfordulóján, 1967. december 2-án avattak fel

tani, mely már képes legalább annyi energiát termelni, amennyi az előállításához szükséges volt. Ha sikerül megoldani a fúziós reaktorok biztonságos, megbízható, folyamatos működését, akkor ezzel lényegében korlátlan villamosenergia-termelés valósulhat meg a Földön.

Az atommagok energiáját a fúzióon kívül az úgynevezett maghasadással hasznosíthatjuk. Ezen a területen előbb hoztak létre kísérleti reaktort (Chicago, 1942), majd sor került az első urán- és az első plutóniumbomba bevetésére is 1945 augusztusában Hirosimában és Nagaszakiban.

Energiatermelés maghasadással

Érdekes, magyar vonatkozású legenda fűződik ahhoz, hogyan találták ki a maghasadással történő energiatermelést. 1934-ben Londonban, a Royal Societyben Ernest Rutherford, az akkor már rendkívül elismert fizikus előadásában az atommag hatalmas energiájáról beszélt, de kijelentette, hogy az atomenergia gyakorlati felhasználása lehetetlen, mert ilyen folyamatot a Földön nem lehet létrehozni. Az előadásról hazatartó Szilárd Leót azonban irritálta, hogy valamit megvalósíthatatlannak mondanak. Az általa is terjesztett történet szerint, amikor később London belvárosában, a Southampton Lane-en ballagva megállította egy piros lámpa, akkor ötlött eszébe a neutronok láncreakciója mint az atomenergia felszabadításának lehetősége. A gyakorlati megoldást a következőkben látta: ha lenne egy olyan instabil kémiai elem, amelynek atommagja egy neutron elnyelődésének hatására két részre szakad, és közben két neutront bocsát ki, akkor ezzel az elemmel létre lehet hozni a nukleáris láncreakciót, ha fel lehetne halmozni belőle a kritikus mennyiséget.

Szilárd Leó ötletének megszületésétől mindössze nyolc év telt el, és Enrico Fermi vezetésével egy kutatócsoport Chicagóban 1942. december 2-án beindította az első szabályozott uránhasadásos láncreakciót. A munkában Szilárd Leó mellett Wigner Jenő és Teller Ede is részt vettek, szóval az atomenergia hasznosításában igen jelentős volt a magyar hozzájárulás. Szilárd Leó adta az alapötletet, Wigner Jenőt tekinthetjük a világ első atomreaktor-mérnökének, Teller Ede az esetleges radioaktív sugárzások környezeti hatását vizsgálta.



■ A világ első atommáglyája (Chicago, 1942)

Hogyan működik egy atomreaktor?

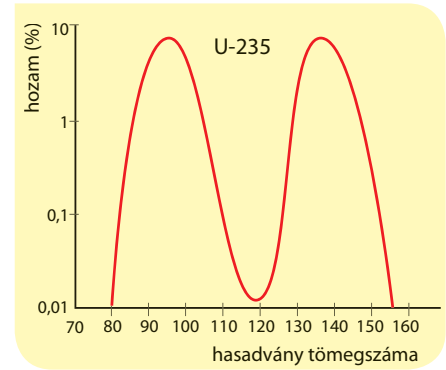
Mindössze három olyan elemet ismerünk, melyek atomreaktorok fűtőeleme-ként működhetnek. Ilyen anyag az urán, a plutónium és a tórium. A legtöbb atomreaktorban vagy az urán-235-ös izotópját használják, vagy a plutónium-239 izotópot, azonban ezek közül is döntő többségben vannak az urán-235-öt használó reaktorok. Ezért a továbbiakban csak az ilyen reaktorokat tárgyaljuk.

Ha az urán-235-ös izotópjának atommagja befog egy neutron, akkor ennek hatására kettéhasad. Mivel ez nem magától következik be, ezért ezt a folyamatot **indukált hasadás**nak nevezzük. (Az indukált szó utal arra, hogy a hasadást a neutron váltja ki.) A hasadáskor két kisebb atommag jön létre, melyek nem egyforma nagyságok, és nem is mindig ugyanazok a magok keletkeznek. A kisebb mag tömegszáma legtöbbször 90 és 100 közé esik, a nagyobbiké 130 és 140 közé. Hasadáskor a két kisebb atommag mellett két vagy három neutron is létrejön. Mindez azt mutatja, hogy a maghasadás bizonyos mértékben véletlenszerű folyamat. A bemenő termékek mindig ugyanazok (az urán-235 magja és egy neutron), a hasadás utáni termékek azonban meglehetősen sokfélék lehetnek. Egy ilyen lehetőséget grafikusán is ábrázoltunk, ahol a hasadás után kripton-92 és bárium-141 mag jön létre, illetve három neutron is keletkezik.

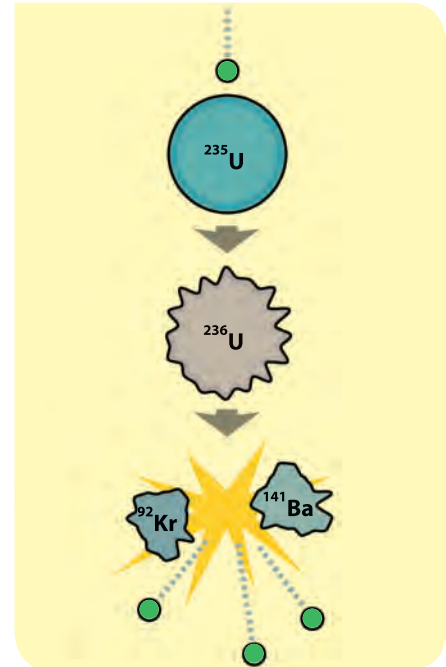
Ha összehasonlítjuk az urán-235 magjának és egy neutronnak a tömegét a keletkező kripton- és báriummagok, valamint három neutron tömegével, akkor megállapíthatjuk, hogy jelentős mértékű tömeghiány lép fel, vagyis a tömeghiánynak megfelelő mennyiségű energia keletkezik: $E = \Delta mc^2$. A vizsgálatok azt mutatják, hogy egy hasadás során átlagosan $2,9 \cdot 10^{11}$ J energia szabadul fel, amelyből látható, hogy ekkora energia több mint 350 elektrontömegnek felel meg, vagyis a tömeghiány mintegy 350 elektrontömeg nagyságú hasadásonként. Ezt úgy kell elképzelnünk, hogy a hasadási termékek, így a neutronok is igen nagy mozgási energiával repülnek szét a hasadást követően. Ezért a reaktortartályban igen meleg van, az uránt tartalmazó fűtőrudakat folyamatosan hűteni kell. A paksi atomerőműben a reaktortartályt hűtő anyag víz, ami igen nagy nyomáson (120 atmoszféra) kering az úgynevezett primer (elsődleges) vízkörben, és így még akkor sem forr fel, amikor a hőmérséklete eléri a 300 °C-ot.

A reaktortartályt hűtő víznek az is fontos szerepe, hogy lelassítsa a keletkező neutronokat, mert csak a lassú neutronok képesek elegendően nagy valószínűséggel további indukált hasadást kiváltani. Az atomreaktorok működésében **kritikus állapot**nak nevezik azt, amikor a reaktortartályban mindig ugyanannyi neutron található. Az urán-235 esetében a hasadásonként átlagosan keletkező neutronok száma 2,4. Kritikus állapot akkor jön létre, ha a hasadásonként átlagosan keletkező 2,4 neutron közül éppen átlagosan 1 vált ki újabb hasadást, míg a többi vagy kiszökik a reaktortartályból, vagy elnyelődik valamilyen nem urán atommagban. Ha a hasadások száma növekszik, vagyis egyre több neutron lesz a reaktortartályban, akkor ezt szuperkritikus állapotnak hívjuk; ha a neutronok száma csökken, akkor szubkritikus állapotról beszélhetünk.

A reaktort állandóan kritikus állapotban vagy ahhoz nagyon közeli állapotban kell tartani. Ezt szabályozó rudak mozgásával érhetjük el, melyek neutronelnyelő anyagból készülnek. Ha jobban bemerülnek a reaktortartályban a fűtőelemek közé, akkor jobban elnyelik a neutronokat, ezért a reaktor aktivitása csökken; ha inkább kijebb húzzák a szabályozó rudakat, akkor a



■ A maghasadási termékek valószínűségi eloszlása urán-235 esetén



■ Az U-235 atommagja befog egy neutron, aminek hatására Kr-92-re és Ba-141-re hasad, továbbá három neutron is keletkezik

kisebb neutronelnyelés növeli az aktivitást. A reaktortartályban egyszerre sok helyen mérik a neutronszámot, és így arra van lehetőségünk, hogy helyileg avatkozzunk be a szabályozásba, hiszen egészen másképp viselkedik a tartály közepe, mint ahogy a széle, ahonnan természetesen sokkal könnyebben szökhetnek ki neutronok.

Hogyan működik egy atomerőmű?



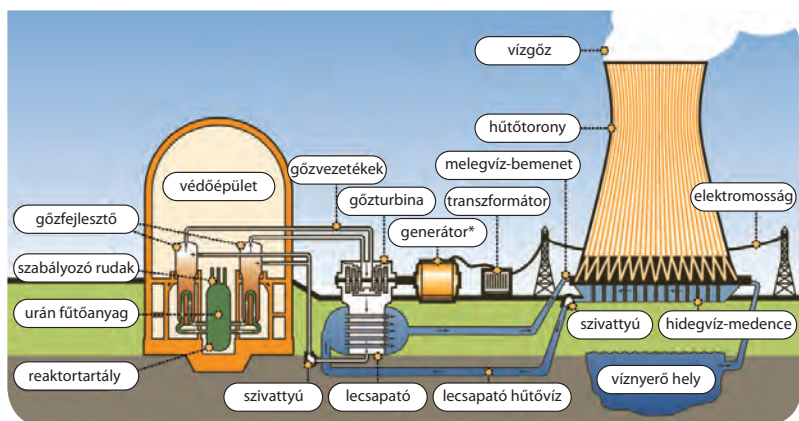
■ A Paksi Atomerőmű karbantartó és gyakorló központja

Az atomerőművek elektromos energiát állítanak elő áramfejlesztő generátorok segítségével. A generátorokat gőzturbinák hajtják meg ugyanúgy, ahogy a foszszilis üzemanyaggal vagy akár napkohóval működő hőerőművekben. A nagy nyomású, forró gőzt atomreaktorokban állítják elő, melyek különböző típusúak lehetnek. A legelterjedtebb az úgynevezett nyomott vizes reaktor (ilyenből van négy Pakson), ahol a primer vízkör nagy nyomású, és még a legmagasabb hőmérsékletét elérve sem alakul át benne a víz gőzzé.

A primer vízkör termikus energiáját egy hőcserélőben arra használják, hogy gőzt állítsanak elő. Ez a szekunder (másodlagos) vízkör, amiben a forró, nagy nyomású gőzt gőzturbinákba vezetik, melyek áramfejlesztő generátorokat hajtanak meg. A gőzturbinákba jutó gőz Pakson 255 °C hőmérsékletű és 44 atmoszféra nyomású. A szekunder vízkörben a gőzturbinákat elhagyó úgynevezett fáradt gőzt (itt alacsonyabb a gőz hőmérséklete és a nyomása is, mint amikor a gőzturbinákba jutott) lecsapatják, vagyis folyékony halmazállapotra hűtik a tercier (harmadlagos) vízkör segítségével. Pakson a tercier vízkör a Duna vizét használja, így Paks alatt 3-4 °C-kal magasabb a Duna vizének a hőmérséklete, mint Paks előtt.

Előnyök és hátrányok

Az atomerőművek legnagyobb előnye az, hogy igen kis mennyiségű fűtőanyaggal, legtöbbször enyhén dúsított urán-235-ös izotóppal működnek, és közben hatalmas teljesítményűek. A paksi atomerőmű például egymagában megtermeli az itthon előállított elektromos energiának több mint a felét. Egy kilogramm urán-235-ös izotópból nyerhető nukleáris energia megfelel 3300 tonna szén elégetésekor felszabaduló energiának. És az urán bányászata nem nagyon drága, mert a Földön nagyjából negyvenszer több urán található, mint ezüst. Az atomerőművek tehát olcsón nagy mennyiségű elektromos energiát állítanak elő, és nem terhelik szennyező anyagokkal a környezetüket, működésük közben gyakorlatilag semmilyen szennyező anyagot nem bocsátanak ki.



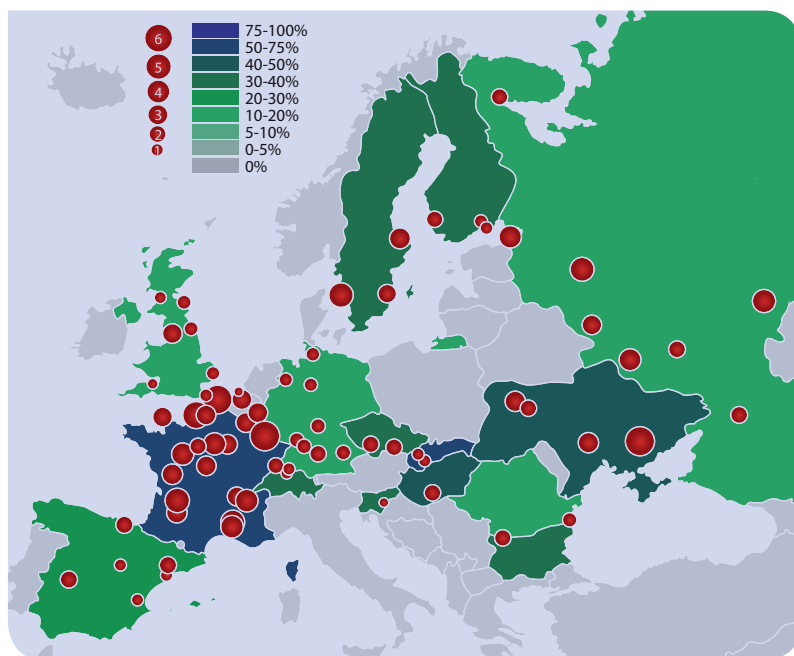
■ Atomerőmű működését bemutató ábra (*áramfejlesztő generátor)

Hátrányuk viszont az, hogy megépítésük igen drága, és igen hosszú ideig tart. Élettartamuk néhány évtized. A paksi négy reaktor az 1980-as években kezdett el működni, és jelenleg fokozatosan kapják meg a blokkok az üzemidő-hosszabbítást a 2030-as évekig, vagyis nagyjából 50 év szolgálat után fejezik majd be az energiatermelést. A teljes leállítás után feltehetően dombokat emelnek majd a reaktorok fölé, mert egyébként drága és nehezen kivitelezhető lenne az elbontásuk. Nehezíti az atomreaktorok működését az is, hogy a természetes urán

99,3%-át a 238-as izotóp alkotja, és mindössze 0,7% a 235-ös izotóp aránya, ami indukált hasadásra alkalmas. Ezért az uránt dúsítani kell, ami nehéz és nagyon energiaigényes feladat.

Sokan a legnagyobb problémának a radioaktív hulladékok elhelyezését tartják. Paksról hosszú időn keresztül a Szovjetunióba szállították a radioaktív hulladékokat, azonban mára ez a lehetőség megszűnt. Bataapatiban elkészült a felszín alatti radioaktív hulladék-tároló, ami gyakorlatilag korlátlan ideig be tudja fogadni végleges elhelyezésre a paksi erőmű összes kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékát. Ezen a helyen nagyon drága, de teljesen biztonságos tárolási technológiát alkalmaznak, amire az ottani igen kemény, stabil kőzet ad lehetőséget. A nagy aktivitású kiegészítő fűtőelemek végső elhelyezése még nem megoldott.

Jelenleg a világ országaiban nagyjából 450 atomreaktor üzemel és 50 van készülében. Az egyes országok igen különbözőképpen viszonyulnak a nukleáris energiához. Az Amerikai Egyesült Államok villamosenergia-szükségletének közel 20%-át állítja elő atomerőművekben, míg ugyanez az arány Franciaországban 80%, az Európai Unióban 30%, Magyarországon 36%. Nem működik atomerőmű Észtországban, Írországban, Olaszországban és Ausztriában.



■ Az európai atomerőművek, és az egyes országokban az energiaellátásban betöltött szerepük

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Számítsuk át saját testtömegünket kilogrammból joule-ba, vagyis határozzuk meg, hogy testtömegünk hány joule energiával egyenértékű!
2. Milyen érveket tudunk felhozni az atomenergia hasznosítása, illetve elutasítása mellett?
3. A paksi reaktorok 1470 MW hőteljesítményűek, és leállás nélkül 8000 órán keresztül (ami majdnem egy év) üzemelnek folyamatosan. Számítsuk ki, hogy egy reaktorban ennyi idő alatt összesen mekkora lesz a tömeghiány!
4. Nézzünk utána, hogy Európában hol működik olyan kutatóintézet, amelyben a fúziós reaktor megalkotásán dolgoznak!
5. Miért nevezik a Paksi Atomerőmű reaktorait nyomott vizes reaktornak? Add meg a reaktorban „üzem közben uralkodó” nyomásnak és a víz hőmérsékletének értékét!
6. Hány, egymástól teljesen elkülönített vízkör és hány hőcserélő „működik” a Paksi Atomerőmű egyes blokkjainál?
7. Ismertesd, melyik körben magas a radioaktivitása a víznek (ez milyen víz?), hogy jön létre a turbinákat meghajtó gőz (milyen vízből?), és hol használják a Duna vizét és mire!
8. Mit jelentenek ezek a fogalmak: kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék; nagy aktivitású hulladék? Hány Bq/kg ezeknek az alsó és felső határértéke?

NE FELEDD!

Albert Einstein 1905-ben állította fel a híres $E = mc^2$ egyenletét, ami a tömeg és az energia egyenértékűségét fejezi ki.

Az atommagok tömege kisebb, mint az alkotórészei (a protonok és a neutronok) együttes tömege. A tömegkülönbség a tömeghiány, ami az Einstein-képlet alapján megadja az atommagok kötési energiáját.

Az atomreaktorokban legtöbbször urán fűtőelemeket használnak. Az urán-235-ös atommagok hasadnak kisebb részekre, a hasadási termékek stabilabbak az uránnál, vagyis erősebben kötöttek, nagyobb tömeghiány lép fel, ezért a folyamat energiafelszabadulással jár. Röviden ezt úgy is megfogalmazhatjuk, hogy a tömeg energiává alakul.

Az atomerőművek a hőerőművekhez hasonlóan működnek, azonban a termikus energiát nem fosszilis tüzelőanyagok elégetésével, hanem atommaghasadással állítják elő. A Föld országainak olyan hatalmas az energiaigénye, hogy az emberiség még hosszú ideig rákényszerül az atomenergia hasznosítására. Sokan abban reménykednek, hogy fél évszázad múlva sikerül majd fúziós erőműveket üzembe helyezni, melyek gyakorlatilag korlátlan mennyiségben lesznek képesek energiát előállítani, miközben igen csekély radioaktív szennyezést okoznak.

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Miért alkalmas kiválóan a víz a gyors neutronok lelassítására?
- Mennyi egy reaktor hőteljesítménye, és mennyi a reaktor után működő generátorok összteljesítménye? Hány százalékos az elektromos energiatermelést tekintve a Paksi Atomerőmű hatásfoka?
- Hogyan érik el majd a negyedik generációs reaktorokban a nagyobb hatásfokot?
- Számítsd ki, hogy hányszor nagyobb a nukleáris energia fajlagos energia-sűrűsége az ^{235}U -ös uránizotópban (legyen az egység: MJ/kg), mint a kémiai kötések tartalmazó szerves vegyületekben (kőszén, gázolaj stb.)!
- Hány tonna jó minőségű mecseki kőszén (égéshője 28 MJ/kg) elégetésekor szabadul fel ugyanannyi energia, mint 1 gramm 235-ös urán teljes tömegének átalakulása során?
- Egy urán-235-ös mag hasadásakor felszabaduló energia $3,24 \cdot 10^{-11}$ J. Számítsd ki, hogy 1 kg mennyiségű urán-235-ös izotóp teljes „átalakulása” során mennyi energia szabadul fel! (A számítás során a lánelemek bomlási hőjétől tekintsünk el.)
- Egyetlen atomnyi ^{235}U bomlása során felszabaduló energia $3,24 \cdot 10^{-11}$ J. Számítsd ki, hogy a $3,24 \cdot 10^{-11}$ J energia hány MeV, hány TJ/kg és hány TJ/mol! Nézz utána a mértékegységek közti átváltásnak!
- A Mecsek nyugati részén (Kővágószőlős, Boda, Bakonya, Hetvehely) bányászott kőzetnek, hosszú évek átlagában az urántartalma 0,1% volt. Úgy 42 év alatt összesen 47 Mt kőzetet bányásztak ki. A természetes urán esetében a 238-as izotóp aránya 99,3%, míg a 235-ös izotóp aránya 0,7%.
 - Hány gramm 235-ös izotópot lehetett kinyerni 1 tonna kibányászott ércből? Hány ppm koncentrációban volt a 235-ös izotóp átlagban a kőzetben?
 - Hány tonna 235-ös izotópot lehetett a 42 év alatt kitermelni kőzetből?



■ Atomerőmű irányítóterme

21. | Energiagondok

Emberek és energia

Az emberi társadalmak létrejöttékor nagyon kevés ember élt a Földön, és ezek az emberek meglehetősen kevés energiát fogyasztottak. A következő táblázat azt mutatja, hogyan változott az egy főre eső napi energiafogyasztásunk a különböző társadalmakban.

A vadásztársadalmakban az emberek és a velük élő állatok egy főre eső napi fogyasztása a becslések szerint 8,4 MJ (megajoule) volt. Ennek az értéke a legfejlettebb társadalmakban 42 MJ/fő/nap értékre, vagyis ötszörösére növekedett, ami nem egészen jelenti azt, hogy az ételeinkben ötször annyi energiát (kalóriát) fogyasztunk, hanem sokkal inkább azt, hogy a legfejlettebb társadalmakban az élelmiszerek elkészítése és tárolása energiaigényessé vált.

A mai energiafogyasztásunk döntő hányadát a háztartások, az ipar, a mezőgazdaság, a kereskedelem, a szállítás, a hírközlés üzemeltetése igényli, ezért növekedett az információs társadalmakban az energiafogyasztás egy főre vetítve a 120-szorosára. Figyelembe kell vennünk azt is, hogy az elmúlt tízezer év alatt a Föld népessége hozzávetőlegesen ezerszeresére növekedett (ma már 7 milliárdnál is több ember él a Földön). A Föld népességéből legfeljebb egymilliárd ember él a legfejlettebb, leggazdagabb társadalmakban, azonban mindenki így szeretne élni. Mára már teljesen nyilvánvalóvá vált, hogy a Föld nem rendelkezik jelenleg annyi hasznosítható energiával, amennyi lehetővé tenné, hogy mindenki olyan kényelmesen éljen, mint mondjuk a leggazdagabb egymilliárd.

Energiafogyasztás és civilizáció

Egység: MJ/fő/nap (4,2 MJ = 1000 Kal)	Élelem (ember + állatok)	Háztartás, kereskedelem	Ipar, mezőgazdaság	Szállítás, híradás	Viszonylagos növekedés
Vadásztársadalom (Kr. e. 8000)	8,4				1
Földművelő társadalom (Kr. e. 3000)	13	8			2,5
Középkor (XV–XVI sz.)	25	50	29	4	13
Ipari társadalom (Anglia, 1900)	29	134	100	59	38
Információs társadalom (USA, XXI. sz.)	42	293	381	297	120

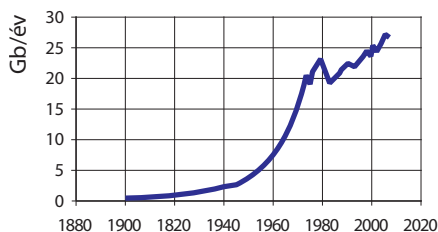
Hasznosítható energia: megújuló és nem megújuló energiaforrások

Az előzőekben nagyon sokat tanultunk az energiáról. A tömeg-energia egyenértékűség ($E = mc^2$) alapján könnyen beláthatjuk, hogy a környezetünkben lévő tömeg önmagában olyan sok energiát jelent, ami szinte felfoghatatlan. Néhány kilogrammnyi tömeg fedezni tudná egy-egy ország évi teljes energiaigényét. Miért beszélnek akkor arról, hogy a Föld energiaforrásai szűkösek? A válasz az, hogy jelenlegi tudásunk szintjén csak atomerőművekben vagyunk képesek a tömeget (az urán-235 atommagját) úgy átalakítani, hogy végül is a tömeghiányból elektromos energiát nyerjünk.

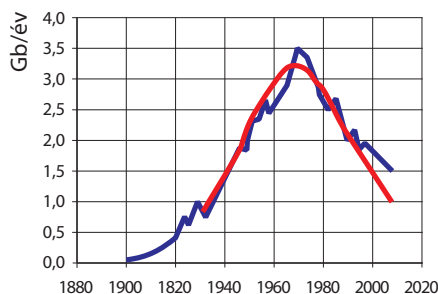
Az 1970-es évek elején Ausztria három atomerőmű megépítésével számolt, hogy az ország egyre növekvő energiaigényét kielégítse. Ezek közül az első Alsó-Ausztriában, a Duna partján fekvő Zwentendorfban épült fel 1978-ra. Az építkezés közben egyre erősödött az atomenergia felhasználását ellenzők hangja, akik végül elérték, hogy népszavazás döntsön az atomerőmű sorsáról. A népszavazáson szűk többséggel elutasították az elkészült atomerőmű beindítását. 1978. december 13-án az osztrák parlament alkotmányba foglalta az atomerőművek építésének és beüzemelésének tilalmát. 2009 óta az erőmű tetejére helyezett 1000 napelemtábla segítségével az erőmű mégis termel elektromos energiát, igaz ugyan, hogy az eredeti tervekhez képest évente 30 ezerszer kevesebbet állít elő.



■ A zwentendorfi atomerőmű, melyet megépítése után nem indítottak be

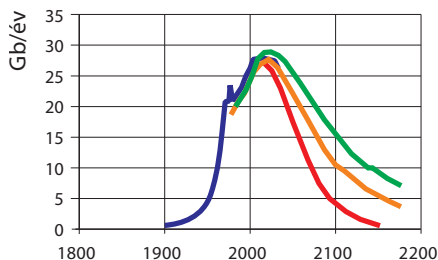


■ A világ kőolajtermelésének növekedése 1900 és 2008 között



— tényleges termelés
— prognosztizált termelés

■ Az Egyesült Államok 48 államának teljes kőolajtermelése



— tényleges termelés
— prognózis $Q_t = 2720$ Gb-re
— prognózis $Q_t = 3730$ Gb-re
— prognózis $Q_t = 5550$ Gb-re

■ A világ kőolajtermelésének várható alakulása

A csernobili és a fukusimai atomerőmű-balesetek olyan erős félelmet keltek nagyon sok emberben, hogy jelenleg a világ meglehetősen atomerőmű-ellenes, csak kevés ország vág bele újabb atomerőmű építésébe vagy a meglévő erőműveinek újabb reaktorblokkokkal történő bővítésébe.

Hiába jelent tehát a testek tömege rengeteg energiát, és van a tengerek vizében hatalmas mennyiségű termikus energia, ezeket nem tekinthetjük energiaforrásoknak. Az energiaforrásokat így határozhatjuk meg: *energiaforrásoknak a természet olyan anyagi rendszereit tekintjük, melyekből technikailag hasznosítható energia*

nyerhető, az adott társadalmi, politikai, műszaki fejlettségi körülmények között gazdaságosan. 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 észszerű mértéke mellett megújuló energiaforrás a fa vagy a biomassza is, azonban ezek túlzottan nagymértékű felhasználása ökológiai katasztrófához, például sivatagosodáshoz vezethet.

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 újrainyitását).

Mikor fog el a kőolaj?

A Föld teljes kőolajtermelése 2008-ban 26,9 Gb/év (gigahordó/év) volt. Ebben a furcsa mértékegységben $G = 10^9$ = milliárdot jelent, b pedig az angol barrel (hordó) szó rövidítése, mert a kőolajat világszerte hordóban mérik. Egy hordó kőolaj tömege nagyjából 137-140 kg, a pontos érték a kitermelt olaj sűrűségétől függ, amely – a kitermelés helyétől függően – kis mértékben változhat. Ha ábrázoljuk a világ éves kőolajtermelését az elmúlt száz évben, akkor a balra látható grafikont kapjuk.

A folyamatosan növekvő termelés egyedül az 1979-es iráni–amerikai-konfliktust követő olajválság után esett vissza néhány évre, és azóta jól látható módon a növekedés üteme lassúbb, mint az olajválság előtti időkben.

Az átlagembert persze az az egyszerű kérdés érdekli, hogy még hány évre elegendők a készletek. Ha a jelenlegi kőolaj- és földgázfelhasználást állandónak tételezzük fel a jövőben is, akkor kőolajból még nagyjából 50 évre, földgázból pedig 60 évre elegendő készleteink vannak. Természetesen ezek a számok nagyon bizonytalanok, hiszen meglehetősen bizonytalanok a becsléseink arról, hogy összesen mennyi gazdaságosan kitermelhető kőolaj és földgáz van a földben. Az 1970-es években a szakértők azt jósolták,

A világ energiahordozóinak felhasználás szerinti megoszlása jelenleg

Energiahordozó	%
kőolaj	37,3
szén	25,3
földgáz	23,3
nukleáris energia	5,7
biomassza	3,8
víz erőművek	3,2
termikus napenergia	0,5
szélenergia	0,3
geotermikus energia	0,2
bioüzemanyag	0,2



■ Kőolaj-kitermelés Azerbajdzsánban

hogy 2000-re már elfogy a kőolaj. A mostani előrejelzés ezt az időpontot sokkal későbbre teszi, viszont egy emberélet nem olyan hosszú idő, hogy ölbe tett kézzel várakozzunk, és ne készüljünk fel a kőolaj és földgáz utáni világra. Annyi szerencsénk azért van, hogy a kőszénkészletek még nagyjából kétszáz évre elegendőek.

Érdeemes áttekintenünk azt is, hogy jelenleg hogyan oszlik meg a világ energiahordozóinak megoszlása a felhasználás szerint (lásd a táblázatot).

Jól láthatjuk, hogy mennyire döntő a fosszilisenergia-források felhasználása, hiszen ha összeadjuk a kőolaj, a szén és a földgáz százalékos járulékait, akkor megállapíthatjuk, hogy ezek adják a felhasználás 85%-át. És ezek az energiaforrások a viszonylag közeli jövőben kimerülnek, vagyis addig megoldást kell találni az emberiség energiaigényének más módon történő kielégítésére. A jelenlegi technológiai lehetőségek mellett világosan látszik, hogy bár igen fontos a megújuló energiaforrások kihasználásának fejlesztése, még hosszú időn keresztül az emberiség rászorul a nukleáris energia felhasználására. Nem az a megoldás, hogy nem építünk atomerőműveket, és közben bezárjuk a régiakat, 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.

Fenntartható fejlődés?

A **fenntartható fejlődés** olyan fejlődési folyamat (földeké, városoké, társadalmaké stb.), ami „*olyan fejlődést jelent, mely úgy biztosítja a jelen szükségleteinek a kielégítését, hogy az nem károsítja a jövő generációk igényeinek a kielégítését*”. Ez a meghatározás 1987-ből származik, amikor az ENSZ égőve alatt működő Környezet és Fejlődés Bizottság, más néven a **Brundtland**-bizottság közzétette a jelentését (Gro Harlem Brundtland Norvégia első és máig egyetlen női miniszterelnöke volt, aki háromszor töltötte be ezt a tisztséget). A bizottság által kidolgozott „Közös jövőnk” program értelmében a fenntarthatósághoz hozzátartozik a környezet elhasználódása elleni küzdelem, amit úgy kell véghezvinni, hogy közben ne mondjunk le sem a gazdasági fejlődés, sem a társadalmi egyenlőség és igazságosság igényeiről.

Tőled függ!

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, CO₂ – sem. A környezetvédelem mindannyiunk közös feladata. Az első, amit tehetünk a személyes életünkben megvalósított energiatakarékosság, a szükségtelen energiafogyasztás elkerülése. A tudományos kutatások részben arra törekcsenek, hogy a meglévő környezetbarát ener-

giaforrásokat – például a napelemeket – növekvő hatásokkal 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.

Környezetbarát gépkocsik

HIBRID AUTÓK *(Olvasmány)*

Az utóbbi egy-két évtizedben megjelentek az úgynevezett hibrid autók. Ezekben a belső égésű motor mellett legalább egy, időnként két villanymotor is található. A hibrid szó jelentése a biológiában: különböző fajtájú egyedek keresztezéséből keletkezett. A hibrid autó a belső égésű motorral és a villanymotorral rendelkező autók keresztezéséből



■ A BMW hibrid sportautója. Keress adatokat az interneten a nagy gyártók által forgalmazott hibrid autókról, hasonlítsd össze azokat a megjelenés és műszaki paraméterek alapján.

származó járműnek fogható fel. A hibrid autók fogyasztása sokkal kisebb, mint a hasonló teljesítményű hagyományos gépkocsiké. Ezt leginkább azzal érik el, hogy a belső égésű motorok kedvező teljesítményüket nagy fordulatszámon tudják leadni, míg a villanymotorok éppen fordítva: alacsony fordulatszámon kedvező a fogyasztásuk, miközben nagy a teljesítményük. Ezért induláskor, illetve a városi forgalomban, különösen dugók esetén a hibrid autóknak csak a villanymotorjuk dolgozik, a belső égésű motor áll, tehát ilyenkor egyáltalán nincs károsanyag-kibocsátás. Ennek megvalósításához nagy teljesítményű, nagy kapacitású akkumulátorokra van szükség.



■ Hibrid autó motortere

Teljesen elektromos autók

A hibrid autók mellett egyre több kizárólag elektromos meghajtású autót is látunk az utakon. Az elektromos motorral futó autó gyakorlatilag nem bocsát ki káros anyagot a levegőbe és kevéssé járul hozzá a zajszennyezéshez. A mai modellek nagyjából 300 km-t tesznek meg egy feltöltéssel. Ha azt szeretnénk megítélni mennyire környezetbarát egy ilyen autó számításba kell venni azt is, milyen technológiával állították elő az autó által felhasznált elektromos energiát.



■ Elektromos autó töltése



■ A Tesla teljesen elektromos modellje

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Becsüljük meg, hogy egy hónap alatt a családnk mennyi energiát fogyaszt (élelmiszerek, villany, gáz, gépkocsi-üzemanyag stb.)!
2. Személy szerint mit tudunk tenni annak érdekében, hogy javítsuk a fenntarthatóságot a környezetünkben?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Értelmezd a fenntartható fejlődés fogalmát! Miért nem lehet fenntarthatóságról beszélni olyan helyzetben, ha egy gazdaság a forrásai kimerítésének időtartamához képest sokkal hosszabb időtartamra ígér energetikai és gazdasági bővülést, fejlődést?
2. Nézz utána, hogy mit jelentenek ezek a fogalmak: olajhozamcsúcs (peak-oil), ökológiai lábnyom, ökológiai vízlábnyom, Moore-törvény, technológiai szingularitás, túlnépesedés!



NE FELEDD!

A minket körülvevő tárgyokban, anyagokban hatalmas mennyiségű energia van, ugyanakkor az ember számára hasznosítható energiaforrások mennyisége az emberiség nagy száma miatt kezd igencsak szűkössé válni.

A fenntartható fejlődés olyan fejlődést jelent, mely úgy biztosítja a jelen szükségleteinek a kielégítését, hogy az nem károsítja a jövő generációk igényeinek kielégítését.



A fosszilis energiaforrások közül a kőolaj és a földgáz ennek az évszázadnak a végére várhatóan elfogy, míg a kőszénkészletek a következő évszázad végéig remélhetőleg kitartanak. Ez azt jelenti, hogy égetővé vált a világ energiafogyasztási szerkezetének jelentős megváltoztatása. A lehetőségeket mérlegelve világosan látszik, hogy egyelőre semmiképpen nem mondhatunk le az atomenergia hasznosításáról.

*Hogyan haladhat
a vonat kanyarban,
ha nincs is kormányja?*



*Miért loboq
a zászló!*



*Hogyan mérünk időt?
Hogyan működnek óráink?*



IV. ISMÉTLŐDŐ MOZGÁSOK

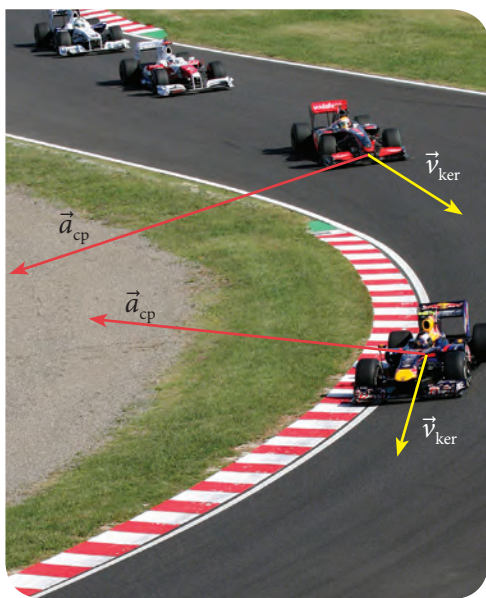


Foucault-inga fényes

rézgömbje látható a képen. Figyeljük meg, hogy a gömb domború tükörként viselkedve lényegében három egymástól elkülönült képet hoz létre. Állapítsuk meg, hogy mit ábrázolnak ezek a képek! Vajon mi okozza a képeken látható torzulást? Mi a magyarázata annak, hogy a három kép ennyire jól szétválik egymástól?

22. | Vigyázz, kanyar!

Amikor Dávid a parittyakövet forgatta, a parittyá zsinórjával maga felé húzta a követ. Amikor a kalapácsvető forgatja a súlyt, még jobban látjuk, hogy nagy erővel húzza a golyót a pálya középpontja felé. Ha körhintán ülünk, akkor a ferdén álló lánc egyrészt felemel minket, másrészt el is forgat, húz a középpont felé. De mibe kapaszkodik a repülő, amikor kanyarodik?



■ Járj utána, hány kanyar van a mogyoródi Forma-1-es pályán!

Hallottál róla?

A gépkocsik műszerfalán gyakran leolvasható mondjuk a 3000-es fordulatszám. Mit jelent ez? Általában kis betűkkel még ezt a mértékegységet találjuk a fordulatszám-mérő műszeren: rpm, RPM, r/min vagy $r \cdot \text{min}^{-1}$. Ez a percenkénti fordulatszámot jelenti, hiszen az rpm a „revolutions per minute” angol kifejezés rövidítése.

A Formula-1-es versenypálya leglátványosabb szakasza a kanyar. Az aszfalton jól látható az autók keréknyoma, ami szinte pontosan kirajzolja a versenyzők pályáját. **A testek sebessége mindig a pálya érintőjének irányába mutat.** (Egyenesek érintője önmaga, a megállapítás így nemcsak a pálya görbült, hanem egyenes szakaszára is igaz.) Általában van olyan (viszonylag rövid) szakasz a Formula-1-es pályák kanyarjaiban, amikor a versenyzők egyenletes körmozgást végeznek. Ilyenkor a sebesség nagysága állandó, de iránya folyamatosan változik, és a pálya körív.

Kerületi sebesség

Körmozgás esetén a test sebességét **kerületi sebességnek** nevezzük. Jele: v_{ker}

Állandó nagyságú sebesség esetén: $v_{\text{ker}} = \frac{\text{befutott körív hossza}}{\text{eltelt idő}} = \frac{i}{t}$

A körmozgást végző test sebességének nagysága lehet változó vagy állandó, azonban az iránya pillanatról pillanatra folyamatosan változik. Ezért biztosak lehetünk abban, hogy időben változik a test sebességvektora, tehát **a körmozgást végző testnek van gyorsulása:**

$$\Delta \vec{v} \neq 0 \Rightarrow \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \neq 0 \Rightarrow \vec{a} \neq 0$$

Megmutatható, hogy az egyenletes körmozgást végző tömegpont gyorsulása a körpálya középpontja felé mutat, és ezért a neve **centripetális gyorsulás** (a latin eredetű szó jelentése: centri = középpont, peta = tart valami felé). A nagyságát a következő módon számíthatjuk ki:

$$a_{\text{cp}} = \frac{v_{\text{ker}}^2}{R}$$

ahol v_{ker} a kerületi sebesség, R pedig a körpálya sugara. Ez azt jelenti, hogy adott sugarú körpályán egyenletesen mozogva a gyorsulás a sebesség négyzetével egyenesen arányos.

Az egyenletes körmozgás jellemzői

Vizsgáljuk meg, hogy a kerületi sebéségen kívül még milyen jellemzői vannak az egyenletes körmozgásnak!

A **pályasugár** annak a körnek a sugara, amely mentén a körmozgás történik. Jele: R , mértékegysége méter (m).

A **periódusidő** vagy körülfordulási idő egy teljes kör megtételéhez szükséges idő. Jele: T , mértékegysége: másodperc (s).

A **fordulatszám** számértéke az időegység alatt megtett fordulatok számát adja meg. Jele: f , mértékegysége 1/s.

A periódusidő és a fordulatszám közötti kapcsolat: $T = \frac{1}{f}$

A tömegpont által a megfigyelés ideje alatt befutott körív (i) és a pályasugár (R) hányadosa adja az i körívhez tartozó középponti szöget ívmértékben (radiánban), amit **szögelfordulás**nak nevezünk: $\alpha = \frac{i}{R}$. 1 radián az a középponti szög, amelyhez tartozó ív egyenlő a sugárral. A teljes szög 2π radián. Ennek megfelelően $180^\circ = \pi$ (rad), $90^\circ = \pi/2$ (rad), $60^\circ = \pi/3$ (rad), $45^\circ = \pi/4$ (rad), $30^\circ = \pi/6$ (rad). Az ívmértékben megadott szög megmutatja, hogy a körcikket határoló körív hányszor hosszabb a sugárnál. Tulajdonképpen egy arányszám, ezért fizikai mértékegységet nem rendelünk hozzá. Ha az α szög 0,2 radián, akkor azt írjuk: $\alpha = 0,2$.

A **szögsebesség** számértéke az egységnyi idő alatti szögelfordulást adja meg.

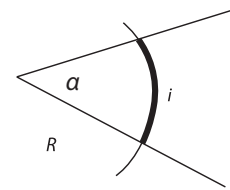
$$\text{Szögsebesség} = \frac{\text{szögelfordulás}}{\text{idő}} = \omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} \quad \text{Jele: } \omega, \text{ mértékegysége } 1/\text{s}.$$

Egyenletes körmozgás esetén a fenti definíciókat egy teljes körre vonatkoztatva:

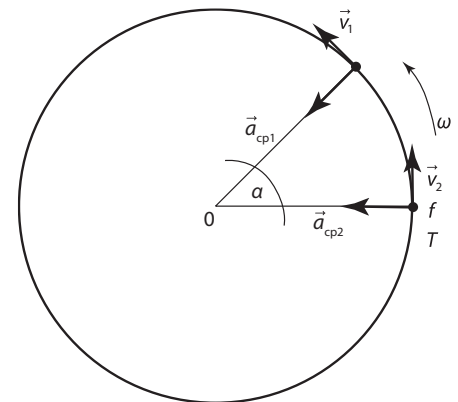
$$v_{\text{ker}} = \frac{2R\pi}{T} = 2R\pi f \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

A fenti két sort összehasonlítva: $v_{\text{ker}} = \omega R$

Ezek után a centripetális gyorsulás: $a_{\text{cp}} = \frac{v_{\text{ker}}^2}{R} = \omega^2 R = \omega \cdot v_{\text{ker}}$



■ 1 radián hány fok? 1 fok hány radián?



■ Az egyenletes körmozgás kinematikai jellemzői

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: A körhintán ülő gyermek percnként 10 fordulót tesz meg a 12 méter átmérőjű körpályán. Mekkora a gyermek

- fordulatszám, a
- periódusideje, b
- szögsebessége, c
- sebessége, d
- gyorsulása? e



■ Láncos körhinta

Megoldás: A körhintán ülő gyermek mozgása közelíthető egyenletes körmozgással.

a) A fordulatszámot (vagy más néven a frekvenciát) a megtett fordulatok száma és az eltelt idő hányadosaként kapjuk meg:

$$f = \frac{\text{fordulatok száma}}{\text{eltelt idő}} = \frac{10}{60 \text{ s}} = \frac{1}{6} \approx 0,17 \text{ Hz}$$

b) Az egyenletes körmozgás periódusideje (keringési ideje) egy teljes kör megtételéhez szükséges időtartam, a frekvencia reciproka:

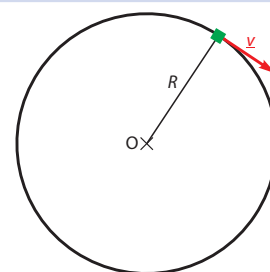
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{1}{6} \text{ s}} = 6 \text{ s}$$

c) A szögsebesség számértéke az időegység alatt megtett (radiánban mért) szögelfordulást adja:

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{6 \text{ s}} \approx 1,05 \frac{1}{\text{s}}$$

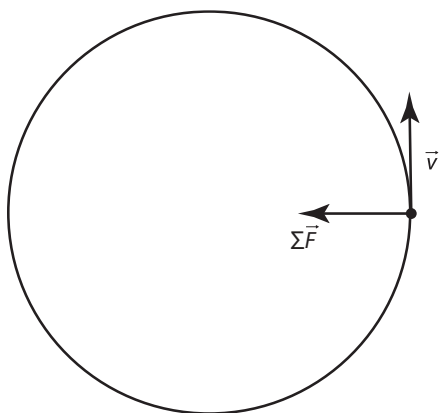
d) Az egyenletes körmozgást végző test sebessége mindig érintőirányú, nagysága állandó:

$$v_{\text{ker}} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r \cdot f = \omega \cdot r = 1,05 \frac{1}{\text{s}} \cdot 6 \text{ m} = 6,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



e) Az egyenletes körmozgás kerületi sebességének iránya minden pillanatban változik, ezért felelős a centripetális gyorsulás, ami a kör középpontja felé mutat:

$$a_{\text{cp}} = \frac{v_k^2}{R} = \omega^2 \cdot R = v_k \cdot \omega = 6,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,05 \frac{1}{\text{s}} \approx 6,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



■ Milyen mozgást végezne a test, ha a rá ható erők megszűnnének?

NE HIBÁZZ!

Van olyan tankönyv, amelyben az egyenletes körmozgást végző testre ható erők eredőjét ($\Sigma \vec{F}$ -et) centripetális erőnek (\vec{F}_{cp}) nevezik. Eszerint az egyenletes körmozgás dinamikai feltétele $\vec{F}_{cp} = m \cdot \vec{a}_{cp}$. A centripetális erő (\vec{F}_{cp}) kifejezés használata nem javasolt, mert sokakat megtéveszt, azt hiszik, hogy ez egy önálló erő.

Ezekből a képletekből ilyen megállapításokat tudunk kiolvasni:

- Ha különböző sugarú körmozgások kerületi sebessége megegyezik, akkor a centripetális gyorsulás fordítottan arányos a sugárral.
- Ha különböző sugarú körmozgások szögsebessége megegyezik, akkor a centripetális gyorsulás egyenesen arányos a sugárral.
- Ha adott a szögsebesség is, a kerületi sebesség is, akkor a centripetális gyorsulás nem függhet a sugártól, hiszen ez a két mennyiség egyértelműen meghatározza a pályasugarat is.

Az egyenletes körmozgás dinamikai feltétele

A dinamika alapegyenlete $\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}$ alapján megfogalmazhatjuk az egyenletes körmozgás dinamikai feltételét. Egy test egyenletes körmozgást végez, ha a rá ható erők eredője állandó nagyságú és a kör középpontja felé mutat:

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}_{cp}$$



SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Az autó abroncsa és az aszfalt között a tapadási súrlódási együttható értéke 0,8. Mekkora legnagyobb sebességgel haladhat biztonságosan egy autó a 125 méter sugarú, vízszintes kanyarban?

Megoldás: Fügőleges irányban nem gyorsul a test, ezért a függőleges irányú erők vektori összege nulla: $F_{ny} = mg$

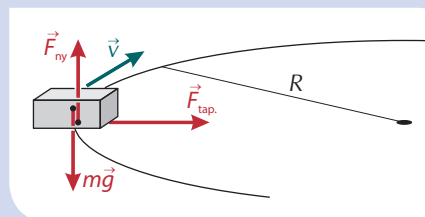
Vízszintes síkban egyenletes körmozgást végez a test. Ennek dinamikai feltétele:

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}_{cp}$$

Vízszintes irányban az egyetlen erő a tapadási súrlódás, ez szolgáltatja az eredő erőt: $F_{tap} = m \frac{v^2}{R}$

Használjuk fel, hogy $F_{tap} \leq F_{tap,max} = \mu_0 F_{ny}$

$$m \frac{v^2}{R} \leq \mu_0 mg \Rightarrow v \leq \sqrt{\mu_0 g R} = 31,3 \frac{m}{s} = 113 \frac{km}{h}$$



NE FELEDD!

Az egyenes körmozgást leíró fogalmak: pályasugár, periódusidő, fordulatszám, szögelfordulás, szögsebesség, kerületi sebesség, centripetális gyorsulás.

$$v_{\text{ker}} = \frac{2R\pi}{T} = 2R\pi f, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \quad v_{\text{ker}} = \omega R$$

A centripetális gyorsulás a körpálya középpontja felé mutat.

$$a_{\text{cp}} = \frac{v_{\text{ker}}^2}{R} = \omega^2 R = \omega \cdot v_{\text{ker}}$$

Az egyenes körmozgás dinamikai feltétele: $\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}_{\text{cp}}$

Tőled függ!

A legtöbb közlekedési baleset előzéskor, illetve kanyarban történik.

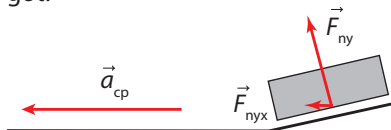
Nagyon fontos, hogy a kanyarba a megengedett vagy a közlekedési viszonyoknak megfelelő sebességgel érkezzen a járművünk.

Odafigyeléssel növelhető közlekedésünk biztonsága.

Hallottál róla?

Növelhető a kanyarban a jármű sebessége, ha az út külső szélét a belsőhöz képest megemelik. Így az autóra a talaj által kifejtett F_{ny} nyomóerőnek lesz vízszintes komponense (F_{nyx}), ami részben biztosítja az egyenes körmozgáshoz szükséges centripetális gyorsulást. (Természetesen ebbe a tapadási súrlódási erő is besegíthet.)

Autópályakerős kanyarjaiban, serpentineknél szívesen használják ezt a módszert, növeli a biztonságot.



A mozdony műszerfalán nincs kormány. Hogyan lehetséges mégis a vonatok kanyarodása?

A vonatkeréken van egy belső perem, amelyre a kanyarban a külső sínszál nyomóerőt fejt ki. Ez az erő biztosítja a kanyarodáshoz szükséges centripetális gyorsulást. A külső sínszál megemelésével ez a nyomóerő csökkenthető.

**EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK**

1. A kerékpáros-körpálya döntött, azaz sugár irányban kifelé emelkedik. Szerinted miért?



2. Vajon miért fárad el a Formula-1-es pilótának különösen a nyaka a versenyés során?

3. Az alábbi szavakkal egészítsd ki a füzetedben a következő mondatokat:
nagyobb, kisebb

- Éles kanyarok külső ívét azért emelik meg, hogy * sebességgel is biztonságosan haladhasson rajta az autó.
- * sugarú kanyarban * sebességgel haladhat az autó biztonságosan.
- Csúszós úton, kanyarban * sebességgel haladhat az autó biztonságosan.

4. Mekkora az Északi-sarkon, illetve az Egyenlítőn álló tárgyak kerületi sebessége? A Föld sugarát tekintsd 6370 km-nek.

5. Mekkora a nagy- és a kismutatató szögsebességeinek aránya egy hagyományos „mutató” órában?

6. Egy traktor egyenesen halad az egyenes úton. Hátsó kerekének átmérője kétszer akkora, mint az első. Add meg a két kerék

- szélső pontjához tartozó kerületi sebességeinek,
- szögsebességeinek és
- fordulatszámainak arányát!

7. A vidámparkban az óriáskerék gondolája egyenes körmozgást végez. Merre mutat az utasra ható erők eredője? A pálya melyik részén van a gondola, amikor az utas súlya a legnagyobb, illetve amikor a legkisebb?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A kalapácsvetés során a kalapács feje kb. 1,5 méter sugarú körpályán gyorsul fel. A sportoló másodpercenként 3 fordulatot tesz meg az elhajítás előtt.

Mekkora sebességgel kezdi meg röppályáját a kalapács?



2. Déli 12 óra után mikor éri utol először a hagyományos „mutató” óra nagymutatója a kismutatót? És másodszor?

3. Egy kerékpár 20 km/h sebességgel egyenletesen halad az egyenes úton. Kerekének átmérője 63 cm. Mekkora a kerék

a) alsó pontjának,

b) tengelyének,

c) felső pontjának

a sebessége a talajhoz viszonyítva?

4. A Hungaroringen a legkisebb ívsugár 20 méter, míg a legnagyobb 400 méter. Mekkora legnagyobb sebességgel szabad a kanyarokba érkeznie a versenyautónak, ha az abroncs és a pálya közötti tapadási súrlódás olyan nagy, hogy a gépkocsi gyorsulása akár 3 g is lehet? (Vegyük figyelembe, hogy a Formula-1-es autók maximális sebessége 370 km/h.)

5. Vannak olyan országutak, amelyek dimbes-dombos vidéken vezetnek át. Az egyik ilyen dombtetőt sikerült úgy megközelíteni egy 100 km/h sebességgel haladó autóval, hogy a tetőpont közelében egy rövid ideig a súlytalanság állapotát éreztük. Mekkora sugarú körpályával helyettesíthető az országút a tetőpont környezetében?

Pályakép



Név: **PETRA**

Végzettség:
színész

Jelenlegi beosztás:
szabadúszó színész

Felvételi tárgyak:
egyedi elbírálású, teljesítmény-
alapú

Sziasztok!

Világéletemben az irodalom, a zene, és legfőképp a színház érdekelt igazán, be voltam oltva minden reál tantárgy ellen, és nagy küzdelmekként élnek bennem a középiskolai matematika- és fizikaórák.

Türelmes és lelkes tanárainknak köszönhetően azért sikerült zöld ágra vergődnöm velük, de igazán azokat az órákat élveztem, ahol valamilyen szemléltető kísérleten át sikerült közelebb kerülnöm egy fizikai jelenséghez, kézzelfoghatóvá és közelivé vált a fizika, ami a mindennapi életben körülvesz bennünket.

Most pedig már öröm és büszkeség számomra, hogy tízéves kis barátommal hazafelé a Csodák Palotájából lelkesen próbáljuk

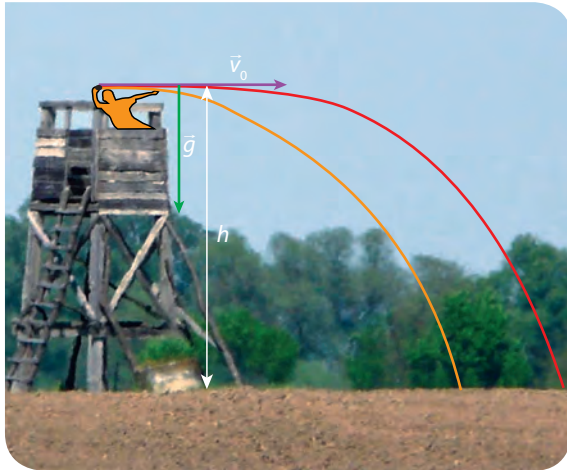
együtt megfejteni, hogy mit is csinál végül is ez a Tesla-transzformátor, vagy hogyan lehet hangot kilőni egy csőből.

Végül úgy alakult az életem, hogy a munkám nem kötődik közvetlenül egzakt tudományokhoz, színész lett belőlem. De azért megnyugtató a gondolat, hogy értem a csigák működését akkor, amikor nyolc méter magasba húz fel egy ember egy kötélén, vagy tudom, hogy miért nem fogok kigyulladni egy kezemben tartott lángoló pohártól, esetleg bátran át merek ugrani egy üvegajtón is.

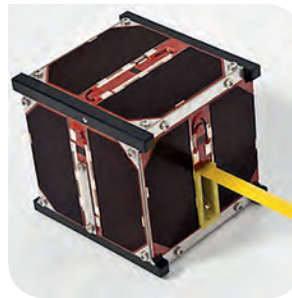
És lényegében a színész és a néző közötti kapcsolat is energiák találkozása, még ha nem is olyan módon, ahogyan a tankönyvekből tanultam...

23. | Műholdak (kiegészítő anyag)

Milyen messze esik le a vízszintesen elhajított test?



Vízszintes hajítás a magasból



A Masat-1

Mitől függ vajon, hogy a képen látható ember a vadászles h magasan lévő tejetéről milyen messze tud elhajítani egy kavicsot vízszintes kezdősebességgel? Ezt a mozgást nevezzük **vízszintes hajítás**nak.

A kavics v_0 kezdősebessége vízszintes irányú, a g nehézségi gyorsulás a nehézségi erő miatt függőleges. Ha a légellenállás elhanyagolható (a kavics nem nagyon gyors, nem nagyon kicsi), más erő nem hat a kavicsra az elengedést követően. A függőlegesen lefelé mutató nehézségi erő nem képes megváltoztatni a vízszintes irányú kezdősebességet.

A kavics függőlegesen a g nehézségi gyorsulással esik:

$$h = \frac{g}{2} t^2$$

Az esés ideje:

$$t_{\text{esés}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

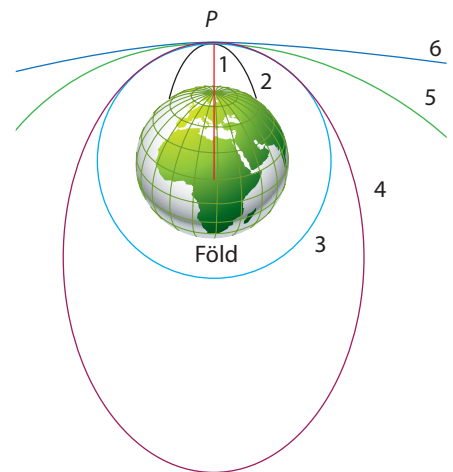
A vízszintes irányú sebesség-összetevő nem változik a hajítás során, ezért a vadászlestől való távolságot így számíthatjuk ki:

$$x = v_0 \cdot t_{\text{esés}} = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Adott h magasságból történő vízszintes hajítás során a hajítás x távolsága egyenesen arányos a kezdősebességgel.

Van már magyar műhold!

A Masat-1 az első teljesen magyar építésű műhold. Nevét a magyar és az angol satellite (műhold) szavakból képezték. A mintegy 1 kg tömegű, 10 cm élhosszú kocka formájú technológiai pikoműholdat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen fejlesztették. Magyar idő szerint 2012. február 13-án 11 órakor indították útnak több más kisebb-nagyobb műhold társaságában a francia guyanai Kourou melletti űrközpontból. A műholdon helyet kapott egy VGA-felbontású kamera is. A Masat-1 műhold 2015. január 9-én tért vissza, vagyis elégezt a Föld légkörében, így összesen 1061 napot töltött a Föld körül.



- Vizsgáljuk meg, milyen pályán mozognak a földfelszín felett vízszintesen elhajított testek a hajítási sebesség függvényében:
- 1: $v = 0$, egyenes
- 2: $v < v_{II}$, ellipszis, a Föld középpontja a távolabbi fókuszpont
- 3: $v = v_{II}$, kör (speciális ellipszis)
- 4: $v_I < v < v_{II}$, ellipszis, a Föld középpontja a közelebbi fókuszpont
- 5: $v = v_{II}$, parabola
- 6: $v > v_{II}$, hiperbola

MŰHOLDAK KÖRÜLÖTTÜNK (Olvasmány)

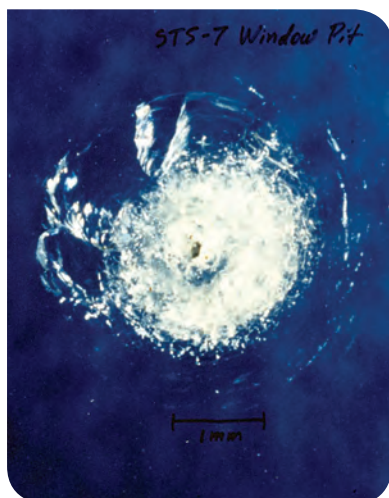
A II. világháborút követően a technika olyan nagymértékben fejlődött, hogy 200 km magassáig tudtak már hőmérsékletet és nyomást mérni rakéták segítségével. Az első eszköz (műhold), amit Föld körüli pályára állítottak, a Szputnyik-1 volt. A „szputnyik” szó jelentése útítárs, de talán helyesebb műholdnak fordítani (vagyis a Szputnyik-1 a „Műhold-1” nevű első

NE HIBÁZZ!

Gyakran lehet olvasni, hallani olyat, hogy egy űrhajó elhagyja a Föld vagy a Nap gravitációs terét. Ez igen pongyola megfogalmazás, hiszen semmilyen testnek, így a Föld gravitációs terének sincs határa, amit át lehetne lépni. Viszont kerülhet olyan messze a Földtől (Naptól), ahol már a Föld (Nap) vonzóereje kisebb, mint más égitesteké.

Hallottál róla?

Az elmúlt kb. 60 évben sikerült beszennyeznünk a világűrnek azt a részét, ahol az ember vagy az általa oda indított eszközök megfordultak. Mesterséges holdak, űrállomások, rakétafokozatok és egyéb mesterségesen odakerült tárgyak kisebb-nagyobb darabjai ellenőrizetlenül mozognak a világűrben. A többségük a Föld körül kering. Számuk megdöbbentően magas, több millióra becsülik. Az űrszemét számának rohamos növekedése veszélyezteti a még működő eszközök (műhold, űrállomás) épességét, hiszen a kisméretű, de nagy sebességű tárggyal való ütközés is komoly sérüléseket okozhat.



■ Az űrszemét által ütött sérülés a Challenger űrrepülőgép ablakán



■ A Nemzetközi Űrállomás. Hányan lakják jelenleg a Nemzetközi Űrállomást? Milyen nemzetiségűek? Volt-e már magyar látogató a Nemzetközi Űrállomáson?

műhold volt). A hidegháború idején, 1957-ben lőtték fel a Szovjetunióban. Nem csinált semmi más, mint folyamatosan bip-bip-bip jeleket sugárzott a Földre 20 MHz és 40 MHz frekvencián, amit szerte a világban észleltek még a rádióamatőrök is. Mégis, ez az alig több mint 80 kg tömegű űreszköz indította el az űrversenyt az Egyesült Államok és a Szovjetunió között.

Azóta több ezer műhold kering a Föld körül, sőt a Naprendszer más bolygója, holdja körül is keringenek műholdak. Természetesen a műholdak nem közvetlenül a felszín felett keringenek, hisz a légellenállás ezt nem teszi lehetővé. A Föld körül keringő műholdak távolsága a tengerszinttől legalább 200 km. A kozmikus sebesség következő oldalán szereplő képlet szerint a valóságos műholdakra érvényes körsebesség:

$$v_1 = \sqrt{\frac{fM}{R+h}} = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{6,37 \cdot 10^6 \text{ m} + 2 \cdot 10^5 \text{ m}}} = 7,785 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

A felszíntől távolodva egyre kisebb sebességgel kering a műhold, viszont összességében mégis több energia kell a magasabb pályára juttatáshoz.

A műholdak mai alkalmazása már igen sokrétű. A legelterjedtebb a távközlési műhold, aminek az információt hordozó rádió- és mikrohullámok fogadásában és továbbításában van szerepe. A távközlési műholdakat geoszinkron, illetve geostacionárius pályára állítják. Mindkét pályán a műholdak keringési ideje egy nap, vagyis együtt keringenek a Földdel.

A geoszinkron pálya az Egyenlítő síkjához képest döntött, és lehet kör- vagy ellipszispálya is. A geoszinkron körpályára állított műhold mindig ugyanazon a földrajzi hosszúságon látszik, melyen szabályosan északi-déli irányban mozog. Ellipszispálya esetén a geoszinkron műhold 8-as alakú vonalat rajzol minden nap az égre. A geostacionárius pálya az a speciális eset, amikor a műhold pályája az Egyenlítő síkjában fekszik, tehát nem döntött, és a pálya kör. Az ilyen pályán mozgó műhold teljesen együtt forog a Földdel, tehát állandóan az égnek ugyanabban a pontjában látjuk. (Az Egyenlítőnek van olyan pontja, ahonnan nézve az adott műhold mindig pontosan a zeniten áll.) Ezért lehetséges állandó helyzetben rögzített parabolaantennákkal venni ezeknek a műholdaknak a televíziós csatornáit. Az Egyenlítő menti országokban előfordul, hogy pontosan függőlegesre kell állítani a műholdas vételhez a parabolaantennákat.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Van-e olyan kezdősebesség, amellyel elhajtva a kavicsot, az nem esik le, hanem megkerülve a Földet visszatér a kiindulóponthoz? (A légkör hatását ne vegyük figyelembe, és tételezzük fel, hogy a kavics útjában nincs akadály.)

Megoldás: Vegyük észre, hogy figyelembe kell vennünk a Föld felszínének görbültségét. A Földet közelíthetjük $R = 6370$ km sugarú gömbbel. (A vadászles magassága a Föld R sugarára mellett elhanyagolható.)

Az elhajított kavics összetett mozgásának első másodpercét bontsuk két összetevőjére:

Először, mintha a g nehézségi gyorsulás nem hatna, a kavics a v_0 hajítás sebességével egyenletesen mozog $t = 1$ s-ig a kezdeti helyéhez húzott sugárra merőlegesen. Eközben megtesz $x = v_0 \cdot t$ utat. Ugyanezt a másodpercet újra megvizsgáljuk, de most nem vesszük figyelembe a hajítási kezdősebességet, hanem csak azt, hogy a kavics 1 s ideig szabadon esik a felszín felé $h = \frac{g}{2} t^2 = 4,9 \text{ m} \approx 5 \text{ m}$ úton, és így visszaér az eredeti magasságára. Ilyen másodpercekre lebontott összetett mozgások egymásutánjaiból tehető össze annak az elképzelt kavicsnak a

mozgása, amely a Földet megkerülve visszatér a hajítás kiindulási helyére.

A rajzon látható derékszögű háromszögre írjuk fel Pitagorasz tételét:

$$(R + h)^2 = R^2 + x^2$$

$$x = \sqrt{(R + h)^2 - R^2} = \sqrt{2Rh + h^2} \approx \approx \sqrt{2Rh} = \sqrt{2 \cdot 6,37 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot 4,9 \text{ m}} = 7900 \text{ m}$$

$$v_0 = \frac{x}{t} = \frac{7900 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 7900 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A legalább $7900 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7,9 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ vízszintes kezdősebességgel elhajított kavics megkerüli a Földet.

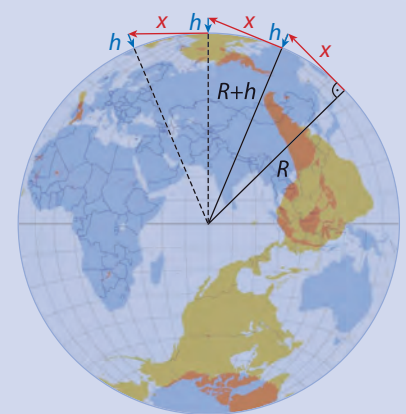
Ezt a sebességet **első kozmikus sebességnek** vagy **körsebességnek** nevezzük, amit így szoktunk jelölni: v_1 . Ezzel a sebességgel állítható Föld-körüli pályára egy test.

A v_1 első kozmikus sebesség értékének kiszámításához dinamikai úton is eljuthatunk:

Az m tömegű test R sugarú egyenletes körmozgást végez a Föld körül, melynek dinamikai feltétele:

$$\Sigma F = ma_{cp}$$

A centripetális gyorsulást biztosító erő gyakorlatilag az mg nehézségi



■ A Földet megkerülő kavics mozgása két egyenes szakasz egymás utáni ismétlődéséből rakható össze (a bejelölt szakaszok nem méretarányosak)

erő (ami jó közelítéssel megegyezik a gravitációs erővel):

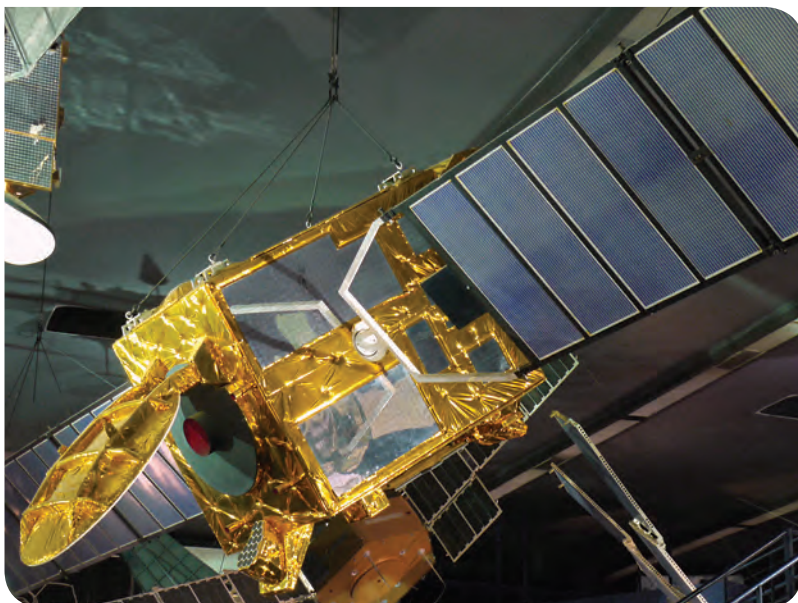
$$mg = m \frac{v^2}{R} \quad f \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$$

Az egyszerűsítések és rendezések után megkapjuk a körsebesség értékét:

$$v_1 = \sqrt{gR} \quad v_1 = \sqrt{\frac{fM}{R}}$$

Mindkét esetben a behelyettesítések ugyanazt a körsebességértéket eredményezik, mint a kinematikai megfontolások.

A Földön az első kozmikus sebesség értéke kb. 7,9 km/s.



■ Műhold a múzeumból

Hallottál róla?

Arthur Charles Clarke, talán a legismertebb angol sci-fi-író (ő írta a *2001: Űrodüsszeia* című regényt, amiből nagy sikerű film készült), 1945-ben vázolta fel a műholdak alkalmazásának lehetőségét a távközlésben. Az Egyenlítő felett 36 ezer km magasan helyezne el 3 műholdat. A Földdel szinkronban keringő műholdak egymással és a Földdel rádiójelekkel kommunikálnának. 1952-ben megjelent (*Islands in the Sky* című) regényének kamasz főhőse egy ilyen úrálomásra nyer jutalomutatót egy vetélkedőn.

1954-ben Clarke azt javasolta az USA meteorológiai hivatalának, hogy az előrejelzéseikhez használjanak műholdakat. Ötlete évekkel később megvalósult.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Számoljuk ki a geostacionárius pályára állított műhold távolságát a tengerszinttől!

Megoldás: A műhold $R + h$ sugarú egyenletes körmozgást végez a Föld körül. Ennek dinamikai feltétele:

$$\Sigma F = ma_{cp}$$

$$f \frac{Mm}{(R+h)^2} = m\omega^2(R+h)$$

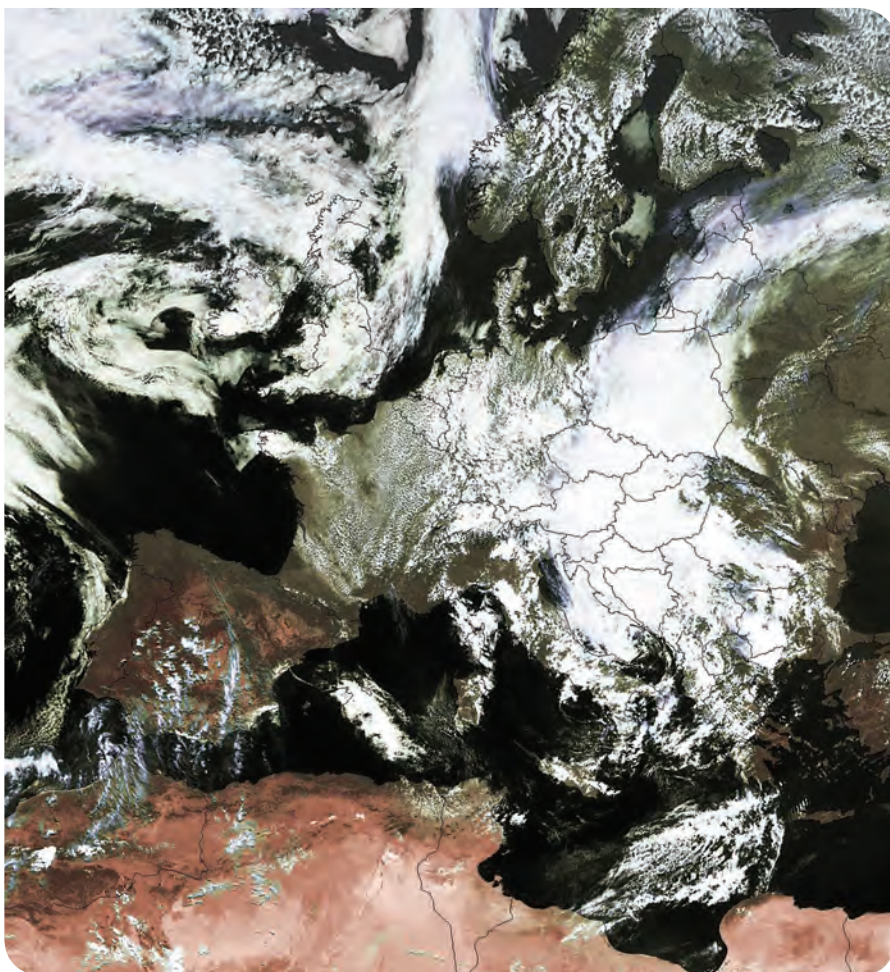
$$(R+h)^3 = \frac{fM}{\omega^2} = \frac{fM}{\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2} = \frac{T^2 fM}{4\pi^2}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{T^2 fM}{4\pi^2}} - R =$$

$$= \sqrt[3]{\frac{(24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s})^2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{4 \cdot \pi^2}} - 6,38 \cdot 10^6 \text{ m} \approx$$

$$\approx 3,58 \cdot 10^7 \text{ m} = 35\,800 \text{ km}$$

A geostacionárius pályán mozgó műhold a tengerszint felett közel 36 ezer km magasan helyezkedik el az Egyenlítő felett.



■ A nagyobb területről készült műholdképek segítik az időjárás-előrejelzést

Mire jók a műholdak?

A Föld körül keringő műholdak sokasága segít minket a mindennapjainkban. Az 1960-as évektől terjedtek el a meteorológiai műholdak. Ezek felvételeiből a frontok, felhőrendszerek változása, vonulása figyelhető meg. Használatuk pontosabbá teszi a rövid távú időjárás-előrejelzést, valamint megkönnyíti az éghajlatkutatást.

Használunk még földfigyelő, felderítő, navigációs, csillagászati és ember által lakott kutató műholdakat. Az utóbbiak közül talán a legismeretesebb a több mint tíz éve kb. 400 km magasan keringő Nemzetközi Űrállomás.

A csillagászati műholdak közül soknak a Földtől távolabb kell szolgálatot teljesítenie. A távoli helyekre eljuttatott műholdak nemcsak közelebb kerülnek így a megfigyelés tárgyához, hanem maguk mögött hagyják a földi légkör zavaró hatását. A Naprendszer minden bolygója körül kering már műhold, egyedül a Neptunusz elérése várhat még magára egy kicsit.

Mekkora sebességgel lehet örökre elhagyni a Földet és a Naprendszert?

A Föld elhagyása megfogalmaz egy újabb küszöbsebességet: **második kozmikus sebesség**nek vagy szökési sebességnek nevezzük azt a legkisebb kezdősebességet, mellyel egy testet elhajtva, a test nem jön vissza a Földre, hanem mindig távolodik tőle.

Megmutatható, hogy az első és a második kozmikus sebesség között a következő összefüggés áll fenn:

$$v_{II} = \sqrt{2} \cdot v_I$$

$$v_{II} = \sqrt{2gR} \quad \text{vagy} \quad v_{II} = \sqrt{\frac{2fM}{R}}$$

A Föld felszínén a szökési sebesség kb. 11,2 km/s.

A Naprendszerünk elhagyásához minimálisan szükséges sebességet nevezük **harmadik kozmikus sebességnek**, amelynek a nagysága:

$$v_{\text{III}} = \sqrt{\frac{2fM}{R}}$$

ahol most M a Nap tömegét, R a tömegközéppontjától mért távolságot jelöli. A Naptól a Föld távolságában levő pontban a harmadik kozmikus sebesség kb. 42 km/s. A Föld nagyjából 30 km/s sebességgel kering a Nap körül. Ezért a Földhöz képest „csak” 12 km/s előremutató sebességet kell egy műholdnak adni, hogy örökre elhagyja a Naprendszert.

NE FELEDD!

Az égitestek körül keringő mesterséges égitestek a műholdak. Sokfajta alkalmazásuk komfortosabbá teszik életünket.

Nevezetes kozmikus sebességek elérésekor ugrásszerűen bővül az űrhajó számára elérhető tér.

Első kozmikus sebesség – a Föld felszínének, légkörének tartós elhagyása.

Második kozmikus sebesség – a Naprendszer égitestei elérhetők.

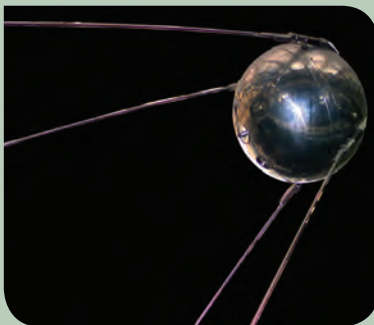
Harmadik kozmikus sebesség – a Naprendszer elhagyása.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Mekkora és merre mutat a vízszintesen elhajított kavics gyorsulása?
- 20 méter magasan, 360 km/h sebességgel haladó repülőgéppel juttatnak el segélycsomagot a rászorulóknak. A megfelelő pillanatban a gép nyitott ajtajában egyszerűen csak elejtik a csomagot.
 - Készíts vázlatrajzot a csomag mozgásáról!
 - Mennyi ideig fog esni a segélycsomag?
 - A cél előtt milyen távolságban kell elejteni a csomagot?
 A megoldás során hanyagoljuk el a légellenállás hatását.
- Arthur C. Clarke egyik utolsó ötlete volt az űrlift. Megvalósításának lehetőségeivel már foglalkozik a NASA. Járj utána, hol tart az űrlift megvalósítása!
- Verne Gyula Utazás a Holdba (1865) című regényében az embereket ágyúval lövik ki a Holdra. Mit gondolsz, lehetséges ez? Miért?
- A Föld forog a tengelye körül. Emiatt a Föld felszínén az Egyenlítő pontjainak legnagyobb a kerületi sebessége. Mekkora? Honnan és milyen irányba célszerű a műholdak kilövése?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Az 1957-ben pályára állított első műhold (Szputnyik-1 a képen) közel 3 hónapig sugárzott jeleket a Földre. Mozgásának periódusideje 96,2 perc volt. Miért nehéz arra a kérdésre válaszolni, hogy naponta hányszor haladt el a Föld egy adott pontja felett? Honnan indították a Szputnyik-1-et? Mi történt vele 3 hónap múlva? Milyen pályán mozgott?
- Egy műhold pályája nem feltétlenül kör alakú. Földközeli vagy földtávolban lesz nagyobb a műhold sebessége? Miért?



- Mekkora a tengerszint felett kb. 35 800 km magasan lévő geostacionárius pályán mozgó műhold gyorsulása? Ez hány százaléka a Föld felszínén tapasztalhatónak?
- A Nemzetközi Űrállomás kb. 400 km magasan kering a Föld körül. Mennyi a periódusideje? Változik-e a periódusideje?
- A Jupiter átmérője kb. 29,5-szer akkora, mint a Merkúré, a tömege kb. 5700-szor nagyobb. Melyik bolygón nagyobb az első kozmikus sebesség? Hányszor nagyobb?
- Milyen a vízszintesen elhajított test pályájának alakja
 - ha a sebesség akkora, hogy a leérkezés és az indulás között a Föld felszíne még vízszintesnek tekinthető?
 - ha a sebesség akkora, hogy a leérkezés és az indulás között a Föld felszíne a gömb alak miatt már nem tekinthető vízszintesnek?
 (A légellenállástól mindkét esetben tekintsünk el.)

24. | Rezgés, lengés

A mindennapi életünkben bekövetkező események egymásutánját az idő múlásaként éljük meg. Alapvetően az évszakok, a nappalok és éjszakák váltakozása ad ritmust életünknek. Az idő múlását érzékelő szervünk nincs, az időtartam érzete függ az életkortól, az események fontosságától, tartalmától. Már az ókorban is alkottak olyan eszközöket, ami az idő múlásának mérésére alkalmas. Azóta az órák pontossága hihetetlen mértékben megjavult.



■ Olajlámpaóra

ÓRAKÉSZÜLÉKEK (Olvasmány)

A régebbi órakészülékek általában egy napnál rövidebb időtartamok mérésére szolgáltak. A napórát nyilván csak nappal lehetett használni. A napóra esetén egy pálca árnyéka vetül egy előre kalibrált skálára. A víz-, a gyertya- és a homokórát éjszaka is lehetett használni, sőt az ókorban vízzel működő ébresztőórát is készítettek.

Általánosan elmondható, hogy az idő mérése periodikus (ismétlődő) mozgás segítségével történik. A Nap látszólagos mozgása az égbolton, a tartályból kifolyó víz, a lepergő homok, ezek mind többé-kevésbé szabályosan ismétlődő, megismételhető jelenségek.

A középkorban terjedtek el a mechanikus óraszerkezetek, amelyekben az óraszámlop előtt mozgó mutató ritmusát az inga adta, melynek mozgásáról egy felemelt nehezék vagy egy megfeszített rugó gondoskodott. A manapság legjobban elterjedt kvarcórákban egy kvarckristály rezgése adják a mutató mozgásának ritmusát, az ehhez szükséges energiát egy elektromos telep biztosítja.

Az atomóra a benne tárolt atomok két jól meghatározott állapot között történő elektronátmenet időtartamára alapozza az időmérést. Ma már többféle atomóra létezik, melyek jellemzően szekrény vagy asztal méretűek. Nagyjából tíz évvel ezelőtt sikerült ezeknél százszor kisebb atomórát is készíteni. Az atomórák pontossága alapozta meg az idő mértékegységének, a másodpercnek a mai SI-definícióját.

Az atomórák mindennapi életünkre is befolyással vannak. A hétköznapi életben használt rádióvezérelt órákat is szokás atomórának nevezni, ez azonban kicsit pontatlan kifejezés,

Hallottál róla?

Az atomórák működését durva hasonlattal úgy szemléltethetjük, mintha sok gyerek hintázna sorban egymás mellett ugyanazon a hintaállványon. Az állvány akkor rázkódik a legjobban, ha a gyerekeket egyszerre, ugyanabban az ütemben lökjük meg. A hasonlatban a gyerekek az atomok, a lökdösés pedig az atomórákban általában mikrohullámokkal történik. A gondosan elvégzett beállítás során meg kell találni a mikrohullámú energia betáplálásának azt az ütemét, ami az atomórákban lévő atomok, legtöbbször a céziumatom 133-as tömegszámú izotópja legkülső elektronjának egy alacsonyabb és egy

magasabb energiájú állapota közötti magasabb energiájú állapota közötti fel-le ugrálás ütemével egyezik meg. A céziumatomok legkülső elektronjának „hintáztatását” végző mikrohullám rezgési üteme adja az atomórák órajelét, amit elektronikusan számolnak, és ebből határozzák meg a másodpercek hosszát.

Az első atomórát 1949-ben készítették. Az atomórák pontossága azóta milliószorosára nőtt, a legjobb atomórák 30 millió év alatt kevesebb mint egy másodperces mérési bizonytalansággal működnek.

Ma már az atomórák sokkal pontosabban járnak, mint maga a Föld. Ezért ma már többféle időt használunk. A nem-

zetközi atomidő (nemzetközi rövidítése: TAI, a francia Temps Atomique International kifejezés alapján) atomórák láncolatának mérésein alapszik. Az egyezményes világidő (UT), ami a régebbi greenwichi középidőt (GMT) váltotta fel, a Föld forgásán alapszik. A TAI és az UT a Föld lassuló forgása miatt eltér egymástól. Ezért hozták létre az egyezményes koordinált világidőt (UTC), amely lényegében megegyezik a nemzetközi atomidővel (TAI), azonban a Föld lassuló forgása miatt egy-másfél évente egy-egy szökőmásodpercet iktatnak be, hogy a kissé lelassult Föld utolérhesse magát, vagyis ne legyen eltérés az atomórakon alapuló idő és a Föld forgásán alapuló idő között.



■ Atomóra

ugyanis ezek az órák nem maguk mérik a pontos időt, csupán rádióhullámok útján veszik az atomórák által előállított jelet. Annyiban jogos a megnevezés, hogy ha a vétel naponta megtörténik, akkor az ilyen óra pontossága sokkal jobb a többi órához viszonyítva.

Ahogy erről már tanultunk, a GPS (Global Positioning System) helymeghatározó rendszer rendkívül pontos időmérésen alapszik. A rendszer 24 műholdja a Föld körül kering, és folyamatosan két különböző frekvencián meghatározott kódokat sugároznak. Az állandó frekvencia és a pontos kódok előállítására minden műholdon két rubídium vagy cézium atomóra van elhelyezve. Megfelelő készülékkel a jelek foghatók, és így az adott pontban a helykoordináták, valamint a pontos idő meghatározható. A hobbi GPS 5 méteres pontosságához nanoszekundum (10^{-9} s) pontoságú időmérés szükséges!



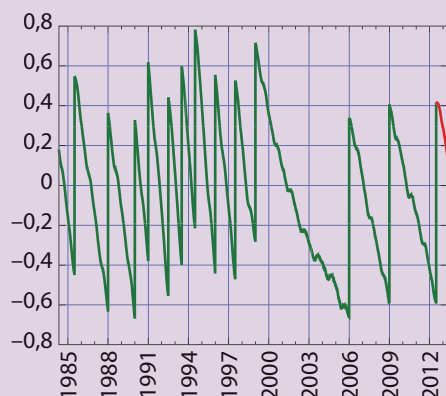
■ Rádióvezérelt óra

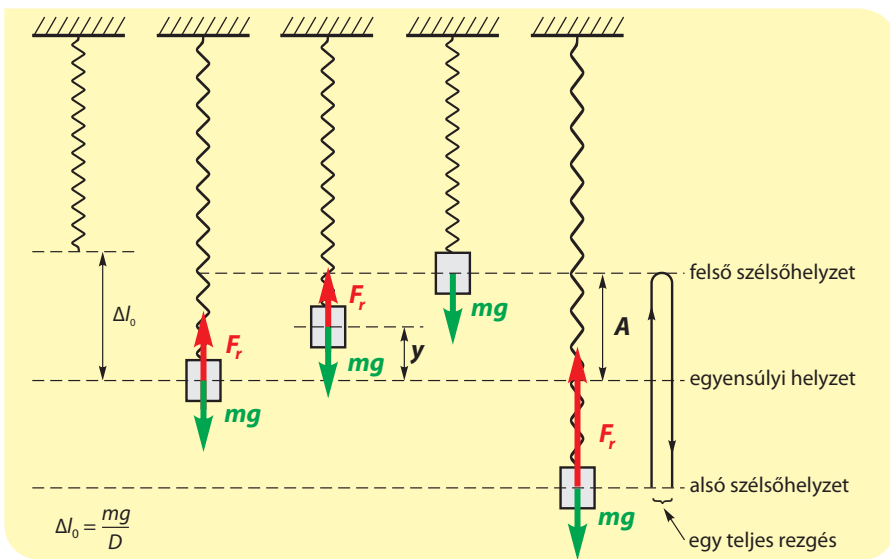
A szökőmásodpercek beiktatása úgy történik, hogy egy nemzetközi szervezet (International Earth Rotation and Reference Systems Service, rövi-

dítve IERS) folyamatosan méri az UT és az UTC különbségét ($UT - UTC$), és ha ez a különbség elegendően nagyra válik, akkor javaslatot tesz a szökőmá-

sodperc beiktatására. Ez vagy június 30-án vagy december 31-én történik úgy, hogy ilyenkor a nap utolsó perce nem 60 másodperces, hanem 61 másodperces lesz. A Föld forgása nem egyenletesen lassul, sőt néha elenyésző mértékben gyorsul is, ezért elvi megállapodás van arra nézve is, hogy ezeken a napokon szükség esetén az utolsó perc csak 59 másodperces legyen. Ilyen korrekcióra azonban még nem került sor. Az első szökőmásodpercet 1972. június 30-án iktatták be. Az ábra mutatja, hogyan változott a világidő (UT) és a koordinált világidő (UTC) különbsége az elmúlt években. A függőleges ugrások jelentik a szökőmásodpercek beiktatását.

■ A függőleges tengelyen a világidő és a koordinált világidő különbsége látható másodpercesegységekben. A függőleges ugrások mutatják a szökőmásodpercek beiktatását. Legközelebb mikor várható szökőmásodperc beiktatása? Mikor gyorsult valamiképp a Föld forgása?





A rezgőmozgás

Egy rugó felső végét rögzítsük, majd az alsó végére akasszuk egy testet! A test egyensúlyi helyzetében a rá ható nehézségi erő és a rugó hosszváltozásából származó rugalmas erő kiegyenlíti egymást. A testet az egyensúlyi helyzetéből kimozdítva, majd magára hagyva, a két szélső helyzet között periodikus mozgást, úgynevezett **harmonikus rezgőmozgást** végezt.

A harmonikus rezgőmozgás néhány jellemzője:

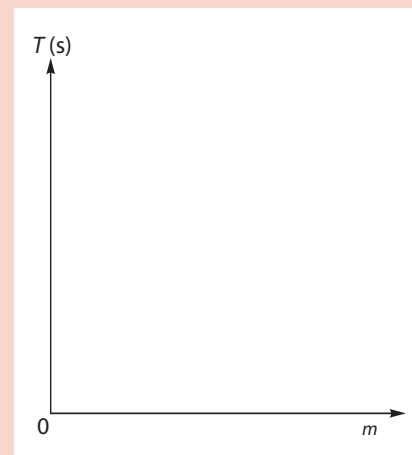
A **periódusidő** vagy rezgésidő alatt a test egy teljes rezgése játszódik le:

például az egyik szélső helyzetből indul, majd oda visszatér. Jele: T , mértékegysége: másodperc (s).

KÍSÉRLETEZZ! MÉRD MEG!

Feladat: Akasszuk a felfüggesztett könnyű rugóra az 5 dkg-os tömegsorozat néhány tagját, és mérjük meg a rezgésidőt! (Az időmérés hibáját csökkenthetjük, ha 10 teljes rezgés idejét mérjük, és ebből számolunk rezgésidőt.) Ezt a mérést végezzük el 6 különböző (ismert) tömeg esetén! (Az 5 dkg tömegű testeket tekinthetjük tömegegységnek.) Az adatokat foglaljuk egy ilyen táblázatba!

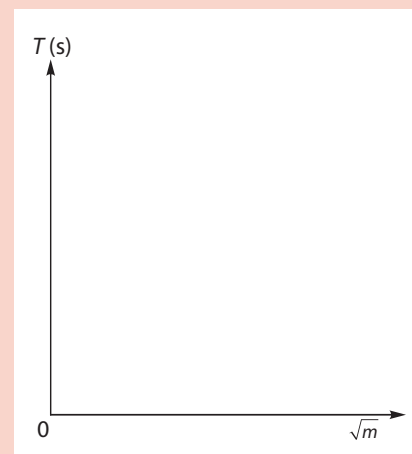
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
	mérés						
m (5 dkg)	2	3	4	5	6	7	8
10 T (s)							
T (s)							



Ábrázoljuk a T - m függvényt! Ne felejtjük el a tengelyeken jelölni az egységeket!

Jobban látszik a vizsgált két fizikai mennyiség között a függvénykapcsolat, ha a T rezgésidőt a tömeg egység négyzetgyökének (\sqrt{m}) a függvényében ábrázoljuk.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
	mérés						
m (5 dkg)	2	3	4	5	6	7	8
\sqrt{m} ($\sqrt{5}$ dkg)	1,41	1,73	2	2,24	2,45	2,65	2,83
T (s)							



Ábrázoljuk az összetartozó T és \sqrt{m} értékpárokat koordináta-rendszerben!

Tapasztalat: Az összetartozó T és \sqrt{m} értékpárokat a koordináta-rendszerben ábrázolva olyan pontokat kapunk, melyekre jó közelítéssel az origóból induló egyenes illeszthető.

Hallottál róla?

Amikor a rugó végére akasztunk egy testet, és a test megnyújtja a rugót, akkor a test a saját súlyával húzza lefelé a rugót. Kétszer akkora test egyensúlyi állapotban kétszer annyira nyújtja meg a rugót. Piacokon láthatunk is ilyen elven működő rugós mérlegeket.

Ha a testet kitérítjük egyensúlyi állapotából, akkor a létrejövő rezgőmozgást nem a tömegvonzás okozza, hanem az határozza meg, hogyan viselkedik a test a rugó kitérésével arányos erő hatására. Ha a tömeget négyszer akkorára választjuk, akkor a rezgésidő kétszeresére növekszik, aminek az az oka, hogy a nagyobb tömegű testnek nagyobb a tehetetlensége, vagyis lomhábban mozog ugyanolyan erőhatások esetén.

Ha a rugót mérlegként használjuk, akkor a ráakasztott test úgynevezett súlyos tömegét határozzuk meg. Ha a rezgésidő alapján mérünk tömeget, akkor ez nem a gravitációtól függ, hanem a test tehetetlenségétől, ezért ezt a tömeget tehetetlen tömegnek nevezzük. Newton mun-

kásságát követően felmerült az a kérdés, hogy milyen viszonyban van a súlyos és a tehetetlen tömeg. A XIX. század végén Eötvös Loránd (1848–1919) készített nagyon érzékeny, speciális torziós ingát. Ennek segítségével rendkívül nagy pontossággal, kilenc tizedesjegyű egyezéssel kimutatta a tehetetlen és a súlyos tömeg arányosságát. (Ma már 14 értékes jegynél is pontosabban igazolták az arányosságot. Így teljességgel elfogadott a kétféle tömeg egyenértékűsége, tehát jogos azonosnak választanunk a kétféle tömeg mértékegységét, vagyis pontosan 1-nek tekinteni az arányossági tényezőt közöttük.)

Eötvös Loránd nemcsak a kétféle tömeg egyenértékűségének kimutatására tudta használni érzékeny mérőeszközét, hanem a nehézségi gyorsulás helyi változása is nagyon pontosan tudta vele mérni. Ezt kihasználva, egészen az 1950-es évekig az általa kidolgozott módszerrel kutattak kőolaj- és földgázmezők után szerte a világon.

A test pillanatnyi helyének az egyensúlyi helyzetétől mért távolsága a **kitérés**, ami előjeles skalár érték. Jele: y , mértékegysége méter (m).

A legnagyobb kitérést, vagyis az egyensúlyi helyzetétől a szélsőhelyzetig húzott kitérés nagyságát **amplitúdónak** nevezzük. Jele: A , mértékegysége méter (m).

A rugóra akasztott test rezgésideje

Az előzőekben elvégzett mérésből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a rugóra akasztott, harmonikus rezgőmozgást végző test rezgésideje a test tömegének négyzetgyökével egyenesen arányos: $T \sim \sqrt{m}$. Ez a kísérleti megfigyelés összhangban van az elméleti úton levezethető összefüggéssel:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$$

ahol D a rugó már korábban megismert rugóállandója.

A $T - \sqrt{m}$ grafikon segítségével meghatározhatjuk egy ismeretlen test tömegét is. Akasszunk például egy kődarabot a rugóra, majd mérjük meg a rezgésidejét! A grafikon alapján keressük meg a kapott rezgésidőhöz tartozó \sqrt{m} értéket, majd ennek négyzetét véve a kődarab m tömege is meghatározható.

Az ingamozgás

Galilei a pisai dómban ülve gyakran látta egy hosszú kötélén függő bronz csillár mozgását. A legenda szerint ezt figyelve kapott kedvet az ingamozgás vizsgálatához. **Ingamozgást** végez egy vízszintes tengelyre függesztett merev test, ha egyensúlyi helyzetéből kitérítjük, és magára hagyjuk. A legegyszerűbb ingamozgást a **fonálinga** vizsgálatával írhatjuk le. A fonálinga egy hosszú, elhanyagolható tömegű fonálból áll, melynek egyik vége rögzített, másik végére pedig egy kicsiny, viszonylag nehéz testet erősítünk.



■ A pisai dóm bronzcsillárja

SZÁMOLD KI!

Mekkora az 1 méter hosszú matematikai ingának (kis kitérésű fonál-ingának) a lengésideje a Földön? És a Holdon?

Mit gondoltak régen?



■ Foucault eredeti ingatestje, amit a párizsi műszaki múzeum, a Musée des Arts et Métiers őrzött egészen 2010. április 6-ig, amikor egy szerencsétlen balesetben az inga kötele elszakadt, és a szerkezet helyrehozhatatlanul összetört

Léon Foucault (ejtsd: fukó) (1819–1868) francia fizikus 1851-ben kísérletileg bizonyította be, hogy a Föld forog a tengelye körül. A párizsi Pantheon kupolacsarnokában 67 méter hosszú drótszálon felfüggesztett, 28 kg tömegű, belül ólom, kívül fényes sárgaréz borítású golyó lengéseit vizsgálta. Az inga igen csekély csillapodással, órákon keresztül képes volt lengeni. A megfigyelés szerint a lengés síkja elfordul a Földhöz képest. A valóságban a lengési sík nem változik, hanem a Föld fordul el az inga alatt. A Foucault-inga lengési síkjának látszólagos forgási szögsebessége függ a földrajzi helytől. A sarkokon a lengési sík egy nap alatt teljesen körbefordul. Párizsban az inga lengési síkjának elfordulása óránként 11° -os az óramutató járásával egyező irányban, így a lengési sík teljes körfordulásához Párizsban 32,7 óra szükséges. Az Egyenlítőn nem figyelhető meg ez a jelenség. (A közbülső helyeken a lengési sík forgási sebessége a szélességi körtől függ.)

A fonálinga egy **teljes lengés**ének nevezzük az ingamozgás azon szakaszát, mely során a test kétszer fut végig a fonálinga által bejárt köríven. Egy teljes lengés ideje a **lengéside**. Jele: T , mértékegysége: s.

Megmutatható, hogy a fonálinga mozgása viszonylag kis kitérések esetén nagyon hasonló a rugóra akasztott test harmonikus rezgőmozgásához. (Azt szokták mondani, hogy kis kitérésnek számít, ha a fonál a függőlegessel legfeljebb 5° -ot zár be, de 1-2% pontossággal harmonikus rezgőmozgásként írható le a fonálinga mozgása akkor is, ha a fonál kitérése a $15\text{--}20^\circ$ -ot is eléri.) Az ingatest nem egyenes mentén, hanem köríven mozog, azonban kis szögek esetén az ív és a húr alig tér el egymástól.

Az elméleti megfontolások és a kísérleti tapasztalatok is arra vezetnek, hogy az l hosszúságú fonálinga lengésideje:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Vegyük észre, hogy sem a rugóra akasztott test rezgésidejének

$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$ összefüggése, sem a fo-

nálinga lengésidejének előző képlete

nem tartalmazza a rezgés vagy a lengés amplitúdóját. Ebből arra következtethetünk, hogy (az összefüggések érvényességi határán belül) sem a rugóra akasztott test rezgésideje, sem az ingamozgás lengésideje nem függ az amplitúdótól. (A fonálinga esetén az amplitúdó lehet az ingatest maximális kitérése a pályája köríven, de lehet ennek vízszintes vetülete, vagy akár egyszerűen a szögkitérés maximuma is.)

Fonálinga segítségével egyszerűen és viszonylag pontosan határozhatjuk meg a g nehézségi gyorsulás értékét. Ehhez nem kell mást tennünk, mint megmérnünk a fonál hosszát (a felfüggesztéstől az ingatest középpontjáig) és a lengés-

NE HIBÁZZ!

Az interneten gyakran lehet olvasni olyan ingákról, melyek mágikus erejük miatt csodákra képesek. Fontos kérdéseinkre megadják a választ, jeleznek, ha a közelünkben veszélyes sugárzások vannak, gyógyítanak. Vigyázz, az ingák ilyen jellegű alkalmazásai tudományosan megalapozatlanok!

Hallottál róla?

Az idő SI-alapegysége a másodperc. Az első olyan órák, melyek a másodpercek múlását is jelezték, a XVI. század második felében készültek. Azonban az elfogadható pontosságú másodpercmutató órák csak száz évvel később jelentek meg. Ezek voltak az első ingaórák.

1980 óta hazánkban is alkalmazzák a nyári időszámítást. Minden év márciusi utolsó vasárnapjának hajnalán 2-ről 3 órára kell állítani az órát. (Október utolsó vasárnapján egy órát vissza kell állítani.) Akkoriban az olajárrobbanást követő években energiamegtakarítást lehetett ezzel a módszerrel elérni. Ma

már a nyári időszámításnak inkább az a fő feladata, hogy a nappal ideje minél inkább egybeessen az embernek ébrenléti idejével. Ennek ellenére még mindig viszonylag jelentős villamosenergia-megtakarítást eredményez, hogy rövidebb ideig kell az épületeinkben világítanunk.

Az ősröbbanás elmélete alapján a világmindenség kb. $4,3 \cdot 10^{17}$ másodpercnyi idős, a mai fiatalok várható élettartama kb. $2,5 \cdot 10^9$ másodperc hosszú. Mivel két szívverés között átlagosan kissé kevesebb idő telik el, mint egy másodperc, és a kisgyerekek szíve gyorsabban ver, így szívünk nagyjából hárommilliárdot ver életünk során.

időt (tíz-húsz lengés együttes idejéből már meglehetősen kis mérési hibával).

A lengésidő képletéből kifejezhetjük a g nehézségi gyorsulást: $g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l}{T_1^2}$

A Galilei-csillár a kiterjedtsége miatt valójában nem tekinthető fonálingának, ilyen esetekben **fizikai ingáról** beszélünk. Ennek lengésidejét nemcsak a kötéll hossza, hanem a lengő test tömege, alakja, mérete, sőt a tömegközéppontja és a felfüggesztés helye közötti távolság együttesen határozza meg.

NE FELEDD!

Az időérzet szubjektív, az idő mérése ismétlődő (periodikus) mozgások segítségével történhet.

Nevezetes periodikus mozgások: egyenletes körmozgás, harmonikus rezgőmozgás, ingamozgás, bolygómozgás.

A harmonikus rezgőmozgás és az ingamozgás jellemzői: periódusidő, frekvencia, kitérés, amplitúdó.

A rezgésidő függ a rezgő test m tömegétől és a rugó D rugóállandójától: $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$

A fonálinga lengésidejét nem túl nagy kitérések esetén az inga / hossza és az adott helyre jellemző g nehézségi gyorsulás határozza meg: $T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Keress az emlékeid között olyan élethelyzeteket, amikor az idő „gyorsan” elszállt, illetve csak „lassan” vándorolt!
2. Mi az oka annak, hogy a helymeghatározó rendszerekhez nagyon pontos órákra, időmérő eszközökre van szükség?
3. Végezz számításokat arra vonatkozóan, hogy az érettségiig hány órát töltesz az iskolában, hány órát töltesz otthon tanulással, hányat alvással! A fenti időtartamokat fejezd ki az addig eltelt életed százalékában is!
4. „Az ötödik bolygó nagyon érdekes bolygó volt. Ez volt valamennyi közt a legkisebb. Éppen csak akkorka, hogy egy lámpa meg egy lámpagyújtogató elért rajta. ... A bolygó évről évre gyorsabban forgott, a parancs viszont maradt a régi.
– És most, hogy percenként fordul egyet a tengelye körül, nincs egy másodpercnyi nyugalom! Percenként oltok meg gyújtok.
– Figyelj csak ide... Tudok egy módot rá, hogy pihenhes, amikor csak akarsz.”
(Antoine de Saint-Exupéry: A kis herceg)
Mit javasolt a kis herceg a lámpagyújtogatónak? Tudott igazából segíteni?
5. Gyűjts össze a környezetedből olyan jelenségeket, amelyekben „valami rezeg”, vagy valamely mennyiség időben periodikusan változik!
6. Fonálingát te magad is könnyedén készíthetsz. Egy fonál végére erősíts egy fémgolyót! A fonál másik végét rögzítsd úgy, hogy az inga szabadon lenghessen. Mérd meg az inga lengésidejét és hosszát! A lengésidőre vonatkozó összefüggés és a mért adatok alapján számold ki a g nehézségi gyorsulás értékét! Több fonálhossz esetén is végezd el a mérést és a számolást! Rövidebb vagy hosszabb fonalak használata esetén lesz pontosabb a méréseid?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy könnyű rugó 5 cm-t nyúlik meg, ha 10 dkg tömegű testet akasztunk rá. A testet a rugó hosszirányában kitérítjük, majd magára hagyjuk. Mekkora periódusidejű rezgés alakul ki?
2. Egy 5 dkg tömegű test egy vizsgált rugón rezegve 10 másodperc alatt 14 teljes rezgést végez. Mekkora annak a testnek a tömege, amely ugyanezen a rugón szintén 10 másodperc alatt 7 teljes rezgést végez?
3. Másodpercingának azt a matematikai ingát nevezzük, amelynek fél lengésideje 1 másodperc. Mekkora a hossza?
4. A Nemzetközi Űrállomáson, a súlytalanság állapotában a testek súlya hagyományosan nem mérhető. Húzó-nyomó rugóra rögzítünk egy 5 dkg-os testet, majd rezgésbe hozzuk. 10 teljes rezgés idejét 14 másodpercnek mérjük. Majd ugyanezzel a rugóval rezgésbe hozunk egy másik testet. Most 10 teljes rezgés idejét 18 másodpercnek mérjük. Mekkora a másik test tömege?
5. Jean-Bernard-Leon Foucault 1851-ben kísérletileg igazolta, hogy a Föld forog a tengelye körül. A párizsi Pantheon kupolájához erősített 67 méter hosszú drótszálon lengő vasgolyó lengési síkja elfordul a Földhöz képest. A valóságban a lengési sík nem változik, hanem a Föld fordul el az inga alatt. Óránként hány teljes lengést végez a vasgolyó?
6. Gondolatban elviszünk a Földről a Nemzetközi Űrállomásra, illetve a Holdra egy fonálingát és egy rugót, amelynek az egyik végéhez egy test van erősítve. Mindkét eszközzel egy-egy periodikus mozgást vizsgálhatunk. Hogyan változik a lengés, illetve a rezgés Földön mért periódusideje az űrállomáson, illetve a Holdon?

25. | Rezonanciakatasztrófák

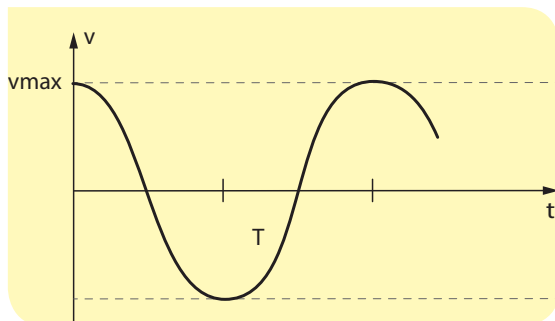
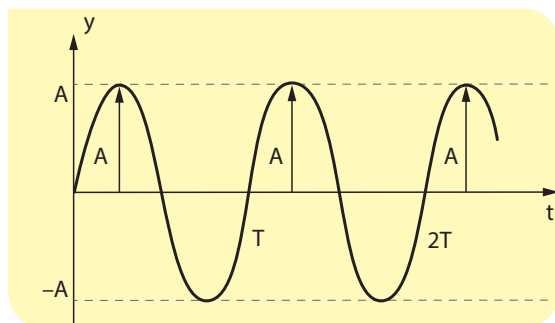
1940. november 7-én a világ akkori harmadik legnagyobb függőhídja, amelyet az egyesült államokbeli Tacoma tengerszorosban két évvel korábban kezdtek el építeni, az erős szél hatására néhány óra leforgása alatt összeomlott. A hidat négy hónappal korábban adták át a forgalomnak. Kisebbszámú szélben mindig kilengett, himbálózott; ezért nevezték el az építőmunkások „Galopp Gertie”-nek. Végül egy közepes erősségű, de kitartóan fújó, 64 km/h sebességű szél hatására olyan nagy amplitúdójú lengésekbe kezdett, ami a híd teljes pusztulásához vezetett. Mi lehetett ennek a katasztrófának az oka? Ugyanott megváltoztatott hídszerkezettel új függőhíd épült, sőt azóta már két egymás közelében lévő híd szolgálja a megnövekedett forgalmat, melyek nem kezdenek lengésekbe a szél hatására. Vajon miért?

A Youtube-on sok változatban megtekinthető a katasztrófa, például itt: <https://www.youtube.com/watch?v=3mclp9QmCGs>

Csillapítatlan szabad rezgés

Végezzük el újra azt a kísérletet, melyben egy felső végén rögzített, könnyű rugó alsó végére erősítünk egy testet, amit rezgésbe hozunk! Ha kívülről nem fejtünk ki további erőt a rendszerre, akkor a testnek az úgynevezett **szabad rezgése** valósul meg. A szabad rezgések frekvenciáját nevezzük a rendszer **sajátfrekvenciájának**. A sajátfrekvenciát f_0 -val jelöljük. Amennyiben a rezgő rendszer körül légüres teret hozunk létre, közelítőleg **csillapítatlan szabad rezgés** valósul meg. Ilyenkor viszonylag hosszú idő elteltével sem változik számottevő módon a rezgés amplitúdója. Azt is megállapíthatjuk, hogy a rugó végére akasztott test csillapítatlan szabad rezgésének esetében csak konzervatív erők hatnak a testre (a nehézségi erő és a rugóerő), tehát a rendszer mechanikai energiája állandó marad.

A függőlegesen mozgó rugó-test rendszer teljes energiája három tagból áll: a mozgási energiából, a magassági helyzeti energiából és a rugóenergiából. Mozgás közben mindhárom változik, azonban összegük állandó marad:



■ Csillapítatlan szabadrezgés kitérés-idő $[y(t)]$ és sebesség-idő $[v(t)]$ függvénye.



■ A Tacoma-híd katasztrófája



■ A Tacoma-hidak napjainkban

$$E_{\text{teljes}} = E_{\text{mozg.}} + E_{\text{hely.}} + E_{\text{rug.}} = \frac{1}{2} mv^2 + mgh + \frac{1}{2} Dy^2 = \text{állandó}$$

A mozgási energia a rezgés két szélső helyzetében nulla, mert ott egy pillanatra a mozgásirányváltáskor megáll a test. A legnagyobb mozgási energiája akkor van a testnek, amikor éppen az egyensúlyi helyzeten halad át, ott a legnagyobb a sebessége. A magassági helyzeti energia felfelé mozogva növekszik, lefelé haladva csökken. A rugalmas energia a rugó nyújtatlan állapotában nulla, egyébként mindig pozitív értékű, akár megnyúlt, akár összenyomott állapotú is a rugó.

Csillapított szabad rezgés

A valóságban minden rezgőképes rendszer (például az előzőekben vizsgált függőleges rugó-test rendszer is) kölcsönhatásban áll a környezetével. Ezek a kölcsönhatások általában súrlódás vagy közegellenállás formájában jelentkeznek, és azt eredményezik, hogy a mozgóképes rendszer teljes energiája folyamatosan csökken. A rezgés energiája szétszóródik (idegen szóval disszipálódik) a környezetbe. Az ilyen mozgást **csillapított szabad rezgés**nek nevezzük. Megállapíthatjuk, hogy minden hosszú időre magára hagyott rezgő rendszer csillapodó. Ez azzal jár, hogy a rezgő test amplitúdója fokozatosan nullára csökken.

A valóságban előforduló rezgőmozgásokat és ingamozgásokat vizsgálva megállapíthatjuk, hogy alapvetően kétféle **csillapítás** létezik. Az egyik esetben a **súrlódás**, a másik esetben pedig a **közegellenállás** okozza a csillapítást. A valóságban nagyon gyakran ezek egyszerre lépnek fel. A közegellenállást a leggyakrabban a levegő okozza, de sokszor a rezgő test vagy annak egy része folyadékba merül, és így közegellenállásos csillapítás jön létre. Ha a test nagyon lassan mozog valamilyen közegben, akkor a csillapító közegellenállási erő a sebességgel egyenesen arányos, és a test sebességével ellentétes irányú. Ha a test gyorsabban mozog, a közegellenállási erő akkor is a sebességgel ellentétes irányú, azonban ilyenkor már a sebesség négyzetével arányos nagyságú.

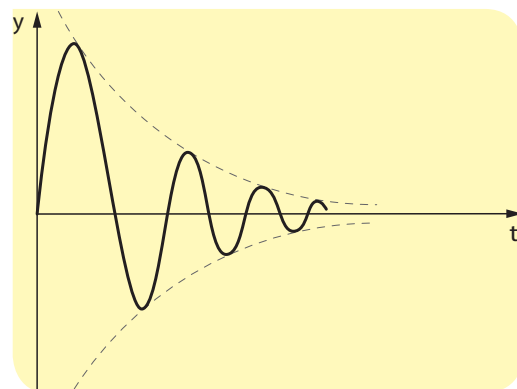
FIGYELD MEG!

Ha a csillapítás nem kivételesen nagy, akkor ugyanazon rendszer csillapítatlan és a csillapított szabad rezgéseinek rezgésideje, illetve frekvenciája ugyanakkora. Ezt például úgy lehet ellenőrizni, hogy ugyanarra a rugóra egyforma tömegű, de különböző méretű golyókat erősítünk, és megmérjük a rezgésidőt, annak reciprokaként pedig megkapjuk a frekvenciát. Ha a golyó nagyon kis méretű (például ólomból készült), akkor a rá ható közegellenállás elhanyagolható, a szabad rezgés csillapítatlannak tekinthető. Ha a golyó nagyobb (fából készült), akkor már számottevő a csillapítás, ha pedig nagyon nagy méretű (hungarocell hab), akkor jelentős csillapodást észlelhetünk. Ezeknek a méréseknek a segítségével igazolhatjuk, hogy ugyanolyan tömegű és rugóállandójú rugó-test rendszerekben a különböző mértékű (de nem kivételesen nagy) csillapítások esetén a rezgésidő, és így a frekvencia is, lényegében azonos nagyságú marad, azonban az amplitúdó az erős csillapítások hatására sokkal gyorsabban csökken, mint a gyenge csillapítások esetén.

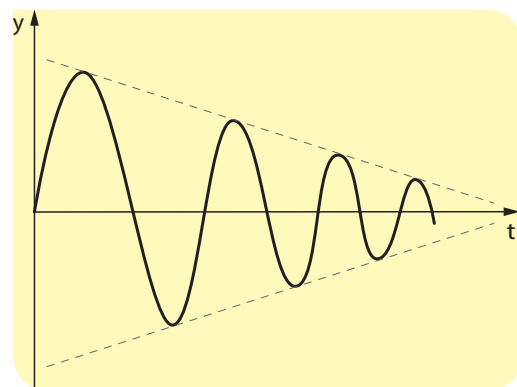
KÍSÉRLETEZZ!

A függőlegesen felfüggesztett rugó végére egy fonál segítségével kössünk egy alumíniumtestet! A testet merítsük mézbe vagy glicerinbe (ezekben a sűrű, nagy belső súrlódású folyadékokban igen nagy a közegellenállás)! A felfüggesztő fonál legyen olyan hosszú, hogy a rugó ne kerüljön érintkezésbe a folyadékkal. Emeljük meg az alumíniumtestet, majd engedjük el, és figyeljük meg, hogy mi történik!

A kísérletet elvégezve azt láthatjuk, hogy nem alakul ki igazi rezgés, nem mérhető meg a rezgésidő, hanem a test azonnal az egyensúlyi helyzetéhez kezd közeledni, amit folytonos mozgással, irányváltások nélkül ér el. (Túlcsillapított rezgés.)



■ Közegellenállással csillapított rezgés



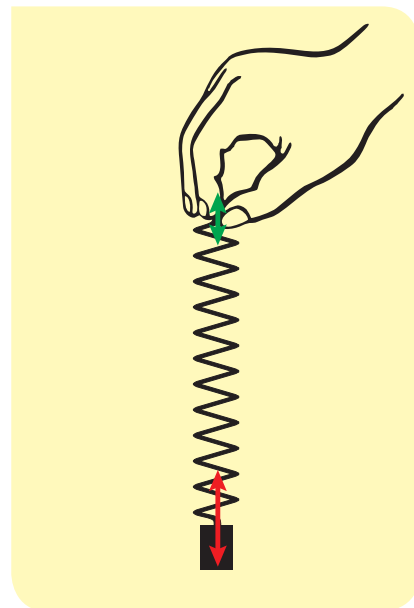
■ Súrlódással csillapított rezgés



■ A hangszerek hangjának egyediségét a „rezonáló doboz” biztosítja

A kényszerrezgés

Sokszor az a célunk, hogy a rezgő (lengő) rendszer energiája változatlan maradjon. Ilyenkor a környezetbe szét-szóródó energiát időről időre pótolni kell. Ezt úgy tehetjük meg, ha kívülről energiával tápláljuk a rendszert. Ez a betáplálás periodikusan változó külső erő hatására következhet be. Ezt például úgy tehetjük meg a sokszor vizsgált, függőlegesen mozgó rugó-test rendszerünkkel, hogy a rugó felső végét nem rögzítjük, hanem fel-le mozgatjuk. A létrejövő rezgés frekvenciája megegyezik a külső erő f frekvenciájával. A periodikus külső erő hatására kialakuló mozgást **kényszerrezgésnek** nevezzük.



Hallottál róla?

Járművek haladásakor fontos, hogy az út egyenetlenségei okozta rázkódást csillapítsuk. Ezért a járműveinknek rugóznuk kell. Azonban nagyon kellemetlen lenne, ha a járművek hosszasan rezegnének minden úthiba hatására.



■ Lengéscillapító. Miért nehéz igazán jó lengéscillapítót készíteni?

Ezért a rugózást úgynevezett lengéscillapítással együtt alkalmazzák a járművekben. Ez azt jelenti, hogy a rugózó szerkezetekbe tudatosan erős csillapítást építenek be. A lengéscillapítók legtöbbször túlcillapított rezgést eredményeznek. A rezgés létre sem jön, a kitérített járműtestre olyan

nagy fékezőerő hat, hogy az nem lendül túl az egyensúlyi helyzetben.

A fonálingának egyetlen sajátfrekvenciája van. Kiterjedt testeknek (húr, dob, doboz) több sajátfrekvenciája is lehet, így több lehetőségük adódik rezonanciára. Ez igen fontos a hangszereknél. *Antonio Stradivari* (1644–1737) olasz hegedűkészítő által készített vonós hangszerek egyedi hangja a rezgésbe hozott hangszerdoboz egyediségében rejlik. A megszólaló hang utánozhatatlanságában szerepet játszik a kiválasztott fa minősége, a fa pácolása, az egyedi csigavonal, sőt a lakkozás is.

Kényszererő hatására előfordulhat olyan nagy amplitúdójú rezgés, hogy a rezgő test tönkremegy. Ezt a jelenséget hívják rezonanciakatasztrófának. A XIX. század közepén egy franciaországi híd a rajta átvonuló katonák ütemes lépései miatt összedőlt, és a rezonanciakatasztrófában 226 katona meghalt. Azóta parancsolják a kato-

náknak a hídon való áthaladás előtt: „Ne tarts lépést!” A legismertebb hídkatasztrófa az USA-ban történt 1940. november 7-én.

A Tacoma-szorost átívelő híd rezonanciakatasztrófáját az okozta, hogy a hosszú időn át állandó, 64 km/h sebességű szél hatására a hídszerkezet alatt és felett légörvények keletkeztek, melyek nagyon szabályos ütemben váltak le a hídszerkezetről. Ezt a jelenséget Kármán Tódor fedezte fel, és róla Kármán-féle örvénysornak neveztek el. (Ugyanígy a zászlórúdról leváló Kármán-féle légörvények miatt lobog a lobogó.) Az örvényekben kisebb a légnyomás, ezért az ütemes leválás fel-le mozgatta a hidat, kényszerrezgés jött létre. A katasztrófa napján éppen olyan szél fúj, hogy a légörvények leválási frekvenciája megegyezett a híd sajátfrekvenciájával. A híd már régebben is végzett erős lengéseket, ezért a forgalom elől elzárták, senki sem sérült meg a katasztrófában, sőt a filmesek



■ Mi a közös a három képen látható jelenségben?

FIGYELD MEG!

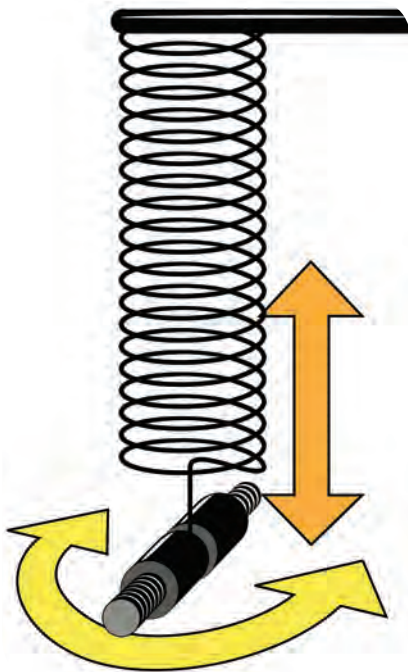
A hintázó gyerek is akkor repül a legmagasabbra, ha a szülő a hintázó gyerek sajátfrekvenciájának ütemében lökdösi a hintát. Tehát éppen olyan időközönként kell meglöknünk a hintát, mint az ingamozgás lengési ideje. Ha mindig ugyanannyira lökjük meg a hintát, akkor állandósult állapot alakul ki. Felmerülhet a kérdés, hogy állandósult ingamozgás esetén hová tűnik a betáplált energiánk. A válasz az, hogy a folyamatos munkavégzésünkkel, vagyis állandó energiabetáplálásunkkal éppen a csillapítás miatt fellépő energiaveszteséget pótoljuk.

**FIGYELD MEG!**

Játszóterén gyakran látni hintázó gyerekeket. A nagyobbak tudják egyedül is hajtani a hintát, a kisebbek szülői segítségre szorulnak.

- Figyeljük meg, hogy a kétféle módon hajtott hintának milyen a periódusideje!
- A kisgyerek hintázó mozgása változatlanul tűnik. Miért kell az apának mégis időről időre energiát adnia?
- Milyen ütemben érdemes az apának a hintát löknie?

kedvükre készítettek róla azóta is népszerű felvételeket. A leszakadás előtt az úttest szélének legnagyobb kitérése elérte a 9 métert is.



■ Wilberforce-inga

A csatolt rezgések látványos példája a Wilberforce-inga, ami egy lágy csavarugóból és egy ráakasztott kiterjedt testből áll. Ez a rendszer hosszanti és csavarási rezgések végzésére is képes. Ügyes beállítás esetén a két rezgésfajta sajátfrekvenciája megegyezik. Ekkor

a kétfajta rezgés maximálisan csatolódik. Van olyan pillanat, amikor csak hosszanti, másszor csak csavarási rezgés figyelhető meg.

A csatolt rezgések érdekes megjelenése a rezgőképes rendszerek szinkronizációja. Christiaan Huygens (1629–1695) holland fizikus figyelt fel először arra, hogy az órasműhelyek falain sűrűn egymás mellett lévő ingaórák lengései szinkronizálódnak.

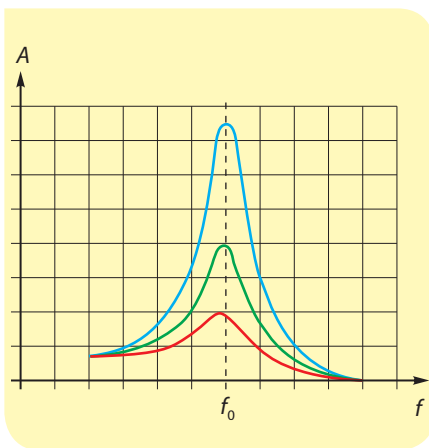
A fizikusokat Huygens óta foglalkoztatják azok a jelenségek, amelyekben egy rendszer elemei lassan összehangolt viselkedésre térnek át, szinkronizálódnak. Ezekben a jelenségekben a rezgések nem harmonikusak, és a csatolás egészen meglepő alakot öltethet. Később biológiai egyedekből álló rendszerekben is megfigyeltek spontán szinkronizációt. A szentjánosbogarak fákon vagy bokrokon élő, villogó fényt kiadó apró bogarak. Ha elég sokan vannak egy növényen, akkor villogásukat összehangolják, egy időben bocsátanak ki fényt, igazán látványos, amikor az egész bokor egyszerre felvillan.

A járás során is megfigyelhető a spontán szinkronizáció! Figyeld meg, hogy ha valakivel sétálsz (és nincs nagy különbség a lépéshosszban), akkor ösztönösen egyszerre (vagy épp ellentétesen) léptek!

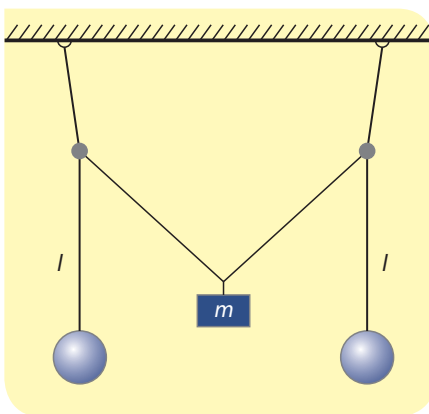


■ Nagy szentjánosbogár

A szívben lévő idegsejtek tüzelése is egyszerre történik. A hosszú ideig együtt élő nők menstruációs ciklusa is megfelelő feltételek mellett szinkronizálódhat. Igen érdekes folyamat a vastaps kialakulása. A közönség a neki tetsző előadást tapsal jutalmazza. Ha igazán tetszett a produkció, akkor a kezdetben különböző fázisú tapsok (inkoherens taps) szinkronizálódnak. Kialakul a vastaps (szinkronizált taps), melynek periódusideje kétszerese a kezdeti tapsénak. Aztán a vastaps felbomlik, majd újra kialakul, és így tovább. A szabadtéri előadásokon általában nem jön létre a vastaps, a nézők közötti gyenge csatolás miatt. A diktatúrákban szokás volt a „vezért” vastappal köszönteni. A vastaps hosszú ideig való fennmaradása mutatta, hogy az egyéneket nem az őszinte tettségnyilvánítás hajtotta, hanem pusztán a megfelelő hangerő elérése.



- A kényszerrezgés okozta rezonancia akkor következik be, ha a kényszererő frekvenciája megegyezik a rendszer sajátfrekvenciájával. Minél kisebb a csillapítás, annál nagyobb a kényszerrezgés amplitúdója



- A csatolt ingák egyik megvalósítási módja



- Görgőkre helyezett asztallapon összehangolatlanul működésbe hozunk sok, azonos periódusidejű metronómot. A csatolásnak köszönhetően az eszközök periodikus mozgása hamarosan szinkronizálódik. Próbáld ki Te is, vagy keress filmet az Interneten a jelenségről.

FIGYELD MEG!

A kényszerrezgést végző rendszer amplitúdója nemcsak a kényszererő nagyságától és frekvenciájától függ, hanem attól is, hogy mekkora a csillapítás a rendszerben. Nagyobb csillapítás esetén kisebb amplitúdó, kisebb csillapítás esetén nagyobb amplitúdó alakul ki. Különösen így van ez a rezonancia esetében. Megmutatható, hogy ha nem lenne csillapítás a rendszerben, akkor rezonancia esetén ($f = f_0$) az amplitúdó addig nőne, amíg a rendszer szétszakadna. Az ábrán egy kényszerrezgést végző rendszer amplitúdóját láthatjuk a gerjesztő frekvencia függvényében három különböző mértékű csillapítás mellett. Megfigyelhetjük, hogy a legnagyobb amplitúdó, vagyis a rezonancia lényegében mindig ugyanannál a frekvenciánál ($f = f_0$) következik be.

Ha a kényszerítő frekvencia nagyon alacsony, akkor a test lényegében ugyanakkora amplitúdóval mozog, mint amennyi a kényszeramplitúdója. Ilyenkor a rugónak nincs is különösebb szerepe, úgy viselkedik a rugó, mintha fonál lenne. Ahogy növeljük a kényszererő frekvenciáját, úgy egyre nagyobb lesz a test amplitúdója annak ellenére, hogy a rugó felső pontjának mozgatása mindvégig ugyanakkora, kicsiny amplitúdóval történik. A rezgő test akkor éri el a legnagyobb amplitúdót, amikor a kényszererő f frekvenciája körülbelül megegyezik a rendszer f_0 sajátfrekvenciájával. Ezt a helyzetet nevezzük **rezonanciának**. Ha tovább növeljük a kényszer frekvenciáját, akkor az amplitúdó csökkenni kezd, és lassan nullához tart.

Csatolt rezgések

A kényszerrezgések érdekes speciális esetének tekinthetők az úgynevezett **csatolt rezgések**. A jelenséget például úgy hozhatjuk létre, ha két felfüggesztett, azonos hosszúságú fonálinga között egy nehezek közbeiktatásával kapcsolatot teremtünk, majd az egyik ingát lengésbe hozzuk. Az elindított inga lengése fokozatosan lelassul, miközben a másik inga fokozatosan lengésbe jön.

A két inga energiája ide-oda vándorol a két inga között. **Csatolt inga** jött létre, ami a két rendszer kölcsönhatása miatt alakult ki. A csatolás, az energiaáramlás akkor a leghatékonyabb, ha a két inga lengésideje (vagyis a hosszuk) egyenlő.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Gyűjts össze olyan jelenségeket, ahol a rezgési, lengési állapot fenntartása a cél! Olyat is gyűjts, amikor a rezgés gyors csillapítása a cél!
2. Keress az interneten olyan videókat, melyek csatolt rezgéseket (angolul coupled oscillations) mutatnak!
3. Te magad is létrehozhatod a rezonanciakatasztrófát. A hagyományos iskolai táblán, aszfalton, „csikorgatva” gyorsan húzz végig egy krétát. Ha elég ügyes vagy, a kréta kb. a közepén kettétörik. A táblához szorított krétavég hol megcsúszik, hol megáll, az indulások-megállások eredményezik a kényszerrezgést. Azt szokták mondani, hogy ha „sikít” a kréta, akkor ketté kell törni, és úgy folytatni az írást a táblán. Mit gondolsz, jó ez a tanács?
4. A hintaülést tartó kötélen hossza kb. 1,6 méter. Körülbelül milyen időközönként érdemes a gyermekét hintáztató apukának hátulról egy kicsit „meglöknie” a hintázó gyermeket, hogy a lengés legnagyobb kitérése ne csökkenjen?
5. Milyen energia biztosítja a hagyományos „felhúzó” órának, a fali „súlyos” kakukkos órának, illetve a kvarcórának a tartós működését?

NE FELEDD!

A szabad, csillapítatlan rezgések amplitúdója és teljes mechanikai energiája állandó:

$$E_{\text{teljes}} = E_{\text{mozg.}} + E_{\text{hely.}} + E_{\text{rug.}} = \frac{1}{2}mv^2 + mgh + \frac{1}{2}Dy^2 = \text{állandó}$$

A csillapodó rezgés energiája, amplitúdója időben csökken.

Periodikus gerjesztő erő kényszerrezgést okoz a rezgésre, lengésre képes testen.

Ha a külső kényszererő f frekvenciája megegyezik a test f_0 sajátfrekvenciájával, akkor maximális amplitúdójú rezgés jön létre. Ez a jelenség a rezonancia.

Csatolt rezgést két rezgőképés rendszer kölcsönhatása eredményez.

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

- A 100 N/m rugóállandójú rugón függő 10 dkg tömegű test 10 cm amplitúdójú csillapítatlan rezgést végez. (A helyzeti energia nulla szintjét válasszuk a rugó nyújtatlan helyzetébe!)
 - Mekkora a rugóenergia és a helyzeti energia, amikor a test az egyensúlyi helyzetében van?
 - Mekkora a rugóenergia és a helyzeti energia, amikor a test a rezgés legelső pontjában van?
 - Mekkora a test maximális mozgási energiája?



- A 200 N/m rugóállandójú rugón függő 20 dkg tömegű test kezdetben 5 cm amplitúdójú csillapodó rezgést végez. Rezgése során mennyi energiát szór szét a környezetébe a lassan csillapodó test? (A helyzeti energia nulla szintjét válasszuk a rezgőmozgás legelső pontjába!)
- A rugó alsó végére egy 5 dkg-os súlyt akasztunk. A rugó másik végét lassan megemeljük, majd függőleges egyenes mentén periodikusan mozgatjuk. A mozgatás frekvenciá-

ját nagyon lassan növeljük. Amikor a frekvencia 2 Hz lesz, a test leesik a rugóról. Mekkora a rugó rugóállandója?

- Egy rugón függő játékgúrat függőleges rezgésbe hozunk egy bizonyos legnagyobb kitéréssel. Egy másik alkalommal kétszer akkora legnagyobb kitéréssel mozog a játékgúra.
 - A második mozgás létrehozatala hányszor több energiát igényelt, mint az első?
 - A második alkalommal hányszor nagyobb a játékgúra legnagyobb sebessége az első alkalomhoz képest a mozgás során?
- A rugón rezgő test amplitúdója a környezeti hatások miatt bizonyos idő alatt a felére csökken. Ez idő alatt kezdeti energiájának hány százalékát veszíti el a rezgőképés rendszer?
- Járj utána az interneten, hogy mit nevezünk kelta kőnek! Te is készíthetsz ilyet kanálból. A kelta kő mozgása hogyan kapcsolódik a csatolt rezgésekhez?



25. | La Ola

A Dél-Amerikában több évtizede ismert szurkolói tetszésnyilvánítást, a La Olát (mexikói hullámot) az 1986-os mexikói labdarúgó-világbajnokságon ismerte meg a világ. A közönség soraiban néhány ember feláll, felemeli a kezét, majd leül. Amikor a szomszédok ezt észlelik, akkor ők is ezt teszik. Igen látványos, ahogy ez a hullám végighalad a stadion lelátóján.



■ Slinky

A mechanikai hullám

FIGYELD MEG!

A stadionban kialakuló mexikói hullámot kicsiben a tanteremben is megvalósíthatjuk. A diákok (legalább 10-12 fő) álljanak fel egy sorban, és fogják meg egymás kezét! Először mindenki guggoljon le! A sor egyik végén lévő diák álljon fel, majd térjen vissza guggolásba! Amikor a szomszéd ezt észleli, akkor ő is tegye ezt!

A diákokból álló sorban egy jel, vagy más néven egy zavar terjed végig. Ezt **lökéshullámnak** nevezzük. Vegyük észre, hogy a diákok fel-le mozogtak, míg a zavar előrefelé terjedt. Ismételjük meg a kísérletet úgy, hogy a tanulók álljanak libasorba, és legyen közöttük egy lépés távolság.

FIGYELD MEG!

A legutolsó tanuló lépjen egy lépéssel előre, érintse meg az előtte álló vállát, majd lépjen hátra egyet! Aki azt érzi, hogy megérintették a vállát, szintén lépjen előre, érintse meg az előtte álló vállát, és lépjen hátra! Most is kialakul egy lökéshullám, ami előrefelé terjed, azonban a diákok most ugyanebben az irányban, tehát előre-hátra mozogtak.

Mindkét esetben úgy terjedt a hullám, hogy a tanulók csak kissé hagyták el a helyüket, és a zavar, hullám elhaladtával eredeti helyükre kerültek vissza. A hullám a tanulókból álló, kisebb kitérésektől eltekintve nyugvó közegben terjedt. Könnyen megmérhetjük mindkét esetben a **lökéshullám terjedési sebességét**. Ehhez csak az kell, hogy megmérjük a tanulókból álló sor hosszát, és azt az időt, amennyi alatt a jel végigfut a soron. A hossz és az idő hányadosa adja meg a lökéshullám terjedési sebességét.

FIGYELD MEG!

Ugyanilyen hullámokat kelthetünk egy hosszabb méretű spirálrugó (slinky) segítségével is. A rugót fektessük le az asztalra, és a két végpontját távolítsuk el egymástól annyira, hogy a rugó kissé feszes legyen! Ha a rugó egyik végét gyorsan előre-hátra mozgatjuk a rugó hosszirányában, akkor a rugón jól látható módon sűrűsödési és ritkulási szakaszok futnak végig.

A következő oldali felső ábrán láthatjuk, hogy a jobbra-balra mozgó kezünk a hullámforrás, ami a rugó meneteit szintén jobbra-balra történő rezgőmozgásra készíti. A hullám balról jobbra terjed, és ugyanígy kimondhatjuk azt is, hogy a rugóban terjedő hullám balról jobbra energiát szállít.

Az ilyen típusú mozgást **longitudinális** (hosszanti) **hullámnak** nevezzük. Ilyenkor a közeg részecskéi rezgéseiket az energiaterjedés (hullámterjedés) irányában végzik. Longitudinális hullám terjedésekor a közeg sűrűsödéseit, illetve ritkulásait tapasztaljuk.

Ha az asztalon fekvő spirálrugó végét keresztirányban mozgatjuk meg gyorsan, akkor a mexikói hullámhoz hasonló jelenséget láthatunk, amint azt az ábra alsó része mutatja. Ilyenkor hullámhegy és hullámvölgy fut végig a csavarrugón. Ekkor is a kezünk a hullámforrás, de most a rugó vonalára merőlegesen mozog, és a balról jobbra terjedő hullámban most a rugó mensei a rugó hossz tengelyére merőlegesen mozognak el fel-le. Itt is érvényes az a megállapításunk, hogy a balról jobbra terjedő hullám balról jobbra szállít energiát. Az ilyen mozgást **transzverzális** (keresztirányú) **hullámnak** nevezzük, amelyben a közeg részecskéi rezgéseiket az energiaterjedés (hullámterjedés) irányára merőlegesen végzik. Ilyenkor hullámhegyek és hullámvölgyek vonulását észleljük.

Ha valamilyen anyagi közegben mechanikai rezgést keltünk, és ez a rezgés térben és időben továbbterjed, akkor ezt a jelenséget **mechanikai hullámnak** nevezzük. A rezgési állapot térbeli tovaterjedéséhez rugalmas közegre van szükség. Az időbeli terjedés azt jelenti, hogy a közeg távolabbi pontjai ugyanolyan (bár többnyire kisebb amplitúdójú) rezgést végeznek, de nem a hullámforrással egy időben, hanem a hullám véges terjedési sebessége miatt valamennyivel később.

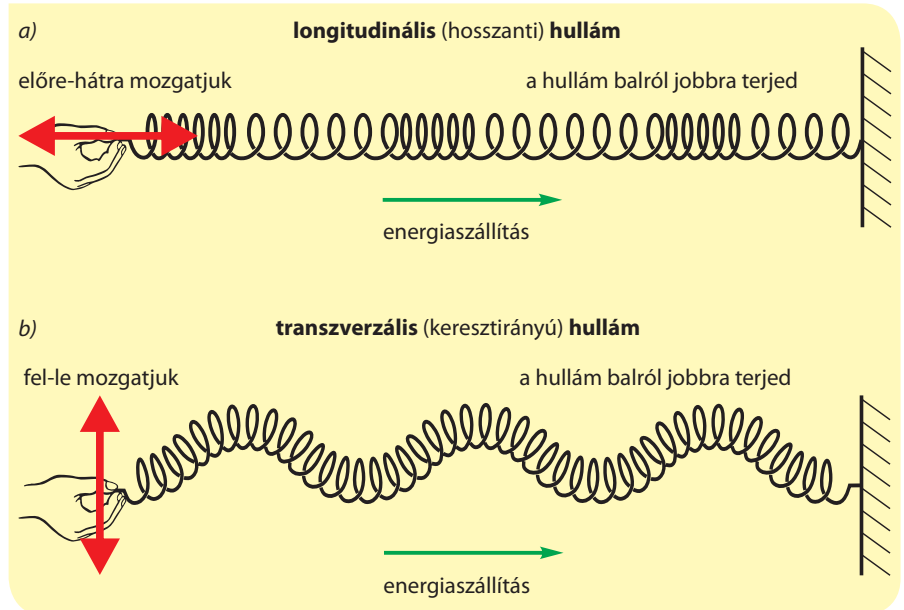
A mechanikai hullámokon belül megkülönböztetjük a **lökéshullámokat** és a folytonosan **haladó hullámokat**. Lökéshullám keletkezésakor a kiindulópontból rövid idő alatt jelentős mennyiségű energia áramlik ki, melyet a későbbiekben nem pótlunk, így egyetlen jel fut végig a közegben. A **mechanikai haladó hullámok** előállításánál a hullámforrásból kiáramló energiát folyamatosan pótoljuk, vagyis a hullámforrás folyamatosan működik.

A mechanikai haladó hullámok jellemzői

A hullámtér pontjai, vagyis a mechanikai haladó hullámot szállító közeg részecskéi rezgőmozgást végeznek T periódusidővel. Ha lerajzoljuk a hullámot, amint azt az ábra is mutatja, akkor megfigyelhetjük, hogy a hullámalak térben ismétlődik, vagyis **a hullám nemcsak időben, hanem térben is periodikus**. Egy adott helyen a közeg részecskéi T időbeli periódussal rezegnek, miközben a haladó hullám térbeli ismétlődést mutat.

Az azonos kitérésű és azonos sebességű pontok egyszerre rezegnek. Két ilyen egyszerre, egyformán rezgő szomszédos pont távolságát **hullámhossznak** nevezzük. A hullámhossz jele: λ (λ : lambda, görög kisbetű), mértékegysége: méter. Például tekinthetjük a szomszédos hullámhegycsúcsok távolságát, vagy a szomszédos hullámvölgyek legalsó pontjainak távolságát, ezek mind ugyanazt a hullámhosszat adják meg (lásd az ábrát).

A mechanikai hullámban a közeg pontjai tartósan nem mozognak egy irányba, hanem rezgőmozgást végeznek, azaz az egyes részecskék kis helyen ide-oda mozognak, változó sebességgel. A hullám (a zavar, a forma) egyenemű közegben viszont egyenes mozgással halad állandó sebességgel. A hullám



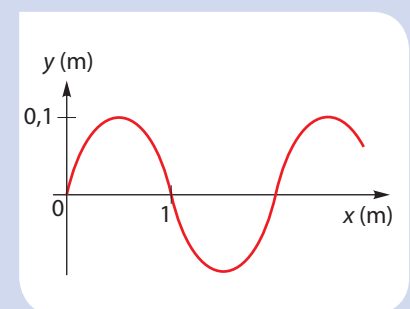
■ Hosszú csavarrugóban terjedő longitudinális (hosszanti) és transzverzális (keresztirányú) hullám

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Az ábra egy haladó hullámról készült pillanatfelvétel. A hullámforrás 5 Hz frekvenciájú rezgést végez.

Mekkora a hullám

- hullámhossza,
- amplitúdója,
- terjedési sebessége?



Megoldás: Az ábráról leolvashatjuk a hullámhosszat és az amplitúdót is:

$$\lambda = 2 \text{ m}; A = 0,1 \text{ m}$$

A terjedési sebességet a hullámhossz és a frekvencia szorzata adja:

$$c = \lambda \cdot f = (2 \text{ m}) \cdot (5 \text{ Hz}) = \\ = (2 \text{ m}) \cdot \left(5 \frac{1}{\text{s}}\right) = 10 \text{ m/s}$$

Hallottál róla?

A hullámmozgás nem csak mechanikai fogalom. Ahogy ezt később majd tanulni fogjuk, a fény is leírható hullámjelenségként. Sőt, a fény az üres térben is terjed, nincs szüksége hordozó közegre.

NE HIBÁZZ!

A hullámban a részecskék nem mozognak tartósan egy irányban. Haladó hullámokban a rezgési állapot, illetve a hullám által szállított energia terjed, a közeg (bár részecskéi rezgő mozgást végeznek) lényegében helyben marad.



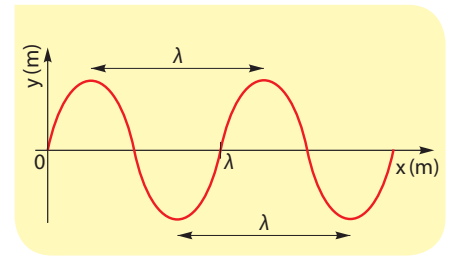
haladását a **terjedési sebességgel** jellemezzük. A terjedési sebesség jele: c , mértékegysége: m/s.

A hullám T periódusidő alatt λ hullámhossznyit halad előre. A haladó hullám terjedési sebessége: $c = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{T}$

Mivel a T periódusidő reciproka éppen a frekvencia ($f = 1/T$), így a haladó hullám terjedési sebessége ilyen alakban adható meg:

$$c = \lambda \cdot f$$

Ez azt jelenti, hogy a haladó hullámban a hullámhossz és a frekvencia fordítottan arányosak egymással, ha a terjedési sebesség állandó. A haladó hullám terjedési sebessége a hullámot szállító közeg anyagi viselkedésétől, lényegében a közeg rugalmas tulajdonságaitól függ.



■ A hullámhossz meghatározása a hullámkép alapján

Hullámfajták

A hullámok egyik lehetséges csoportosítását már említettük. Ez úgy történik, hogy összehasonlítjuk a rugalmas közeg pontjainak rezgési irányát a hullámok terjedési irányával. **Ha a közeg pontjai azonos irányban mozognak, mint amerre a hullám halad, akkor longitudinális (hosszanti) hullámról beszélünk, ha viszont a közeg pontjai a terjedési irányra merőlegesen mozognak, akkor transzverzális (keresztirányú) hullámról van szó.** A levegőben terjedő hanghullámok a longitudinális hullámok legfontosabb példáját jelentik. Rugalmas gumikötélben, húrokban vagy például a tornászlányok szalaggyakorlatakor használt szalagjában terjedő hullámok jellemző példái a transzverzális hullámoknak.

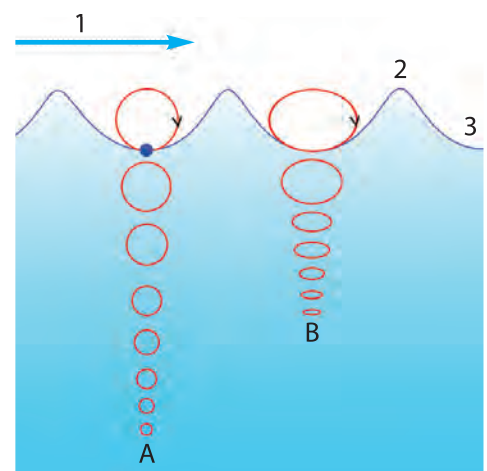
A hullámokat csoportosíthatjuk a hullámtér kiterjedése szerint is. Nem csak vonal menti hullámok vannak. A víz felszínén körhullámokat indít a vízbe ej-

Hallottál róla?

A tavak, tengerek felületén a szél hatására kialakuló vízhullámokról könnyen azt hihetjük, hogy ezek transzverzális, vagyis keresztirányú hullámok. A víz azonban nem összenyomható, nem tágítható, tehát a vízszintesen valamilyen irányba terjedő vízhullámok esetén a víz részecskéi nem mozoghatnak tisztán függőlegesen fel-le.

A vízhullámban a vízrészecskék igen érdekes mozgást végeznek. A periodikus le-fel mozgásukkal egyidejűleg előre-hátra is mozognak. A nagyobb vízhullámok felszínhez közeli részecskéi kb. azonos tulajdonságú egyenletes körmozgást végeznek, amint ez az ábra bal oldali részén látható. Ha a víz sekély, akkor a körmozgás lapultabb ellipszisszerű mozgássá változik, amit az ábra jobb oldala mutat. Itt a B pont lényegében a tó vagy a tenger fenekének felel meg. Ezt a furcsa le-fel és előre-hátra mozgást te is érezheted, ha a tenger szélén vagy a strand hullámedencéjében lubickolsz.

A vízhullámokat a transzverzális és a longitudinális hullámok kombinációjaként lehet felfogni, vagyis nem szabad azt gondolni, hogy minden hullám vagy tisztán longitudinális, vagy tisztán transzverzális.

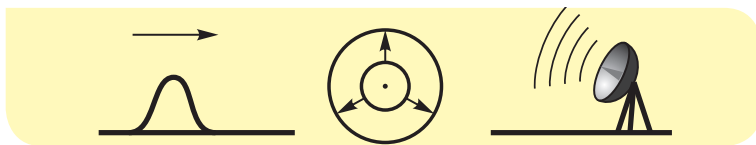


■ A vízrészecskék mozgási iránya vízhullámok esetén mélyebb (balra) és sekélyebb (jobbra) vízben

tett kavics, a dobverő felületi hullámokat kelt a dob kifeszített membránjában. A gyorsan egymásnak csapott tenyerünk (a taps) a levegő sűrűsödését-ritkulását indítja el, ez a lökéshullám térben terjed. A hullámok csoportosíthatók a hordozó közeg kiterjedése szerint.

Ennek alapján léteznek:

- vonal menti,
- felületi,
- térbeli hullámok.



■ A vonal menti, a felületi és a térbeli hullámok egy-, két-, illetve három dimenzióban terjednek

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Keress az interneten olyan filmet, ami stadionban kialakuló mexikói hullámot mutat! Végezz becslést a hullám terjedési sebességére! A feladat elvégzéséhez például ezt a filmet tudjuk ajánlani: <https://www.youtube.com/watch?v=wTeHBtNjkhM>
2. Járj utána (akár az interneten), hogyan függ a vízhullám terjedési sebessége a vízmélységtől!
3. Keresd ki az interneten a hang terjedési sebességét levegőben, vízben, acélban! Vajon mi lehet a nagy eltérések oka?
4. A hang is mechanikai hullám. Terjedési sebessége levegőben kb. 340 m/s. Mekkora a hullámhossza a 440 Hz frekvenciájú normál zenei „a” hangnak?
5. Egy 28 tagú osztály érdekes játékot játszik. Kört alkotnak, és a szomszédok megfogják egymás kezét. András egyszer csak megszorítja a jobbán álló társa kezét, és innentől akinek megszorítja valaki a bal kezét, az megszorítja a jobbán álló kezét. Jellemezd az így létrejövő hullámot! Lökéshullám vagy haladó hullám? Transzverzális vagy longitudinális hullám? Esetleg nem is lehet ezt egyszerűen eldönteni?

NE FELEDD!

Rugalmas közegben keltett jel térbeli és időbeli tovaterjedése a mechanikai hullám.

A haladó hullám térbeli ismétlődésének, periodikusságának mértéke a λ hullámhossz, a hordozóközeg adott pontjában lejátszódó rezgések időbeli periodikusságának mértéke a T periódusidő.

A hullámmozgás alapegyenlete:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

A hullámokat csoportosíthatjuk:

- a hullámter kiterjedése alapján: vonal menti, felületi, térbeli hullámok.
- a hullám terjedési irányához képest a közeg részecskéinek elmozdulási iránya szerint: transzverzális, longitudinális hullámok.

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy kilátótorony 45 méter magasan lévő teraszáról kiejtünk egy kavicsot. Mennyi idő múlva halljuk meg a kavics földet érésakor keletkező koppanást? A nehézségi gyorsulás $9,81 \text{ m/s}^2$, a hang terjedési sebessége levegőben 340 m/s .
2. Hosszú rugalmas gumizsinór egyik végén $0,5 \text{ s}$ periódusidejű haladó hullámot keltünk. A hullám terjedési sebessége 6 m/s .
 - a) Mekkora a hullám frekvenciája, hullámhossza?
 - b) Milyen hosszú a hullám 3 teljes hullámból álló szakasza?
3. Egy haladó hullám amplitúdója $0,2 \text{ m}$, hullámhossza $0,5 \text{ m}$. Kitérés-hely koordináta-rendszerben készítsd el vázlatosan a hullám pillanatfelvételét!
4. A fény és a hang is hullámjelenség. A fény terjedési sebessége $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, a hang terjedési sebessége 340 m/s . Mennyi idő alatt érkezik el hozzánk a tőlünk 3 km távol keletkező villám hangja? Vajon hogyan lehet műszer által mért adatok nélkül könnyen kiszámolni a villám keletkezési helyének tőlünk mért távolságát?
5. Egy nagyobb méretű hangvilla egyik szárára rugalmas fémhegyet erősítünk, amit a hangvilla megpendítése után kormozott üveglapon húzunk végig. A kirajzolódó hullámvonalon centiméterenként öt teljes rezgés nyomát látni. Mekkora sebességgel mozgattuk a hangvillát, ha a hangvilla normál „a” hangot ad?

27. | Földrengések (kiegészítő anyag)

Már az ókor óta vannak feljegyzések hatalmas pusztítású földrengésekről. A katasztrófákat nem lehetett előre jelezni, sőt a földrengések okát sem tudta senki, ezért az emberek isteni büntetésnek tartották. Ugyan még ma sem tudjuk a földrengéseket megbízhatóan előre jelezni, de már csak kevesen gondolják a rengéseket az isteni harag megnyilvánulásának.

Mit gondoltak régen?

Az ókori görögök Poszeidónt (a tenger istenét), a rómaiak Vulcanust (a tűz és a vulkánok istenét) gondolták a földrengések kiváltójának. Egy japán monda szerint a Föld belsejében élő harcsa, Namazu mozgásai okozzák a földrengéseket.



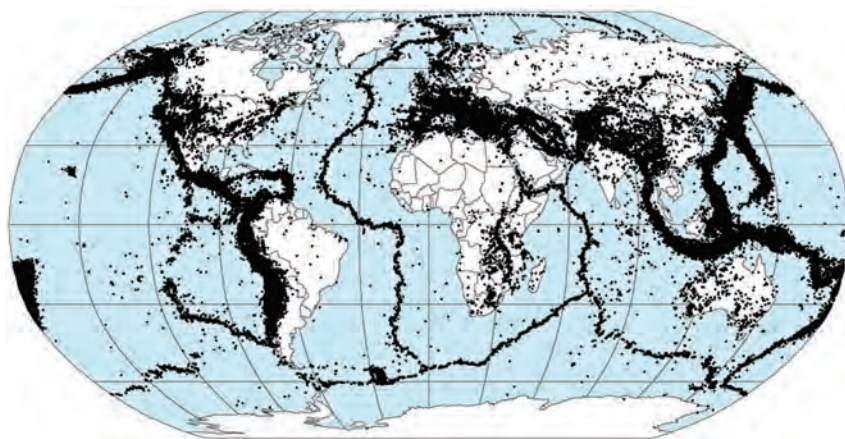
■ Namazu

Földrengések keletkezése

A Föld felszínének egy részén bekövetkező hirtelen mozgást és ennek térbeli tova terjedését nevezzük **földrengésnek**. A közel gömb alakú Föld réteges szerkezetű. A Föld külső kérgé kőzetlemezekből áll. A szilárd kőzetlemezek az alattuk lévő, nagyon nehezen áramló, nagyobb sűrűségű, mégis folyadékszerűen viselkedő réteg tetején úsznak.

Ebben a folyadékszerű rétegben azért történik anyagáramlás, mert a Föld belseje nagyon forró, és a hőterjedés itt jellemzően a forró anyag áramlásával történik. Vannak olyan területek, ahol felfelé, máshol lefelé zajlik a hőáramlás, ezek között a tartományok között pedig az anyagáramlás a Föld felszínével párhuzamos. Ezért vándorolnak a földrészek, és ezzel a jelenséggel, az úgynevezett **lemeztektonikával** magyarázhatjuk azt is, hogy bizonyos területek miért sokkal inkább földrengésveszélyesek, máshol viszont miért nagyon ritka a földrengés.

A legtöbb földrengés kőzetlemezek találkozásánál keletkezik. Az egyik kőzetlemez a másik alá bukik, eközben a megfeszülő lemezek egy bizonyos határig rugalmasan változtatják az alakjukat. A rugalmasság határán túl a felhalmozott mechanikai feszültség hirtelen megszűnik, és az addig tárolt energia rengéshullám formájában szétszóródik a környezetbe. A Föld mélyében a rengés kiindulási pontját **hipocentrumnak** (fészeknek) nevezzük. A fészekhez legközelebbi felszíni pont az **epicentrum**. A legtöbb földrengés fészke legfeljebb 30 km mélyen van, de mértek már 600 km fészekmélységű földrengést is.



■ A földrengések eloszlása a Földön. Hol keletkeznek kivételesen gyakran földrengések?

A földrengések földrajzi eloszlása szépen kirajzolja a kőzetlemezek határait, amint ezt az ábrán is láthatjuk. Ez a lemeztektonika egyik fő bizonyítéka.

A földrengéshullámok fajtái

A földrengés létrejöttkor többfajta hullám indul útnak. A hullámterjedés helye szerint megkülönböztetünk térbeli hullámokat, melyek a Föld belsejében terjednek, és felületi hullámokat, melyek a Föld felszínén haladnak.

A Föld belsejében terjedő térhullámok gyorsabban haladó részét **p- (primer, elsődleges) hullám**nak nevezzük. A primer hullám longitudinális, folyadékban és szilárd anyagban is terjed. A hullámban a részecskék mozgásiránya megegyezik a hullám haladási irányával, összehúzóási és kitérítési szakaszok követik egymást.

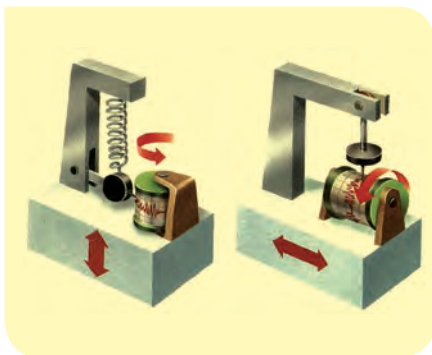
Az elsődleges hullámot kissé lemaradva követi az **s- (szekunder, másodlagos) hullám**. A szekunder hullám transzverzális hullám, csak szilárd anyagban figyelhető meg. Ebben a hullámban a részecskék mozgásiránya merőleges a hullám haladási irányára. Mivel a térhullámok a Föld belsejében terjednek, és a különböző sűrűségű anyagokban különböző sebességgel haladnak, felhasználhatóak arra, hogy segítségével meghatározzák a Föld belső szerkezetét.

A p- és az s-hullámoknál is lassabbak az úgynevezett **felületi hullámok**. Ezek a Föld felszínén haladnak, nem hatolnak a mélybe, ezért csak lassan veszítik el az energiájukat, néha többször is körbefutják a Földet. Az emberek általában kisebb földrengések esetén csak ezeket érzik meg, mert a térhullámok sokkal kisebb távolságon lecsengenek. Sokszor előfordul, hogy az érzékenyebb állatok megérik a térhullámokat, az emberek viszont csak a később érkező felületi hullámokat. Ezért többször megfigyelték, hogy az állatok furcsán viselkednek a földrengés előtt, mintha előre éreznék azt.

A felületi hullámoknak is két fajtája van. A kettő közül a gyorsabb az úgynevezett **L-hullám**, ami A. E. H. Love angol matematikusról kapta a nevét, mert Love elméleti úton megjósolta az ilyen hullámok létezését 1911-ben. Az L-hullámok a felszínen terjednek valamilyen irányban, és a felszín részecskéi vízszintesen, a terjedési irányra merőlegesen mozognak el. Ezért az L-hullámok transzverzálisak.

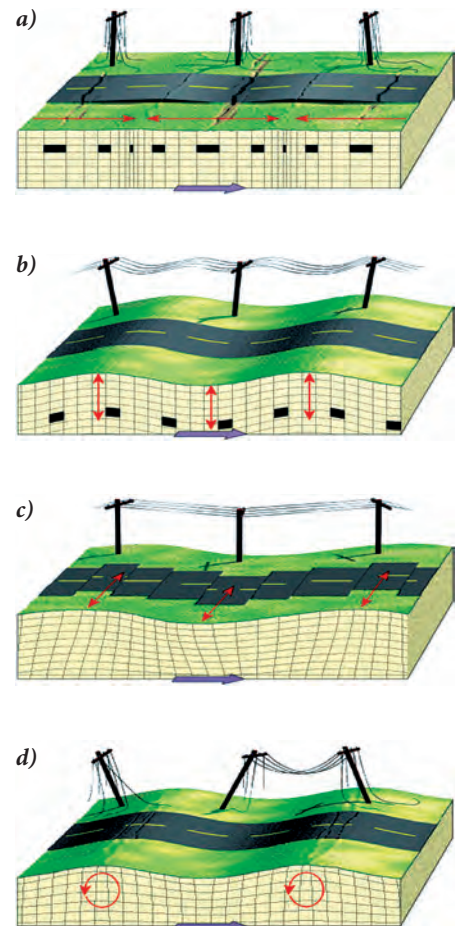
A felületi hullámok másik fajtáját Lord Rayleigh fedezte fel 1885-ben, és róla **R-hullámok**nak nevezték el. Ezek hasonlóak a vízhullámokhoz, kissé lassabbak az L-hullámoknál, de még így is nagyjából tízszer gyorsabbak a hang levegőbeli terjedésénél, vagyis nagyjából $3 \text{ km/s} \approx 10\,000 \text{ km/h}$ sebességgel mozognak. Az R-hullámok megjelenésekor a Föld felszíne erősen hullámzik, és ezek a hullámok rendkívül gyorsan futnak a felszínen. Az R-hullámok esetén a részecskék függőleges síkú körkörös mozgást végeznek a vízhullámokhoz hasonlóan, tehát az R-hullámok se nem longitudinálisak, se nem transzverzálisak, hanem ezek kombinációjának tekinthetjük őket.

Földrengések mérése

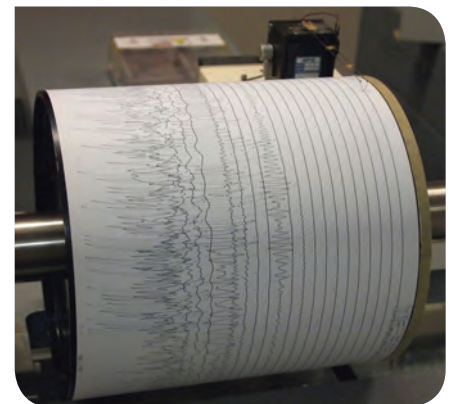


■ A függőleges és vízszintes talajmozgást rögzítő szeizmográf működési elve

A földrengés kimutatására, mérésére több eszköz is használatos. A múltban használt szeizmométerrel rögzíteni lehetett a földrengés idejét, nagyságát, irányát. A szeizmográfal már a talajmozgás időbeli lefutását is rögzíteni lehetett. Ez a készülék egy, a talajhoz rögzített keretből, és egy, a kerethez lazán, rugalmasan erősített tehetetlen testből áll. A földdel együtt mozgó keret és a test relatív elmozdulását mérik, majd a jeleket felerősítik, rögzítik, és értékelik.



■ A fenti négy ábra közül melyik ábrázolja a primer, a szekunder, az R-típusú és az L-típusú földrengéshullámokat?



■ Szeizmográfal készülő szeizmogram

NE HIBÁZZ!

Habár a tudományos álláspont szerint a földrengéseket előre jelezni lehetetlen, azért az alkalmazásfejlesztők megpróbálkoznak rávenni a hiszékeny okosmobilosokat, hogy használják előrejelző rendszereiket. Van olyan „Földrengés-Előrejelző Eszköz” (Earthquake Prediction Device) nevű alkalmazás, ami arra az állításra épít, hogy a földrengéseket megelőző órákban jelentősen megváltozik a Föld mágneses mezeje, azaz az iránytűk megőrülnek, ennek segítségével igyekeznek megjósolni a bekövetkező földmozgásokat. Természetesen a szoftver leírásában is szerepel, hogy a jelzésből nem következik egyértelműen a földmozgás bekövetkezése, és a fejlesztők nem vállalnak felelősséget semmiért.



■ Földrengés-előrejelző okosmobilos alkalmazás

A földrengések hatásai

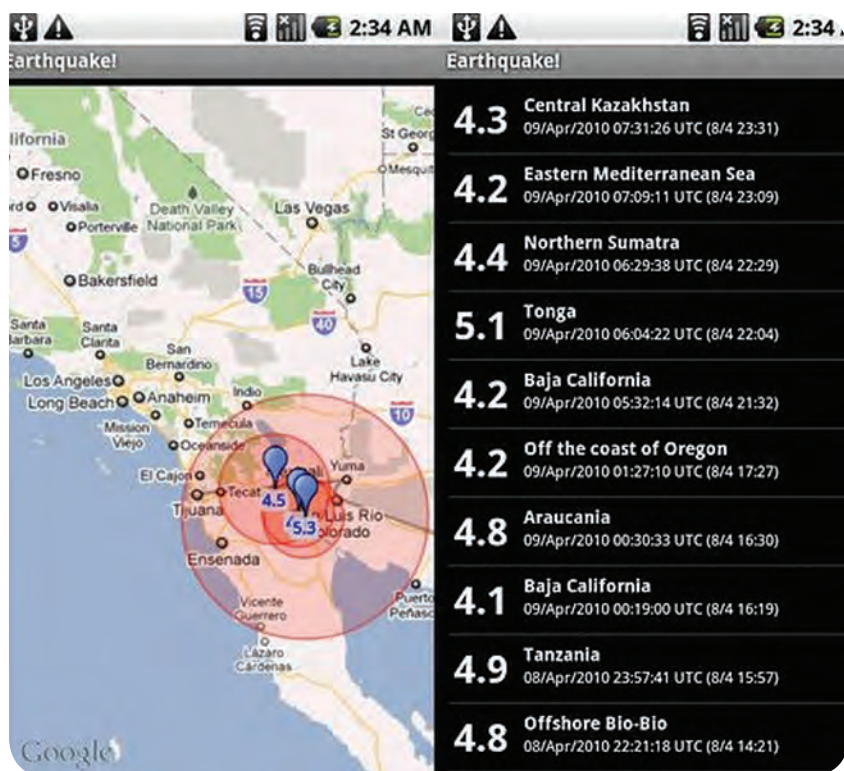
A földrengés pusztítását alapvetően a rengés kipattanásakor felszabaduló energia határozza meg. A rengés erősségét a szeizmográf által jelzett legnagyobb kitérés és az epicentrumtól való távolság felhasználásával számolják ki. Így lehet kiszámolni az adott földrengés Richter-magnitúdóját. A skála nem lineáris, hanem mértani sorozat szerint növekszik. Ez a Richter-skála esetében azt jelenti, hogy minden 0,2 értékű magnitúdónövekedés az előzőhöz képest kétszer akkora energiát jelent, vagyis ha 1 egészszel nő a magnitúdó, akkor az $2^5 = 32$ -szeres energiának felel meg. A skála elvileg felfelé nyitott, de 10-nél nagyobb magnitúdójú földrengést még nem mértek. A **Richter-skála** szerinti legnagyobb rengés 1960-ban volt Chilében, 9,5-es. A közelmúltban a legnagyobb rengés 2011-ben történt Japán keleti partjainál, ami 9-es magni-

Hallottál róla?

Ma már nagyon olcsóvá váltak a gyorsulásérzékelők, és ilyeneket játékok céljából okostelefonokba is beépítenek. Ezekre a telefonokra le lehet tölteni földrengés-érzékelő programokat is, vagyis ma már szinte bárkinek lehet saját hobbiszeizmográfja.

Elérhető olyan program, amely mindhárom térbeli koordináta mentén méri a telefon elmozdulását, mégpedig olyan érzékenyen, hogy ha letesszük a telefont az asztalra, amit aztán koppintással vagy óvatos lökdöséssel megrezegtetünk, a kijelző élénk grafikonkitérésekkel reagál. Beállíthatunk hangriasztást is bizonyos rezgésnagyság elérése esetére, így aki amiatt aggódik, hogy a fejére zuhanó könyvespolc ébreszti, kérhet ébresztést például 3,5-es rengések mérésére, s még idejében menekülőre foghatja.

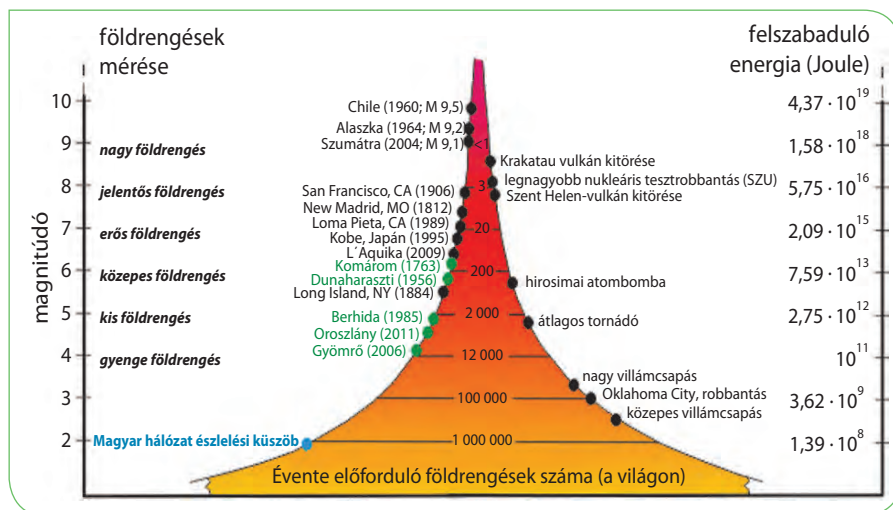
Ingyenesen letölthető olyan alkalmazás is, ami naprakészen tájékoztat a világban kipattant földrengésekről.



■ Mit jelentenek a bal oldali számok?

túdójú volt. Ez volt Japán modern kori történelmének legnagyobb földrengése, ami hatalmas cunamit (40 métert meghaladó árhullámokkal) okozott, és tönkretette az atomerőművet Fukusima közelében. A rengés hipocentruma 32 km mélyen volt a tenger alatt, és az epicentrum nagyjából 70 km-re volt a legközelebbi partoktól.

Magnitúdó	A rengés ereje	A pusztítás mértéke	A hasonló erejű rengések gyakorisága
< 2,0	mikrorengés	csak műszerekkel érzékelhető	naponta 8000
2,0–2,9	rendkívül gyenge	a legtöbb ember még nem érzékeli	naponta 1000
3,0–3,9	nagyon gyenge	általában érzékelhető, károkat még nem okoz	évente 49 000
4,0–4,9	gyenge	a csillárok kilengenek, morajlás hallatszik, károk csak ritkán keletkeznek	évente 6200
5,0–5,9	közepes	a szerkezetileg gyenge épületekben komoly károk is keletkezhetnek	évente 800
6,0–6,9	erős	erősebb épületek is megrongálódnak az epicentrumtól 50-80 km távolságban is	évente 120
7,0–7,9	igen erős	súlyos károk: házak és hidak összeomlása, utak, vasúti sínek deformációja	évente 18
8,0–8,9	nagyon erős	súlyos károk több száz kilométeres körzetben, többméteres lezökkenések, hegyomlások	évente 1
9,0–9,9	rendkívüli erejű rengés	rendkívüli pusztítás, megváltozik a táj	átlagosan 20 évente fordul elő
≥ 10	globális katasztrófa	a földkéreg kettéreped, a törésvonalak tovább húzódnak, hihetetlen pusztítás	még nem történt



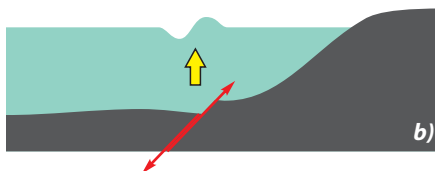
A földrengés kutatók empirikus (vagyis tapasztalatokon alapuló) összefüggést találtak a szeizmográfok kitérési amplitúdója és a földrengések energiája között. Ez az összefüggés azt mondja ki, hogy ha az amplitúdó tízszeresére növekszik, akkor a földrengés energiája kerekítve 32-szer nagyobb (a pontos érték $\sqrt{1000} \approx 31,6$). Megállapították például, hogy egy 4,5 magnitúdójú földrengés kipattanásakor nagyjából akkora energia szabadul fel, mint egy kisebb atombomba robbanásakor. A 4,5-es rengés már olyan nagy, hogy azt a Föld bármely pontján érzékelik a szeizmográfok (kivéve, ha földrengésárnyékban vannak). Az eddigi legnagyobb rengés, az 1960-as chilei 9,5 magnitúdójú földrengés a gyengének számító 4,5-eshez képest 5 magnitúdóval nagyobb.

NE HIBÁZZ!

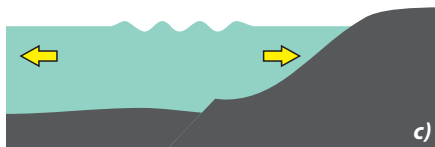
Nagyobb földrengések után vannak emberek, akik a világvége közeli eljövételét hirdetik. Ez nyilván butaság, hisz a feljegyzések szerint már az ókorban is voltak pusztító erejű földrengések.



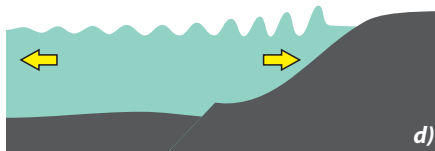
a)



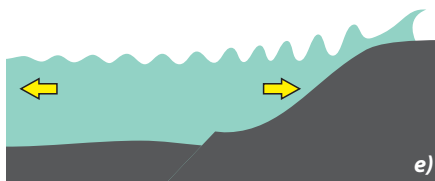
b)



c)



d)



e)

Ekkor a szeizmográfok kilengésének 10^5 -szeresnek, vagyis százezerszeresnek kellett volna lenniük, persze ekkora kilengésekre a közönséges készülékek nem alkalmasak. A chilei rengés energiája a 4,5-es gyenge rengések energiájához képest $(\sqrt{1000})^5 \approx 32$ milliószor volt nagyobb, vagyis ekkor 32 millió kisebb atombomba energiájának megfelelő rugalmas energia pattant ki a Föld belsejében a tektonikus lemezek egymáshoz feszülésének következtében.

A cunami

A tengeri árkokban kipattanó földrengés, víz alatti tűzhányó felrobbanása vagy tenger alatti földcsuszamlás tengerrengést, más néven cunamit (japánul „cu” = kikötő, „nami” = hullám) kelt. A cunami egy óceánfelszíni hullámfajta, amely a parttól távol hatalmas sebességgel terjed, de ott a csekély magassága miatt alig észrevehető. A cunami általában a nyílt vízben a nagy utasszállító repülőgépek sebességével (800–1000 km/h) halad, viszont a hullám magassága jellemzően mindössze 0,5 méter.

Míg a viharos szelek által keltett felszíni vízhullámok hullámhossza az óceánokon kb. 100 méter, addig a cunami hullámhossza több száz km (!) is lehet. Így az 5-6 km mély óceánban haladó tengerrengésekre használható a „sekélyebb vizekben” érvényes összefüggés: a vízhullámok c terjedési sebességét gyakorlatilag csak a h vízmélység határozza meg a $c = \sqrt{gh}$ képlet alapján. (Ez azt jelenti, hogyha a vízmélység a negyedére csökken, akkor a hullám sebessége a felére.) A szomszédos folyadékrészek csak kicsit mozdulnak el egymáshoz képest, ezért a belső súrlódás hatása is nagyon kicsi, a cunami a nyílt vízben szinte csillapítatlanul halad. A partközeli sekély vízben a hullám viszont jelentősen lelassul, feltorlódik, ezért a hullámhegy magassága többméteresre nő. A víz a partra kicsapva akár több száz méter széles sávban is óriási pusztítást okozhat a szárazföldön. A 2011. március 11-én történt hatalmas földrengést követő cunami Japán egyes területein 10 km széles sávban öntötte el a szárazföldet.

■ A cunami kialakulása:

- nyugodt vízfelszín;
- a tenger alatti földrengés deformációt okoz a felszínen;
- a forrástól gyorsan távolodó, nagyon széles, kis magasságú hullám;
- a part közelében feltorlódik, a hullámhegy megnő;
- a hatalmas hullámok mélyen behatolnak a szárazföld belsejébe



■ A 2004. karácsonyi szökőár pusztítása Szumátrán



■ A 2011-es hatalmas japán cunami okozta a fukushimai atomerőmű radioaktív sugárzással járó katasztrófáját

NE FELEDD!

A kőzetlemezek mozgása során a földkéregben felhalmozott energia hirtelen felszabadulása és hullámszerű terjedése a földrengés. A rengéshullámoknak több fajtája van: térbeli (P és S típusú) és felületi (R, L típusú) hullámok.

A Földön több mint ezer mérőállomás regisztrálja a földmozgásokat. A földrengések erősségét általában a Richter-skála szerinti magnitúdóegységben adják meg. A földrengések biztos előrejelzése még nem ismert.

Veszélyes területeken elterjedt a földrengésbiztos építkezés. Földrengéskor nagyon fontos a helyes magatartás.

A tenger alatti földrengés ritka, de nagyon pusztító következménye lehet a cunami, ami egy olyan hatalmas hullám az óceánokban, mely a partokon feltorlódik, és hatalmas pusztításra képes.

Hallottál róla?

A földrengések vizsgálatával a szeizmológia tudománya foglalkozik. A *seismos* görög szó, jelentése: rázkódni.

Meglepő módon a földrengéseknek van hasznuk is. A valahol kipattanó rengés minden irányba végigfut a Föld belsejében. A hullám terjedési sebessége függ a közeg minőségétől. A sok-sok műszer által begyűjtött adatok feldolgozásával a Föld belső szerkezetét ismerhetjük meg.

Magyarországon 1891-ben indult a földrengések műszeres megfigyelése tíz szeizmoszkóp megvásárlásával. Ma hazánkban 14 földrengésjelző állomás működik.

Magyarország nem földrengésveszélyes terület. A történelmi feljegyzések szerint hazánkban az 1763-as, 6,3 magnitúdójú komáromi katasztrófa volt a legpusztítóbb: a város harmada romba dőlt, 63 ember meghalt.

A magyarországi földrengéskutatás kiemelkedő alakja *Kövesligethy Radó* csillagász és geofizikus volt, aki 1906-ban megalapította a Budapesti Tudományegyetem Földrengési Számoló Intézetét és a földrengéskutatással foglalkozó Földrengési Observatóriumot. Élete végéig a földrengések előrejelzésének lehetőségeit kutatta.

A történelem legpusztítóbb feljegyzett földrengése 1556. január 23-án Kínában, Senhszi tartományban történt. 830 ezer ember meghalt, másfél millió megsebesült. Az utólagos kutatások szerint ez a rengés a Richter-skála szerint 8,3-es erősségű volt. A halálos áldozatok rendkívül nagy számát elsősorban az okozta, hogy az érintett területen az emberek hagyományosan löszfalakba vájt mesterséges barlangokban laktak, amelyek könnyedén beomlottak.

A földrengésveszélyes területeken nagyon fontos, hogy az épületeket úgy tervezzék meg, hogy lehetőleg ellenálljanak a rengéseknek. Ha rugalmas gerendákat és oszlopokat építenek be, akkor a falak ellenállnak a rezgéseknek. Ugyancsak hatásos az a megoldás is, ha az épület nincs hozzárögzítve az alapozásához. Ilyenkor az alap a talajjal együtt reng, de ezt az épület csak kevésbé veszi át.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

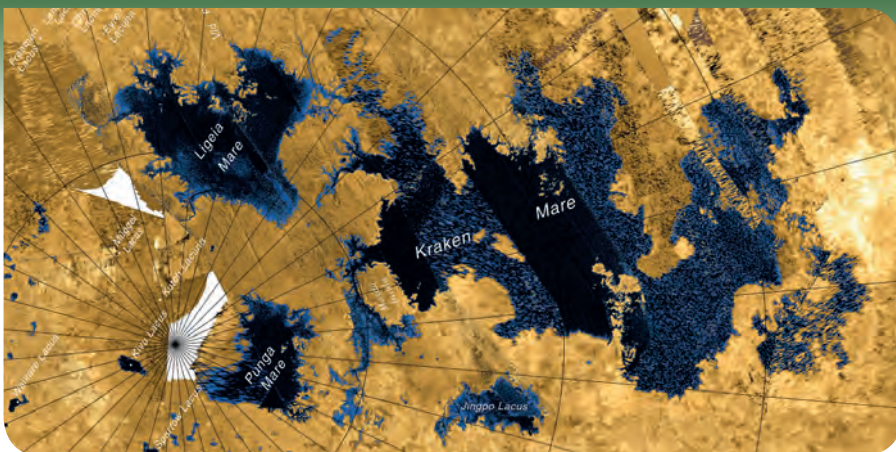
- Járj utána az interneten, és jelöld egy térképen, hol voltak földrengések az elmúlt 24 órában!
- Járj utána, hogy a cunaminak milyen előjelei lehetnek!
- Előfordulhat-e, hogy egy bolygón egyáltalán nincs földrengés?
- Keresd meg az interneten, hogy Tarics Sándornak milyen, a földrengés kárait csökkentő építészeti találmánya volt!
- Földrengés előtt az állatok furcsán viselkednek, mintha előre éreznék a közelgő földrengést. Mi a magyarázata ennek?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

- A sekély víz hullámok terjedési sebességét a $c = \sqrt{gh}$ összefüggés adja meg, ahol h a vízmélység, g a nehézségi gyorsulás értéke. A tenger alatti földrengés által keltett cunami hullámhossza több száz km, így használhatjuk rá a fenti összefüggést. Mekkora a cunami sebessége az 5000 m mély nyílt vízben, illetve partközelségben, ahol 10 m a vízmélység?
- Hány joule energia szabadulhatott fel a világ eddigi legnagyobb erősségű (bár nem a legtöbb áldozatot követelő) ismert földrengésében (Chile, 1960), ha ez 32 millió atombomba energiájának felel meg? Egy atombombát tekintünk 20 kT (húsz kilotonna) energiájúnak, ami azt jelenti, hogy ez 20 000 tonna hagyományos TNT (trinitro-toluol) robbanóanyag robbanásakor felszabaduló energiájával egyezik meg. Egy gramm TNT robbanási energiája nagyjából 4200 J.
- Dunaharaszttiban 1956-ban 5,6-es, Érsekvadkert közelében 2013-ban 4,2-es erősségű földrengés volt. Hányszor több energia szabadult fel a földrengés során 1956-ban, mint 2013-ban?

A Titán

(a Szaturnusz holdja) felszínén metán tavakat és vízjég szárazföldeket látunk. Hogyan lehetséges ez?



Vasbetont

számos helyen alkalmaznak. Ha vas helyett acélt használnának, nagyobb lenne a szilárdsága. Miért nem ezt a megoldást választják?



Köddel

általában ősszel és télen találkozunk, vízpart ingoványos részén azonban derült éjszakákon időnként nyáron is előfordul. Mi ennek a magyarázata?



V. A MELEGÍTÉS ÉS HŰTÉS KÖVETKEZMÉNYEI



A földi hideghez

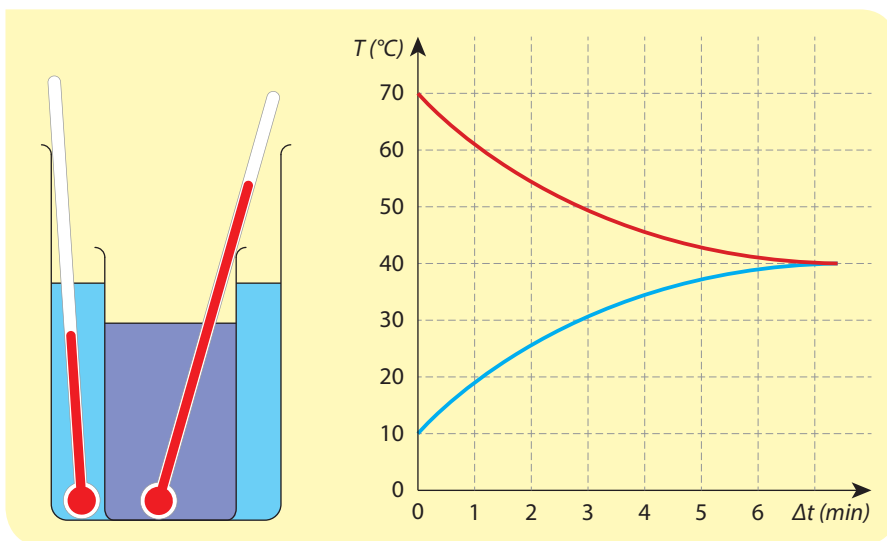
és meleghez az embernek egyaránt alkalmazkodnia kell. Hogyan oldjuk meg mindezt, s ezzel hogyan alakítjuk át környezetünket?

28. | Termikus kölcsönhatás, hőtágulás, hőmérsékletmérés

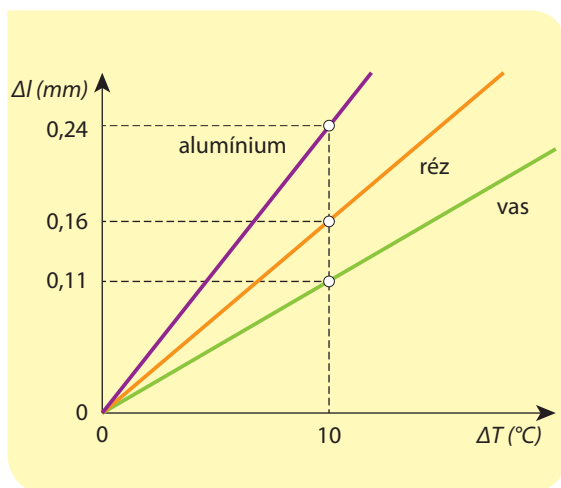


Ha két különböző hőmérsékletű testet hozunk egymással érintkezésbe, az egyik test hőmérséklete csökken a másik test hőmérséklete nő. Ez a változás addig tart amíg hőmérsékletük ki nem egyenlítődik, azaz azonossá nem válik. Ezt a kölcsönhatást termikus kölcsönhatásnak nevezzük.

Termikus kölcsönhatás játszódik le a villanytűzhelyen felmelegedő edény és villanytűzhely forró lapja között, az edény alja és az edényben lévő hideg kávé között. Ha kitöltöttük a már forró kávéval egy pohárba és egy szobahőmérsékletű kanalat teszünk bele, a kávé és a kanál között. Ha a fűtőtest közelébe húzódunk kávénkkal, akkor a fűtőtest és a melegedő levegő között, a meleg levegő és testünk között.



■ Az ábra egy pohár forró víz lehűtését ábrázolja egy edény hideg vízben. A grafikon a hőmérsékletek alakulását mutatja.



■ A különböző anyagok hőtágulása különböző

Melegítés hatására az anyagok megváltoztatják méretüket. Ezt a jelenséget hőtágulásnak nevezzük. Egy anyagdarab mérete általában megnő melegítés hatására. A növekedés mértéke függ attól, hogy mekkora volt az anyagdarab mérete melegítés előtt, hogy milyen anyagról van szó (mekkora a hőtágulási együtthatója), s hány fokkal melegedett fel az adott anyagdarab. A hőtágulás mértéke a felsorolt mennyiségekkel egyenesen arányos.

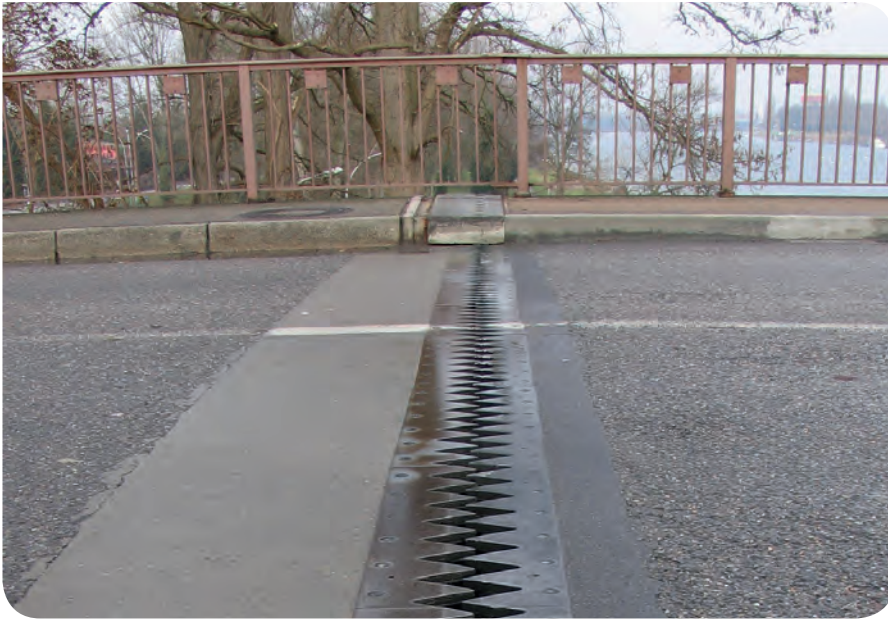
Ugyanakkor egy anyag hőtágulási együtthatója hőmérsékletének függvényében változhat, sőt akár negatív is lehet.



■ A nem megfelelően rögzített sínpár a hőtágulás hatására elgörbülhet

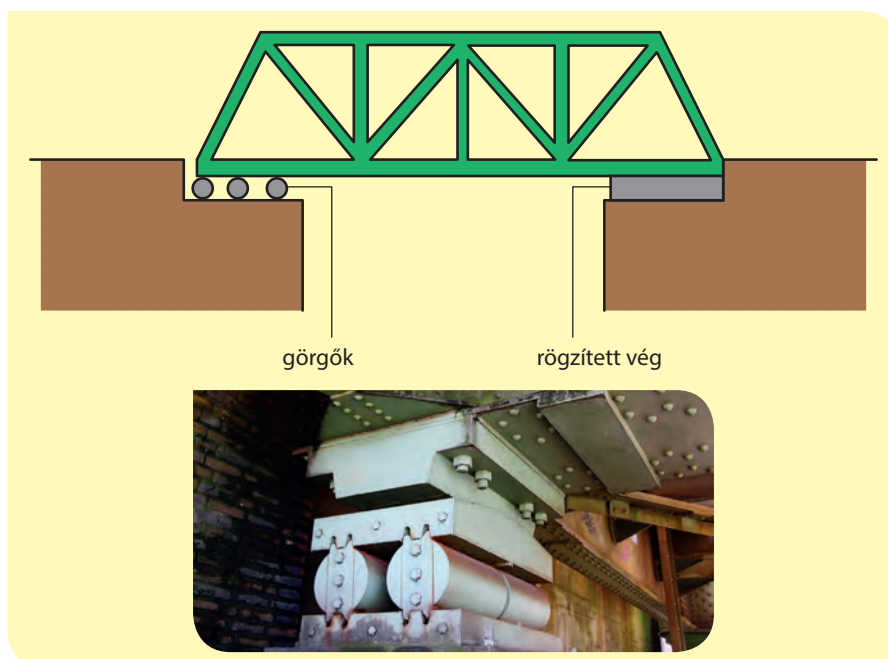
Egy drót tágulása során elsősorban hossza változik észrevehetően. Ilyenkor lineáris hőtágulásról beszélünk. A folyadékok és gázok hőtágulását térfogati hőtágulásként írjuk le.

A víz hőtágulása eltér a többi folyadékétól. 4 °C felett a többi folyadékhoz hasonlóan a hőmérséklet növekedésével tágul. A többi folyadéktól eltérő módon azonban 4 °C alatt a hőmérséklet csökkenésével nő a térfogata. A térfogati hőtágulási együtthatója ilyenkor negatív. Ennek megfelelően a 4 °C-os víz sűrűsége maximális.

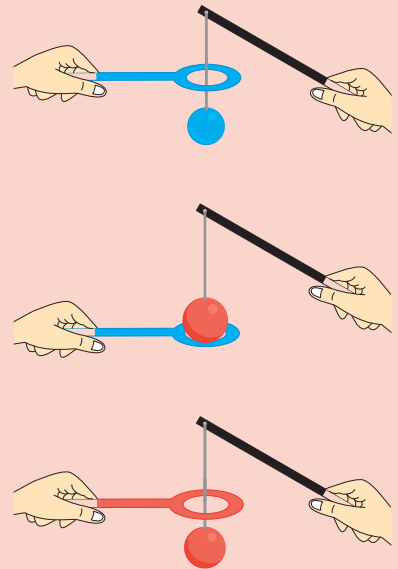


A hőtágulás elve

Tapasztalataink szerint nyáron a villanyvezetékek jobban belógnak két tartóoszlop között, mint télen. A vezeték meleg hatására kitágul. Egy test hőmérséklete és alakja kapcsolatban van egymással. Melegítés hatására a levegő



KÍSÉRLETEZZ!



Tapasztalatok:

A hideg gömb átfér a karikán. A melegítés hatására a gömb kitágul, s már nem fér át a hideg karikán. De ha a karikát is melegítjük, az is kitágul, s ismét átfér a most már meleg gömb a meleg karikán.

Hőtágulási adatok

A felsorolt anyagokból készített 1 m hosszú rudak 100 °C hőmérséklet-növekedés hatására különböző mértékben nyúlnak meg:

acél	1,1 mm
alumínium	2,4 mm
arany	1,4 mm
ólom	2,8 mm
üveg	0,9 mm

■ A vashidak egyik vége görgőkön nyugszik, hogy a híd alakja a hőtágulás közben ne változzon

Hogyan volt régen?

Hőléggallon

A melegítés hatására kitáguló levegő sűrűsége kisebb, mint a környező hűvösebb levegőé, így a meleg levegő felszáll. A hőléggallon felemelkedik, ha a ballonba rekedt levegőt alulról fűtik. Az első hőléggallont a francia Mongolfier testvérek készítették Járművükkel 1783-ban Pilatre de Rozier fizikus és Arlandes márki 25 perces légi utazást tett meg Párizs környékén. A hőléggallon nagyon nehezen irányítható. Az irányíthatóság problémáját a magyar Schwarz Dávid oldotta meg. Az ő járművét nem meleg levegő, hanem a környező levegőnél szintén kisebb sűrűségű hidrogéngáz „emelte”. Alumíniumváz szerkezete 47,5 méter hosszú, 13,5 méter átmérőjű, két végén kúpos, henger alakú (szivar alakú) test volt. A 3605 m³ térfogatú jármű 1897. november 3-án hajtott végre sikeres próbarepülést. De ezt a feltaláló már nem érthette meg, az év januárjában, nem egész 47 éves korában meghalt. Szabadalmát özvegye eladta Ferdinánd Zeppelinnek, aki néhány év alatt kifejlesztette a róla elnevezett kormányozható léghajót, a Zeppelint. Ezek a hatalmas légi járművek forradalmasították a légi közlekedést, majd az első világháborúban katonai célokat is elláttak. Magasabba emelkedtek, mint az első repülőgépek, s biztonságosabbak voltak. A repülőgépek fejlődése végül kiszorította a léghajókat, de hőléggallonokat sportból, szórakozásból ma is használnak az emberek.



kitágul, s így sűrűsége lecsökken. A meleg levegő tapasztalataink szerint felfelé áramlik. Ha vizet melegítünk egy keskeny nyakú lombikban, a melegítés hatására láthatóan megnövekszik a vízszint. Egy test méretei változnak, ha hőmérséklete változik. A lehűlés hatására összehúzódó híd megrongálódna, ha nem lenne a hídtest az egyik parton görgőkre szerelve. A fogzománc károsodhat, ha hirtelen nagyon nagy hőmérséklet-különbségeknek tesszük ki.

A testek melegezés hatására kitágulnak, lehűlés hatására összehúzódnak. A jelenséget hőtágulásnak nevezzük.

Hallottál róla?

Azonos módon tágulnak az anyagok?

A különböző anyagok hőtágulása különböző lehet. Az ólom jobban tágul ugyanakkora hőmérséklet-változás hatására, mint az acél, az alumínium jobban, mint az arany. A fogtömésre használt amalgám ugyanolyan mértékben tágul, mint maga a fog. Ellenkező esetben a fogtömés kiesne. Ha a teflonbevonat másképpen tágulna, mint az edény maga, akkor a melegítés vagy lehűlés során tönkremenne a teflonedény.

A hőkapcsolók egyik típusa a bimetál szalag, melyet két különböző hőtágulású, azonos hosszúságú fémcsíkból készítenek. A két szorosan összeillesztett fémből álló szalag meghajlik melegítés hatására, mivel a két összetevő nem azonos módon tágul. Melegítés hatására a bimetál elhajlik úgy, hogy a jobban táguló fém lesz kívül, a rosszabbul táguló pedig az elhajlás irányába eső oldalon. Az elhajlás oka az, hogy a jobban táguló fém hosszabb lett, mint a rosszabbul táguló. Felhasználásával olyan kapcsolókat készíthetünk, amelyek egy adott hőmérsékleten szakítanak meg egy áramkört, így például kikapcsol a szendvicssütő, mielőtt szénne égne benne a sajtos kenyér.

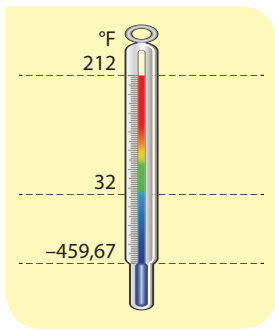
Hallottál róla?

Melegítés hatására a lyuk is tágul?

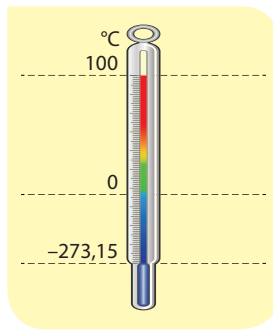
Ha egy fémlapból kivágunk egy kör alakú lyukat, s a fémlapot melegítjük, vajon mi történik a lyukkal? Sokan úgy érzik először, hogy a kitáguló fém „betágulhatja” a lyukat, azaz a lyuk csökken. Valójában a lyuk is tágul, amiről úgy győződhetünk meg, hogy a lapból kivágott fémkorongot visszatesszük a lyukba, s együtt melegítjük a fémlappal. Mivel a korong biztosan tágul, ha a fémlap anyaga a lyuk közepe felé terjeszkedne, felgyűrné a korongot. Mindez lehetetlen, hiszen egy fémlap közepe nem gyűrődik fel a melegítés hatására. Így aztán a kitágult korong a melegítés után kényelmesen kivehető a kitágult lyukból. A melegítés hatására a lap a lyukkal együtt arányosan megnövekedett, mintha felnagyítottuk volna.

Néhány érdekes hőmérsékleti skála

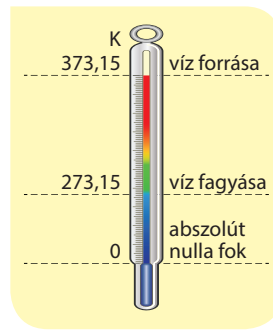
Elsőként Fahrenheit választott olyan kezdő és végpontot, amely viszonylag egyértelmű volt. Az alappont egy vízből, jégből és sóból előállított hideg elegy hőmérséklete volt, míg a felső pontnak egy egészséges ember testhőmérsékletét tekintette. Az alappont volt a nulla fok, a felső pontot pedig 96 foknak vette. Így a jég 32 Fahrenheit-fokon olvad, s a víz forráspontja 212 Fahrenheit-foknál van.



■ Fahrenheit



■ Celsius



■ Kelvin

A víz forrására és fagyására alapozott hőmérsékleti skálát elsőként a francia Réaumur készítette. Ő a víz forrás- és fagyáspontja közötti távolságot 80 fokra bontotta. Ezt a skálát alakították át úgy Celsius javaslatára, hogy a víz forráspontja 0 fokot, fagyáspontja 100 fokot jelentett. A ma használatos Celsius-féle hőmérsékleti skála a 0 és 100 fok felcserélése révén jött létre.

A Kelvin által 1851-ben bevezetett hőmérsékleti skála annyiban tért el a Celsius-félétől, hogy Kelvin az anyag azon állapotával azonosította a 0 fokot, amikor az anyag már „nem tartalmaz meleget”. Ez az állapot megfelel $-273,15\text{ °C}$ -nak. Ez a hőmérséklet olyan alacsony, hogy semmilyen módon sem érhető el.

Hallottál róla?

Hogyan mérhetünk hőmérsékletet?

Két test hőmérséklete akkor azonos, ha egymással kapcsolatba hozva azokat (termikus kapcsolat), egyik sem melegíti fel, vagy hűti le a másikat. A melegebb test éppen arról ismerhető fel, hogy a nála hidegibbet felmelegíti saját lehülése árán. Megjósolható-e a két test termikus kapcsolata nélkül, hogy hogyan viselkednének akkor, ha a kapcsolat mégis létrejönne, melyik melegedne, melyik hűlne, azaz melyik a melegebb?

A melegítés és lehűtés hatására a testek alakja megváltozik. A probléma megoldásában ez segítségünkre lehet. Ugyanakkor általában nem két tökéletesen azonos alakú testet akarunk összehasonlítani, így alakjukból nem tudunk következtetni arra, hogy melyik melegebb.

Megoldást egy harmadik test, a hőmérő alkalmazása jelent. Ha a hőmérőt termikus kapcsolatba hozzuk mindkét testtel, s a hőmérő hőtágulását figyeljük meg, eldönthetővé válik, melyik test volt a melegebb. A melegebb test környezetében a hőmérő anyaga jobban kitér. A tágulás mértéke utal arra, hogyan fog viselkedni az adott test egy esetleges termikus kölcsönhatásban, azaz mekkora a hőmérséklete.

Hallottál róla?

Minden mérés beavatkozás!

A hőmérő készítése során figyelni kell arra, hogy a mérés folyamán a hőmérő lehül vagy felmelegszik, így megváltoztatja a mérendő test hőmérsékletét. Ezért a hőmérőt úgy kell elkészíteni, hogy ez a változás elhanyagolható mértékű legyen. Egy jéghideg „óriáshőmérő” akár lázunkat is csillapíthatja, annyira lehűthet minket. Jobb, mint egy hideg vizes fürdő!

Hogyan volt régen?

Hőmérők története

Az első hőmérőt Galilei készítette 1593-ban. Galilei „termoszkópjában” a víz tágulásának mértéke jelezte a hőmérséklet alakulását. Különleges hőmérsékletmérési megoldás volt a következő: Egy leforrasztott üvegedénybe alkoholt tettek, melyben különböző sűrűségű gyöngyök úsztak. A hőmérséklet emelkedésével az alkohol kitér, s mivel térfogata nő, sűrűsége mind jobban lecsökkent. Amikor az alkohol sűrűsége kisebbé vált a melegítés következtében valamelyik gyöngy sűrűségénél, akkor az a gyöngy lesüllyedt az edény aljára. A más-más sűrűségű gyöngyök más-más hőmérsékleten merültek le az edény aljára.

A régebbi hőmérőkről hiányzott a pontos léptékbeosztás, amely a hőmérő által mérhető hőmérsékletek kezdeti és végpontját változatlan természeti jelenségekhez kapcsolná. Firenzében a tél hidegét és a nyár melegét tekintették alsó és felső alappontnak. A „tél hidegén” a jég és hó hőmérsékletét értették erős fagy idején, a „nyár melege” hőmérséklet pedig egy tehén vagy őz testhőmérsékletével volt azonos.

Hogyan volt régen?

A hideg és a meleg

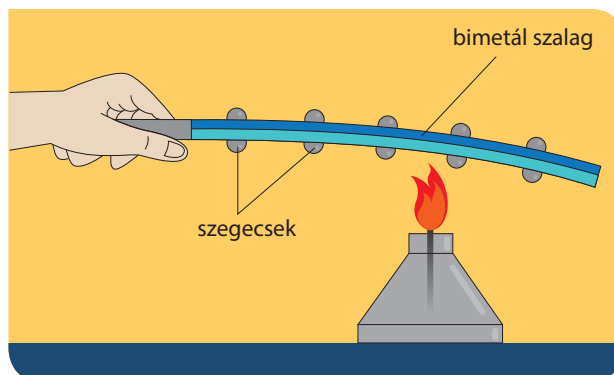
Ha az emberi test hőmérséklete túlságosan lecsökken, az ember meghal. Régen úgy gondolták, hogy a hideg és a meleg éppúgy ellentétei egymásnak, mint az élet és a halál. A meleg testekben melegség, a hideg testekben hidegség van. A testek hőmérsékletét a hidegség és a melegség viszonya határozza meg. Mások azt állították, hogy a hidegség nem más, mint a melegség hiánya.

FIGYELD MEG!**Szubjektív hőérzet**

Hogy mi meleg és mi hideg, nehéz eldönteni. Ha hideg téli napon egy rosszul fűtött szobába lépek, akkor azt melegnek érzem. Ha a szaunából lépek ki ugyanide, akkor a helyiség hidegnek tűnik. Készítsünk három edénybe vizet. Egyikben forró, másokban langyos, harmadikban hideg víz legyen. Egyik kezünket a forró, másikat a hideg vízbe merítsük egy percre, majd egyszerre tegyük át mindkét kezünket a langyos víz tartalmazó edénybe. Ugyanazt a vizet egy időben nagyon másnak fogja érezni egyik és másik kezünk. A forró vízből érkezett hidegnek, a hidegből jövő melegnek. Hát ennyire megbízhatóak érzéseink!

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hogyan működik a bimetál szalaggal megvalósított hőkapcsoló?



2. Egy anyag és bevonata melegítésre érzékeny rendszert alkot. Mi a feltétele, hogy melegítés hatására a bevonat ne pattogjon le az anyagról?
3. Váltsd át az alábbi hőmérsékleteket °C-ról K-re: 0 °C, -30 °C, 30 °C
4. Váltsd át az alábbi hőmérsékleteket K-ről °C-ra: 0 K, 30 K, 300 K
5. Hogyan változik egy aranygyűrű átmérője melegítés hatására?
6. Miért készítették régen a vasúti síneket hézagokkal? Milyen hátránnyal járt ez? Hogyan lehetséges, hogy ma már hézagmentes síneket is tudnak készíteni.

**ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK**

1. 1 méter hosszú acélrúd 100 °C hőmérséklet-növekedés hatására 1,1 mm-t nyúlik meg. Mekkora lesz a megnyúlása egy 30 cm hosszú acélrúdnak 30 °C hőmérséklet-változás hatására?
2. 1 méter hosszú acélszalagot és 20 centiméter hosszú alumíniumszalagot erősen összeszegecselünk, ezzel bimetál szalagot hozunk létre, amit 20 °C-kal felmelegítünk. Milyen irányba fog elhajolni a szalag? Készíts rajzot! Mennyivel lesz hosszabb a szalag domború oldala, mint a homorú oldala? A számításhoz használd a tankönyv adatait!
3. Két fémgolyót melegítünk. Az egyik golyó egy vízszintes falapon nyugszik, a másik egy zsinórra fel van függesztve. Merre mozdulnak a golyó középpontjai a két esetben?

29. | A hő mint az energiaátadás egy formája, a hőtan I. főtétele

A hő és az energia

A testek állapotára jellemző mennyiség az energiájuk. Az energia egyik formája a belső energia, mely a testek hőmérsékletével is összefügg. Ha egy test felmelegít egy másikat termikus kölcsönhatás során, akkor belső energiája csökken, míg a másik testnek növekszik. Ezt a folyamatot hőközlésnek nevezzük. Két test közül nem feltétlen az ad le energiát a termikus kölcsönhatásban, amelyiknek több van. A hőcsere irányát a hőmérséklet határozza meg. Egy forró tű belső energiája sokkal kisebb, mint egy langyos cserépkályháé. Mégis a tű és kályha közötti termikus kölcsönhatásban a tű ad le energiát, mert az a melegebb. A hő, a belső energia és a hőmérséklet viszonyát a következő példával szemléltethetjük:

Egy edényben kevés víz van, s benne valamennyi tinta van feloldva. Egy másik edényben tízszer annyi víz és ötször annyi tinta van. A tintás víz ott lesz hígabb (kevésbé kék), ahol a több tinta van. Ha a két edényt egy kis csővel összekötjük, akkor abból az edényből fog tinta átmenni a másikba, amelyben eleve több volt. A tinta vándorlásának (hőközlés) irányát nem a tinta mennyisége (belső energia), hanem a tinta koncentrációja, a tintás víz színe (hőmérséklet) határozza meg.

A hő és hőmérséklet az anyagmodellben

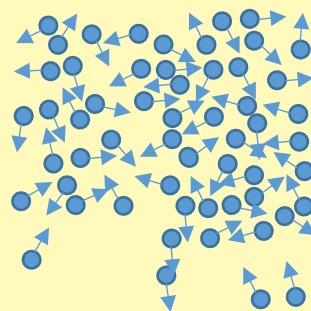
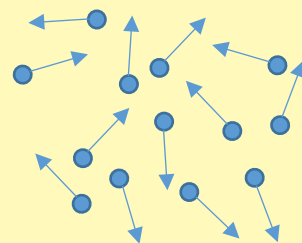
A modell szerint az anyagok részecskékből állnak. Egy anyag belső energiáját a részecskék összes mozgási energiája adja, míg hőmérsékletének a részecskék átlagsebessége feleltethető meg. Mindezek alapján lehetséges, hogy egy sok, de kis átlagsebességű részecskékből álló anyag belső energiája nagyobb, mint egy kevés, de nagy átlagsebességű részecskékből álló anyagé.

Hogyan volt régen?

Francis Bacon módszere

A jelenségek helyes vizsgálatára módszert dolgozott ki Francis Bacon a XVI. században. Módszerét a hő természetének meghatározására is alkalmazta. Először egy listát készített azokról a helyzetekről, amikor a hővel találkozunk, – napsugár, tűz, hóforrás, dörzsölés – s feljegyezte a kísérő körülményeket, – erőlködés, láz, alkoholfogyasztás, a Nap melege, ami attól függ, hol van éppen a Nap az égen – Azután azokat a helyzeteket vizsgálta sorra, amikor a hő (meleg) „hiányzott”, vagyis a testek hidegek. – holdfény, víz, hideg szél, pince nyáron –

A táblázatot elemezve Bacon arra a következtetésre jutott, hogy a hő a mozgással hozható kapcsolatba, a hő a mozgás egy fajtája. Bár Bacon módszere a gyakorlatban nem használható, következtetése a hő természetéről mai elképzelésünkkel lényegében egyezik.



■ Két azonos gázt modellezünk. Az egyikben a részecskék sebessége nagyobb, tehát a hőmérséklete nagyobb, de az energiája kisebb, mint a másikban. Ez úgy lehetséges, hogy a másik gáz sokkal több részecskéből áll, azaz nagyobb a tömege.

Hogyan volt régen?

A XVIII. század elején a hőt valami-féle folyadéknak képzelték, amit „kalorikum”-nak neveztek. Úgy gondolták, hogy a melegebb testben több kalorikum van, ami át tud folyni a hidegebb testbe, ha az érintkezik a meleggel. Amikor ma úgy beszélünk, hogy a melegebb test hőt ad át a hidegebbnek, akkor ezt úgy értjük, hogy a melegebb test atomjainak rendezetlen hőmozgásából származó termikus (belső) energiája csökken, a hidegebb testé pedig növekszik. A régiek a hőt önálló létezőnek gondolták, hittek a hófolyadék (kalorikum) létezésében, ma viszont már tudjuk, hogy önmagában hő nincs, ez a fogalom energia-átadási folyamatot jelent.

NE HIBÁZZ!

Ne téveszd össze a hőt a hőmérséklettel! A hő mindig energia-átadási folyamatot jelent, míg a hőmérséklet állapotjelző, a testek, anyagok termikus állapotát írja le.



■ Laplace kaloriméter

Ha a két részecskesokaságot kapcsolatba hozzuk (termikus kapcsolat), az ütközések révén a nagyobb sebességű részecskék lassulnak, míg a kisebb sebességűek gyorsulnak. Így annak az anyagnak növekszik a belső energiája, amelyiknek eleve nagyobb volt, összhangban a hő és hőmérséklet viszonyáról korábbiakban megbeszéltekkel.

Abszolút nulla fok

A Kelvin-féle hőmérsékleti skála nulla pontja az abszolút nulla fok (kb. -273 °C). Az ilyen test csak melegezhet, nem rendelkezik melegítő képességgel. Bár mindez logikusnak tűnik, mégis szokatlan, hogy míg 20 °C -ról 10 °C -ra könnyen lehűthetünk egy testet, -270 °C -ról -280 °C -ra lehetetlen bármit is lehűteni. Minél hidegebb egy test, annál nehezebb környezetében olyan testet találni, vagy olyan folyamatot létrehozni, melyben az lehűlhet. A hőmérsékletek egyenletesen lefelé ereszkedő létráján hétköznapjaink játékszabályaitól eltérő törvények világába juthatunk.

Az alacsony hőmérsékletek felé

Általában az anyagok meglehetősen különböző mértékben tágulnak hőmérséklet-növekedés hatására. Ez alól a gázok kivételek. Az egyszerű szerkezetű gázok hőtágulása lényegében független az anyagi minőségtől. Amennyiben egy gáz térfogatát ábrázoljuk Celsius fokban mért hőmérsékletének függvényében, azt tapasztaljuk, hogy a kapott egyenes meredeksége – függetlenül attól milyen gázt használtunk – $\frac{1}{273}$. Ez annyit jelent, hogy a görbét a negatív hőmérsékleti tartomány felé folytatva a gázok térfogata azonos hőmérsékleten elvileg nullává válik. Ez a hőmérséklet a -273 °C , a Kelvin-féle hőmérsékleti skála nullpontja. A nulla Kelvin átléphetetlensége a hőtágulás problémáját vizsgálva is értelmet nyer.

Természetesen a gázok térfogata nem tűnik el nulla Kelvinnél, az anyag nem válik semmivé. A gázok a rájuk jellemző hőmérsékleten folyadékká, válnak, majd megfagynak. Az univerzum számos ilyen „jeges” helyet ismer. A Jupiter fagyott hidrogénmagma felett például hidrogénóceán „hőmpölyög”.

A fajhő

A fajlagos hőkapacitás, röviden fajhő (jele: c) azt mondja meg, hogy mennyi energia szükséges egy test egységnyi tömegű darabjának egy Celsius-fokkal történő felmelegítéséhez. A kalória meghatározása alapján láthatjuk, hogy régen a víz fajhője egységnyi volt, mai mértékegységekkel kifejezve viszont már nem egységnyi: $c_{\text{víz}} = 1\text{ cal}/(\text{g} \cdot \text{°C}) = 1\text{ kcal}/(\text{kg} \cdot \text{°C}) \approx 4,2\text{ J}/(\text{g} \cdot \text{°C}) = 4,2\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{°C})$. Ez tehát azt jelenti, hogy 1 kg víz hőmérsékletének

Hallottál róla?

Az óceánok és a tengerek erőteljes időjárás-befolyásoló hatása a víz kivételesen nagy fajhőértékével magyarázható. A nagy víztömeg igen nehezen melegszik fel, és igen nehezen hűl le. Ezzel szemben a szárazföldi kőzetek sokkal gyorsabban melegsznek, és sokkal gyorsabban is hűlnek. Ezért a tengerek és az óceánok közelében a nyarak nem annyira forróak, a telek viszont nem annyira hidegek, mint az ugyanolyan szélességi körön lévő, a tengerpartoktól messze fekvő szárazföldeken.

1 Celsius-fokkal történő emeléséhez 4,2 kJ energia szükséges. Ha a víz fajhőjét összehasonlítjuk más anyagok fajlagos hőkapacitásával, akkor világosan láthatjuk (lásd a táblázatot), hogy a víz fajlagos hőkapacitása kivételesen nagy érték. A táblázatból az is látszik, hogy a nagy sűrűségű anyagok fajhőértéke kicsi, míg a könnyű anyagoké nagy.

A gázfűtés, vagy gázzal való főzés során a gáz elég, (oxidálódik), hő szabadul fel. De bármilyen anyag elégetése során fontos jellemző a felszabaduló hő mennyisége, legyen szó akár lassúégésről, például a tápanyag elégetéséről az emberi szervezetben belül. A felszabaduló hőmennyiséget akkor tudjuk összehasonlítani különböző anyagok esetében, ha azonos tömegre vonatkoztatjuk. Az égéshő 1 kg anyag elégetése során keletkező hő mennyiségét adja meg azzal a feltétellel, hogy az égéstermék visszahűl az égés előtti hőmérsékletre, s az égés során felszabaduló vízgőz is lecsapódik. Ez utóbbi két feltétel a gyakorlatban meglehetősen ritkán teljesül, így az égéshő helyett a fűtőérték fogalma terjedt el, mely 1 kg anyag elégetésekor keletkező hő mennyiségét adja meg az égéshőre jellemző visszahűlési feltétel nélkül. Ebből következik, hogy a fűtőérték jellemzően valamivel kisebb (de sosem nagyobb), mint az égéshő.

A levegő felmelegítése állandó nyomáson és térfogaton

Ha egy zárt, merev falú edényben valamilyen gázt, például levegőt melegítünk, akkor a levegővel közölt hő hatására növekedni fog a levegő belső energiája, s így a hőmérséklete. Ha egy kilogramm levegő egy fokos hőmérsékletváltozásához szükséges hő mennyiségét vizsgáljuk, az éppen a levegő fajhője ebben a folyamatban. Felmerül a kérdés, hogy mi történik akkor, ha a levegőt egy dugattyús edényben melegítjük, azaz állandó nyomáson. Akkor ugyanannyi hőt kell közölnünk az 1 fokos hőmérséklet-változás eléréséhez? A válasz az, hogy ilyenkor több hőre van szükség. De vajon miért?

Mert a kitáguló levegő munkát végez a környezetén. Hiszen a dugattyú elmozdításához erő kell, le kell győzni a külső légnyomásból származó erőt. Tehát a táglás során munkavégzés zajlik. Állandó nyomáson több energia kell 1 kg levegő egy fokos hőmérséklet-növeléséhez, mint állandó térfogaton. Azaz állandó nyomáson a levegő fajhője nagyobb, mint állandó térfogaton. A dugattyú technikai jelentősége kiemelkedő. (A térfogat állandó, illetve könnyen mozgó dugattyú.)

A hőtan I. főtétele

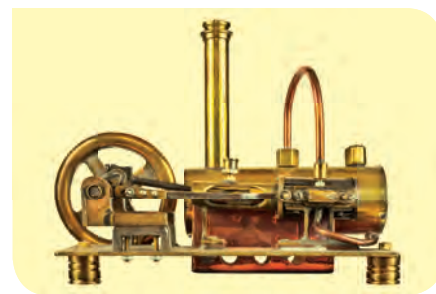
A hőtan I. főtétele kimondja, hogy egy test energiáját munkavégzéssel és hőközléssel lehet megnövelni. Az energia a test állapotát jellemzi, a munkavégzés és hőközlés pedig azon folyamatok neve, mely ezt az állapotot megváltoztatja. Ha a kezünk hideg, akkor vagy a fűtőtest fölé tartjuk, vagy összedörzsöljük. Az első esetben hőt közöltünk a kezünkkel, a másodikban munkát végeztünk rajta. Az eredmény, a kezünk melegedése, a kezünk energiájának növekedését jelenti.

Különböző anyagok fajlagos hőkapacitás- (röviden fajhő) értékei

Anyag	Fajhő $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$	Anyag	Fajhő $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$
arany	0,128	gránit	0,8
ólom	0,13	márvány	0,86
higany	0,139	alumínium	0,9
ezüst	0,235	levegő (50 °C)	1,05
sárgaréz	0,384	fa (átlagos érték)	1,68
vörösréz	0,385	gőz (110 °C)	2,01
acél	0,45	jég (0 °C)	2,1
vas	0,44	alkohol (etil)	2,4
flintüveg	0,5	emberi testszövet (átlag)	3,5
koronaüveg	0,67	víz (15 °C)	4,186
hőálló üveg	0,74		

Néhány fűtőanyag égéshője és fűtőértéke

	Égéshő (MJ/kg)	Fűtőérték (MJ/kg)
Gázolaj	46	43
Benzin	47	43
Biodízel	40	37
Metán (földgáz)	55,5	50
Kerozin	46,2	43
Hidrogén	141,8	121
Száraz fa	16-20	14-18



SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Ejtsünk egy 2 kg tömegű, 800 °C-os, izzó acéldarabot 3 liter 20 °C-os vízbe! Mennyi lesz az acél hőmérséklete az edzés végén? (A víz és az acél közötti termikus kölcsönhatáson kívül minden egyéb hőátadási folyamattól tekintünk el!)

Megoldás: Ha az izzó vasat hideg vízbe ejtjük, vagyis a vasat (pontosabban az acélt) megeddzzük, akkor az acéldarab kezdetben sísteregve, gőzölögve hűl, és közben valamennyire a vizet tároló edény is felmelegszik. A feladat zárójeles megjegyzése arra utal, hogy ezektől a hatásoktól eltekinthetünk, mert ezek egyrészt nem befolyásolják lényegesen a végeredményt, másrészt ezeket eléggé nehezen tudnánk figyelembe venni. Ugyanígy nincs szó a feladatban a környező levegő hőmérsékletéről, ami szintén befolyásoló tényező lehet. Sőt, ezeken kívül is találhatunk olyan hatásokat, melyek (ha csak kisebb mértékben is) befolyásolhatják a végeredményt.

Az ilyen típusú feladatokat lényegében az energiamegmaradás törvénye alapján oldjuk meg. Amennyivel nő a víz termikus energiája (belső energiája), ugyanannyival csökken az acél energiája. Másképp ezt így fogalmazhatjuk meg: az acél hőt ad le, a víz hőt vesz fel, és az energiamegmaradás alapján a hőfelvétel és a hőleadás előjeles összege nulla:

$$Q_{\text{fel}} + Q_{\text{le}} = 0$$

A hőfelvételt és a hőleadást (vagyis az energiaátadást) a következő összefüggéssel írhatjuk le:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

ahol c a fajlagos hőkapacitást (fajhőt) jelenti, m az anyag tömege, ΔT pedig a hőmérséklet-változása. A fajhő egységnyi tömegű anyagra (1 kg-ra) és egységnyi hőmérséklet-változásra (1 °C-ra) vonatkozóan adja meg a felmelegi-

téshez szükséges energiát. Ezért m tömegre és ΔT hőmérséklet-változásra a szükséges hőt úgy számíthatjuk ki, ha a fajhőt a tömeggel és a hőmérséklet-változással megszorozzuk. Ez a gondolatmenet indokolja az előző összefüggés jogosságát.

Írjuk be az összefüggésekbe a víz és az acél adatait:

$$c_{\text{víz}} \cdot m_{\text{víz}} \cdot \Delta T_{\text{víz}} + c_{\text{acél}} \cdot m_{\text{acél}} \cdot \Delta T_{\text{acél}} = 0$$

és jelöljük a hőátadás végén kialakuló közös hőmérsékletet így: $T_{\text{közös}}$

Ezzel a víz, illetve az acél hőmérséklet-változása így adható meg:

$$\Delta T_{\text{víz}} = T_{\text{közös}} - 20 \text{ °C}, \text{ illetve } \Delta T_{\text{acél}} = T_{\text{közös}} - 800 \text{ °C}$$

Használjuk ki azt is, hogy 3 liter víz 3 kg tömegű, és írjuk be az összes adatot a fenti egyenletbe:

$$4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \cdot 3 \text{ kg} \cdot (T_{\text{közös}} - 20 \text{ °C}) + 0,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \cdot 2 \text{ kg} \cdot (T_{\text{közös}} - 800 \text{ °C}) = 0$$

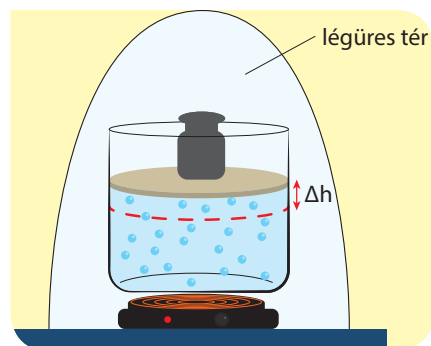
Az egyenletrendezés után ezt a végeredményt kapjuk:

$$T_{\text{közös}} = 72 \text{ °C}$$

Vegyük észre, hogy a víz hőmérséklet-növekedése mindössze 52 °C-os, míg az acéldarab hőmérséklet-változása –728 °C-os, vagyis az acél hőmérséklet-csökkenése 14-szerese a víz hőmérséklet-növekedésének. Ez csak kisebb részben tulajdonítható annak, hogy a víz tömege nagyobb, mint az acélé, a nagy arányú hőmérséklet-változásbeli különbség döntő módon azért jön létre, mert a víz fajhője több mint kilencszer nagyobb a vas fajhőjénél.

NE HIBÁZZ!

A külső levegő nyomásából származó erő ellenében végzett munkát úgy is szemléltethetjük, hogy a dugattyús edényt gondolatban légüres térbe helyezzük, s a külső levegő nyomásából származó erőt egy teher súlyával helyettesítjük. Mikor a levegő kitér, a dugattyú magasabbra kerül, a teher helyzeti energiája nő. A levegővel közölt hő a levegő belső energiájának növelésén túl ezt a helyzeti energianövekedést is fedeznie kell.



EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mennyi kilokalóriát fogyasztasz naponta? Becsüld meg, hogy adott nap mennyi mechanikai munkát végeztél (MJ/nap)! Mennyi a különbség, és mire fordítódik?
2. Ismertesd azt a kísérletet, amely során meghatározható a hó mechanikai egyenértéke! Mennyi az 1 kcal hónek a mechanikai egyenértéke?
3. Vizsgáld meg néhány élelmiszer energiatartalmát, és ellenőrizd, hogy helyesen alkalmazták-e a kJ és a kcal közötti mértékegység-átváltást!
4. Mennyi energiával lehet egy 150 literes villanybojlerben a 10 °C-os víz hőmérsékletét 60 °C-osra emelni, ha a villanybojler 95%-os hatásfokú? Mennyibe kerül az ehhez szükséges elektromos energia? Az elektromos energia aktuális árának nézz utána!
5. Az osztálytermedben téli szellőztetéskor a levegő hőmérséklete 15 °C-ra leül. Becsüld meg, mennyi energiával lehet ezt a levegőmennyiséget 25 °C-ra melegíteni, ha a levegő átlagos sűrűségét 1,2 kg/m³-nek tekinthetjük!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Számítsd ki a saját tested hőkapacitását kJ/°C mértékegységben!
2. Egy liter étolajat akarunk felmelegíteni. Az étolaj fajhője: 1,54 kJ/kg °C. Sűrűsége 0,92 kg/liter. Mennyi hó kell egy liter étolaj 20 °C-ról 250 °C-ra történő felmelegítéséhez?
3. Készíts hét napon keresztül feljegyzést étkezésedről!
 - a) A táblázatba jegyezd fel az élelmiszerek nevét, fajlagosenergia-tartalmát (MJ/kg), az elfogyasztott mennyiséget (kg, liter)!
 - b) Összesítsd naponta az energiafogyasztásodat (MJ/nap)!
 - c) Becsüld meg, hogy adott nap mennyi mechanikai munkát végeztél (MJ/nap)!

Hallottál róla?

Magyarországon a hegyek belsejéből eredő források vize télen általában 9-10 °C-os, nyáron pedig 10-11 °C-os. Télen kellemesen langyos hőmérsékletűnek, nyáron üdítően hidegnek érezzük a források vizének hőmérsékletét. A mindössze 1 °C-os téli-nyári hőingás oka az, hogy a hegyek hatalmas tömegűek, ezért nehezen melegszenek fel nyáron, és nehezen hűlnek ki télen.



■ Melegmányi forrás, Mecsek

A $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ összefüggésben a fajhő és a tömeg ($c \cdot m$) szorzatát a test hőkapacitásának nevezzük. A hegyek esetében nem sokat számít, hogy pontosan mennyi is a hegyek kőzetének fajhője, mert a hatalmas tömeg mindenképpen óriási hőkapacitást jelent. A hőkapacitás azt mutatja meg, hogy egy adott test hőmérsékletét mennyi energia árán lehet 1 °C-kal megnövelni.

30. | Halmazállapotok és halmazállapot-változások

Az anyag három halmazállapotának értelmezésével, a halmazállapot-változások folyamatának megértésével, a folyamatok energetikai viszonyaival foglalkozik ez a fejezet.

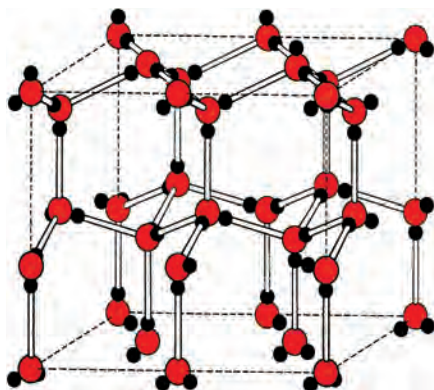
SZÁMOLD KI!

Mekkora energiával lehet 3 kg 15 °C-os vizet 10 °C-kal felmelegíteni?

A víz fajhője $4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

Anyag	T_0 (°C)
Alumínium	658
Benzol	5,5
Etanol	-114
Ezüst	960,8
Higany	-38,36
Nátrium-klorid	801
Ón	231
Ólom	327,4
Platina	1773,5
Vas	1535
Víz	0

■ Néhány anyag olvadáspontja



■ A jég kristályszerkezete

EMLÉKEZTETŐ

Az anyagok három halmazállapota a szilárd, a folyékony és a légnemű halmazállapot. A halmazállapot-változások során ezek a halmazállapotok alakulnak egymásba: a szilárd anyag megolvad és folyadék lesz belőle, a folyadék párolog vagy felforr és légnemű halmazállapotba kerül. A légnemű anyag lecsapódással válik folyadékká, a folyadék fagyás során szilárdul meg. (Sokan az anyagok negyedik halmazállapotának tekintik a plazmákat. A plazmák olyan folyadékok vagy gázok, melyekben elektromosan töltött részecskék, például ionok, elektronok, protonok vannak. Ilyen értelemben beszélhetünk vérplazmáról, sejtplazmáról, illetve a csillagok anyagát alkotó izzó gázokat is plazmának nevezzük.)

Ha egy testet melegítünk, hőmérséklete nő. A növekedés mértéke függ a test tömegétől, a testtel közölt hő nagyságától és a test anyagi minőségétől. A test anyagára jellemző együtthatót fajlagos hőkapacitásnak, röviden fajhőnek nevezzük. A fajhő megadja, hogy az adott anyag 1 kg tömegű darabjának 1 °C-os felmelegítéséhez mennyi energia szükséges. Jele c , mértékegysége $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. A hőközlés és a hőmérséklet-változás kapcsolatát a következő összefüggéssel írhatjuk le: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

Ha egy anyag fajhője nagy, akkor sok hőt tud felvenni úgy, hogy közben kevésbé változik meg a hőmérséklete. A víz mint hűtőfolyadék nagy fajhője révén sok energiát tud elvonni a hűtendő közegtől.

Olvadás, fagyás

Ha a jeget melegítjük, hőmérséklete mindaddig nő, míg el nem éri a T_0 olvadáspontját. Az olvadásponton a jég megolvad. A teljes olvadásig hőmérséklete nem változik. Az 1 kg anyag elolvasztásához szükséges energiát **olvadáshő**nek nevezzük és L_0 -val jelöljük. Olvadásponton a teljes m tömeg megolvasztásához szükséges hőt így fejezhetjük ki:

$$Q = L_0 \cdot m$$

Az olvadáshő mértékegysége J/kg vagy kJ/kg.

Az olvadáshő fogalma az anyag részecskemodelljének a segítségével értelmezhető. A szilárd anyagok kristályszemcséi az olvadás során felbomlanak, így az anyag magasabb energiájú állapotba kerül. Az egységnyi tömegű anyag kristályos kötéseinek felbontásához szükséges energia az olvadáshő.

A jég olvadáshője: 334 kJ/kg.

Az anyagok fagyáspontja (ha az átalakulás egyensúlyi folyamatban, vagyis egyensúlyi állapotokon keresztül történik) megegyezik az olvadásponttal. A fagyás az olvadás ellentettje. Az olvadáshoz hőközlés szükséges (endoterm folyamat), az olvadáshoz szükséges hőt az anyag a környezetéből veszi fel, azonban fagyáskor – ugyanekkora nagyságú – hő szabadul fel (exoterm folyamat), amit a környezet vezet el.

FAGYÁSPONT-ELTOLÓDÁS (Olvasmány)

A légköri nyomásnál nagyobb nyomáson a víz alacsonyabb hőmérsékleten fagy meg. Ha a jég felületére igen nagy nyomást gyakorlunk, akkor a jég megolvad. Általánosan elterjedt nézet, hogy ezért siklik könnyedén a korcsolya a jégen. Sokan feltételezik, hogy a jól megélezett korcsolya alatt olyan nagy nyomás jön létre, hogy a kialakuló vékony vízrétegen szinte akadálytalanul siklik a korcsolya. Mások szerint a korcsolya alatt nem alakulhat ki a jég megolvadásához szükséges több száz atmoszféras hatalmas nyomás a korcsolyázó súlya következtében. Ugyancsak ezt a nézetet kérdőjelezi meg az a tapasztalat is, hogy nemcsak a korcsolya siklik könnyen a jégen, hanem például a jéghegyi korongja is, ami alatt biztosan nem különösebben nagy a nyomás. A legújabb kutatások azt mutatják, hogy igen alacsony hőmérsékletekig mindig található egy néhány molekula vastagságú folyadékréteget a jég felszínén, mert ott nem tudnak kialakulni a jégkristályok tetraédres kötési.

Ha 0 °C-os jégkására konyhasót rétegezünk, majd összekeverjük a sót a jéggel, akkor a keverék hőmérséklete akár -20 °C-ig is csökkenhet. Ennek az a magyarázata, hogy a sós víz fagyáspontja alacsonyabb a tiszta vízénél. A 0 °C-os só-víz keverék az ennél alacsonyabb hőmérsékletű egyensúlyi állapotra törekszik, amit úgy tud elérni, hogy jelentős mennyiségű jég olvad meg. A jég olvadása hőelvonással jár, ami lehűti a rendszert. Akár azt is mondhatjuk, hogy addig olvad a jég, amíg az egyensúlyi hőmérsékletet el nem éri. A jelenség azért meglepő, mert eközben a teremben akár +23 °C-os kellemes szobahőmérséklet is lehet.

KÍSÉRLETEZZ!

Túlhűtött víz előállítása nyomásváltoztatással

Egy lezárt PET-palackban lévő buborékos ásványvizet felrúzunk, majd a mélyhűtőbe teszünk. Néhány óra múlva kivesszük a palackot, melyben még folyadék van.

A túlhűtés következtében a víz nem fagy meg. Kinyitjuk a palackot, majd visszacsavarjuk a kupakot, és megfordítjuk az üveget. A víz jelentős része hirtelen megfagy.

A palack kinyitásával csökkentettük a folyadék feletti nyomást, így megváltottuk a vízben oldott szén-dioxid egyensúlyi koncentrációját.

A vízből kiváló szén-dioxid-buborékok indítják a fagyást. Néhány próbálkozással jól beállíthatjuk az ideális hűtési időt.

FIGYELD MEG!

A párologás energiaigényes folyamat. Párologás során a párologó anyag hőt von el a környezetétől. A párologtatás révén tehát hűthetjük testünket. Ezt a funkciót látja el az emberi test által termelt izzadság.

A kutyák nem tudnak izzadni, ezért lógatják ki a nyelvüket meleg időben, hogy a párologással hűtsék magukat. A nyelvük közvetlenül az agyi vért hűti, ezért tudnak sokáig futni.

A nyulaknál és a nagymacskáknál nincs ilyen mechanizmus. Ez indokolja, hogy a kitarató kutyák el tudják kapni a gyors nyulat, illetve hogy a nagymacskák elengedik a prédát, ha nem tudják elkapni egyetlen rohammal.

Az ember hőérzetét sok tényező befolyásolja. Foglald össze saját tapasztalataid alapján, hogy melyek ezek!

A párologással kapcsolatos ismeretek mennyiben támasztják alá tapasztalataidat?

Hallottál róla?

A túlhűtött folyadék

Általában a folyadékok az olvadáspontjuk alá hűthetők. Mivel a fagyás kristályképződéssel függ össze, a kristályképződés nem indul be a hűlés során az olvadásponton, hanem a folyadék túlhűtötté válik.

A hópárnában túlhűtött folyadék van, és benne egy vékony, rugalmas fémkorong úszik. A fémlap megpatintásával keltett lökeshullám indítja be a kristályosodást. Szilárd állapotban az anyag alacsonyabb energiájú, mint folyadékállapotban, tehát a túlhűtött folyadék fagyása energiafelszabadulással jár. Ezért a párna fagyás közben felmelegszik, eléri anyagának az egyensúlyi fagyáspontját (olvadáspontját), és melegíti azt a testfelületet, ahová tesszük.



■ Hópárna



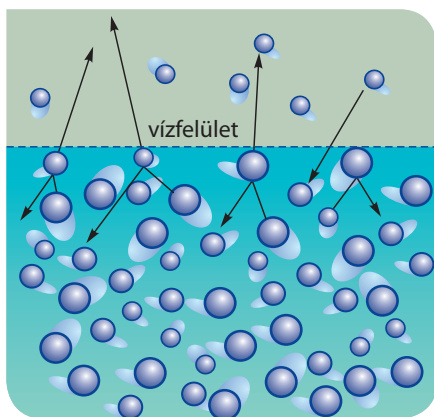
Hallottál róla?

A víz fajhője folyékony állapotban a legnagyobb. Mind a jég fajhője, mind a vízgőz fajhője kisebb a folyékony víz fajhőjénél. A víz $4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ fajhője a természetben magas értéknek tekinthető. A legtöbb anyag fajhője általában kisebb.

A gázok fajhője függ attól is, hogy milyen körülmények között melegítjük a gázt. Így például az állandó nyomáson és állandó térfogaton történő folyamatokban eltérő értékű hőközlésre van szükség még akkor is, ha egyébként minden más körülmény (anyagmennyiség, hőmérséklet-különbség) megegyezik. Ennek oka az, hogy a gázok könnyen összenyomhatóak. A szilárd anyagok és a folyadékok gyakorlatilag összenyomhatatlanok, ezért ezek bizonyos hőmérséklet határok között lényegében egy fajhővel jellemezhetőek.

Tőled függ!

A víz fagyáspontja alacsonyabb lesz, ha sót oldunk fel benne. Ezért alkalmazták korábban a sózást az utak jégmentesítésére. Ugyanakkor a sós víz rosszat tesz a növényeknek. Az utak csúszásmentesítésére ma már új, a konyhasónál (NaCl) drágább anyagokat használnak. Ilyen például a kalcinol, ami kalcium-nitrát ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) folyékony oldata vagy adalékanyagokkal (pl. zeolit) kevert szilárd változata. A környezetkímélőbb megoldás elterjedését a sózást betiltó európai uniós törvény támogatja, de a magasabb árak nehezítik.



■ Párolgás

FIGYELD MEG!

A 40°C -os víz sokkal forróbbnak tűnik, mint a 40°C -os levegő. Mi lehet a jelenség magyarázata?

Párolgás

A folyadékok légneművé válásának folyamatát párolgásnak nevezzük. Párolgás minden hőmérsékleten történhet, ilyenkor a folyadék felszínéről folyadékrészecskék lépnek ki a környezetbe. A párolgás gyorsabban zajlik, ha a párolgó felület nagyobb. A nedves ruha könnyebben megszárad, ha kiterítjük. A párolgó vízfelszín felett vízgőz található, melynek mennyisége a párolgás előrehaladtával egyre nagyobb. A vízgőz lecsapódik a folyadék felszínére, és így a folyadék mennyiségét növeli.

Zárt térben egy idő után megszűnik a párolgás, mert a vízfelszín elhagyó molekulák száma azonos idő alatt megegyezik az oda visszatérő molekulák számával.



■ Párolgó vízfelszín

Ha fúj a szél, a ruha gyorsabban szárad. Ilyenkor a párolgó felület fölül a szél elfújja a vízgőzt, így az nem tud lecsapódni a ruhára.

A hőmérséklet növekedésével a párolgás sebessége nő. Ezt a jelenséget a folyadékmodell segítségével érthetjük meg. A párolgás nem más, mint a felszíni folyadékrészecskék elszakadása a környezetükben lévő részecskéktől, melyekhez vonzó kölcsönhatás köti őket. Az elszakadáshoz energiára van szükség. A folyadék hőmérséklete a folyadék részecskéinek átlagenergiájáról árulkodik, melynek növekedésével az elszakadni képes részecskék száma is nőni fog. Tehát magasabb hőmérsékleten gyorsabb a párolgás.

Legkönnyebben mindig a legnagyobb energiájú (vagyis a leggyorsabb) molekulák tudnak elszakadni a felülettől. Ezért a folyadékállapotban maradó vízmolekulák átlagenergiája csökken, vagyis párolgás közben a folyadék hűl. A **párolgáshő** megadja 1 kg folyadék-halmazállapotú anyag légneművé válásához szükséges energia mennyiségét. A víz párolgáshője függ a hőmérséklettől, alacsonyabb hőmérsékleten nagyobb, magasabb hőmérsékleten kisebb. Például 0°C -on a víz párolgáshője 2500 kJ/kg , míg 100°C közelében 2256 kJ/kg .

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Mekkora átlagos energia szükséges egyetlen vízmolekula folyadékfelszínből való kiszakításához? A víz legyen 40 °C-os, ezen a hőmérsékleten a párolgáshő 2400 kJ/kg = 2400 J/g = 2,4 kJ/g.

Megoldás: Egy mól víz tömege 18 gramm, ami $6,022 \cdot 10^{23} \approx 6 \times 10^{23}$ vízmolekulából áll. Egy gramm víz elpárologtatásához 2,4 kJ energiára van szükség, tehát egy mól víz elpárologtatásához ennek 18-szorosa kell, ami azt jelenti, hogy ezen a hőmérsékleten a víz moláris párolgáshője: $(18 \cdot 2,4 \text{ kJ})/\text{mol} = 43,2 \text{ kJ/mol}$. Ezt az energiát kell elosztanunk az Avogadro-számmal, hogy megkapjuk az egyes vízmolekulák kiszakításához szükséges energia nagyságát:

$$(43,2 \text{ kJ})/6 \cdot 10^{23} = 7,2 \cdot 10^{-23} \text{ kJ} = 7,2 \cdot 10^{-20} \text{ J} = 72 \text{ zJ (zeptojoule)}$$

Lecsapódás

A gőzök folyadékká alakulását lecsapódásnak nevezzük. Ezt a jelenséget figyelhetjük meg, amikor a hideg ablaküvegre lehelünk, vagy ezért párosodik be a szemüvegünk, ha a hidegből meleg helyiségbe lépünk. A folyadék párolgása során lecsapódás is zajlik. A napra kített folyadék légneművé válásának folyamatát a párolgás és lecsapódás együtt határozza meg. Ha a légkörben nagyon sok vízpára van, akkor nehezen száradnak meg a ruhák, hiszen hiába távozik víz a ruhából, ha közben a lecsapódás következtében a ruha nedvesedik. Amikor a párolgás és lecsapódás egyensúlyba kerül, a ruha nem szárad. Ilyenkor **vízpárával telített légkör**ről beszélünk.

Relatív páratartalom

A légkör akkor tud vizet felvenni, ha nem telített. A relatív páratartalom megadja, hogy a légkör egységnyi térfogatában lévő pára hány százaléka a telített állapothoz tartozó vízpára mennyiségének. A telített állapot relatív páratartalma 100%. A relatív páratartalom az időjárás fontos jellemzője. Ugyanakkora relatív páratartalom (mondjuk 50%-os) jelenthet száraz és nedves levegőt is, mert a levegőben lehetséges maximális páratartalom (telített vízgőz mennyisége) erősen függ a hőmérséklettől. Ha például nyáron 30 °C hőmérsékleten 50%-os a relatív páratartalom, akkor a levegőben több mint hatszor annyi vízpára van, mint télen, 0 °C hőmérséklet és ugyancsak 50%-os relatív páratartalom mellett.

Forrás

Ha a folyadék hőmérséklete a melegítés során eléri a forráspontot, akkor a folyadék belsejében is megindul a párolgás, ilyenkor vízgőzt tartalmazó buborékok szabadulnak ki a folyadék belsejéből. A folyadék további melegítése során a forrás egyre intenzívebbé válik, de a folyadék hőmérséklete nem emelkedik a forráspont fölé.

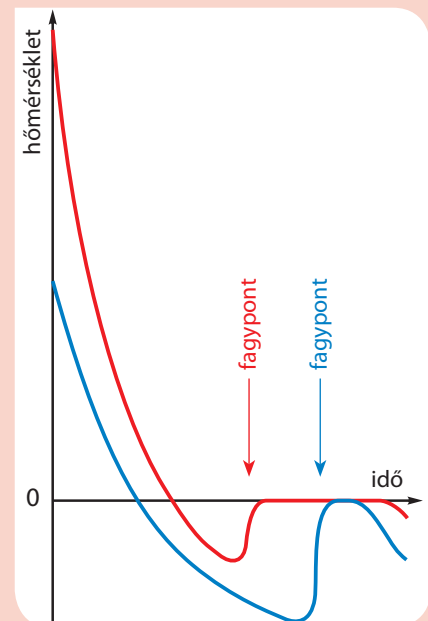
Hallottál róla?

A trópusokon nagyon magas a relatív páratartalom, így az emberi test kevésbé tud párologtatni, azaz sokkal meleget érzünk, mint egy száraz, ugyanolyan hőmérsékletű helyen.

KÍSÉRLETEZZ!

Már Arisztotelész is ismerte a manapság Mpemba-jelenségnek (Mpemba-paradoxonnak) nevezett érdekes problémát. Mpemba, a fiatal tanzániai fiú fagyaltkészítés során vette észre, hogy azonos körülmények között azonos mennyiségű forró folyadék gyorsabban megfagy, mint a hideg. A jelenséget bárki ellenőrizheti. Kemény télen tegyél ki az erkélyre ugyanolyan mennyiségű forró és hideg vizet egy széles pohárban, és figyeld meg, melyik fagy meg előbb! Látni fogod, hogy a forró. Ez a tapasztalat ellentmondani látszott a józan észnek, hiszen a forró folyadéknak jobban le kell hűlnie a fagyás előtt, mint a hidegnek, így több hőt kell elvonnia a környezetének, amelyhez több időre van szükség. Az ellentmondás feloldásában két tényező biztosan szerepet játszik:

1. A forró víz gyorsabban párolog, így a fagyáspont elérésekor a megfagyó víz mennyisége kisebb lesz.
2. A víz sókoncentrációja befolyásolja a fagyáspont értékét. A forró vízből kiváló sók miatt a kezdetben forró víz némileg magasabb hőmérsékleten fagy meg.



■ A hőmérséklet csökkenése az idő függvényében (nem méretarányos ábra)

KÍSÉRLETEZZ!**Forralás hűtéssel**

Egy öblös talpas lombik aljára tegyél egy kevés vizet, majd forrald fel annyira, hogy a lombikból a vízgőz kihajtsa a levegőt. Ezután távolítsd el a lombikot a hőforrástól, majd dugaszold be. A melegítés megszűntével a forrás leáll. Ezután hideg vízzel hűtsd a lombik falát.



A víz megint forrásba jön. A forrás a hűtéssel még sokáig fenntartható. A jelenség magyarázata: A lombikban lévő vízgőz a hűtés hatására lecsapódik, így a meleg, de már nem 100 °C-os víz ismét forrásba jön, mivel alacsonyabb nyomáson a forráspont alacsonyabb.

Légy óvatos! A lombikban a hűtés során nagyon alacsony lehet a nyomás. A nyomáskülönbség a lombik felrobbanásához vezethet. Csak szabványos, jó állapotban lévő kis méretű lombikot használj! A kísérlethez viselj védőszemüveget!

Forralás injekciós fecskendőben

Töltsünk langyos vizet egy injekciós fecskendőbe, és távolítsuk el belőle teljesen a levegőt. Ujjunkkal zárjuk le a fecskendőt, majd rántsuk meg kifelé a dugattyúját. A fecskendőben lévő vízben megjelenő buborékok azt jelzik, hogy a langyos víz forrásba jött.



■ Forrásban lévő víz

Forralás alacsony nyomáson

Alacsony nyomáson a víz lényegesen alacsonyabb hőmérsékleten is felforr. (A külső nyomást egy légszivattyú segítségével csökkenthetjük.) Légritka térben a szobahőmérsékletű víz is forrásba hozható. A „forró” tehát nem feltétlen jelenti azt, hogy meleg, magas hőmérsékletű.

A kukta, avagy „Papin emésztője”

■ Denis Papin (1647–1712)

Denis Papin francia fizikus megfigyelte, hogy egy erős, lezárt edényben a víz 100 °C-on nem jön forrásba, hanem magasabb hőmérsékletig melegíthető.

Mivel magasabb hőmérsékleten a vízbe rakott szerves anyagok (például leveszöldségek vagy levestűs) gyorsabban megpuhulnak, ezért az általa alkalmazott megoldással a háziasszonyok (és a főzésre vállalkozó háziurak) életét megkönnyítette. A jelenség lényege, hogy a zárt edényben kialakult – légkörinél magasabb – nyomáson a víz forráspontja magasabb.

Mivel a túlnyomás veszélyeket is hordoz, a kuktában elérhető túlnyomást szeleppel szabályozzák.

Tőled függ!

Az étel elkészülése után közvetlenül a kukta fedelét lefeszégetni rendkívül veszélyes. Vajon miért?



■ Kukta

A szublimáció (illanás) jelensége

Szilárd anyagok közvetlen légneművé válását **szublimáció**nak, szép magyar szóval **illanás**nak nevezzük. Kismértékben majdnem minden anyag szublimál, hiszen a tárgyak szaga annak bizonyítéka, hogy részecskék lépnek ki belőlük. Erős napsütésben nemcsak olvadás és párolgás révén csökkenhet a hóréteg, hanem szublimáció útján is. Ha télen 0 °C alatti a hőmérséklet, akkor is csökken az előzőleg lehullott, érintetlen hó mennyisége, ami kizárólag szublimációval történik. Amikor azt mondjuk, hogy valaki vagy valami „elillan, mint a kámfor”, akkor ez a mondás a kámfor olvadásnyom nélküli szublimációjára, eltűnésére utal.

A jelenség fordítottja is előfordul a természetben, például így keletkezik a magasban a hideg, kissé nedves levegőből kikristályosodó hó. A szublimáció fordított folyamatát gőzdepozíciónak vagy egyszerűen **gőzlecsapódás**nak nevezik.

Fagyott gázok

Hosszas és hiábavaló próbálkozás után a XIX. század végére olyan hűtési eljárásokat dolgoztak ki a fizikusok, amelyekkel lehetővé tették az addigiaknál sokkal alacsonyabb hőmérsékletek elérését. Ma már ipari méretekben cseppfolyósítanak nitrogént, ára közelítőleg a tej árával azonos. A szilárd szén-dioxid, a szárazjég, ami -78,5 °C-on szublimál, manapság gyakori színpadi látványelem, ugyanis ködöt, „füstöt” lehet létrehozni vele. Ha a szárazjeget vízbe ejtjük, akkor nagyon gyors lesz a szublimációja, ami hideg szén-dioxid-gázt eredményez. Ez viszont kiváltja a vízgőz lecsapódását, tehát mesterséges felhő (köd) keletkezik, amit ventilátorokkal juttatnak a színpad megfelelő részére.

A színpadi füst- és ködgépek nemcsak szárazjéggel, hanem speciális füstfolyadékokkal is működnek, melyekben általában ásványi olajokat, glikolokat, poliglikolokat, vizet és illatosító anyagokat tartalmazó, úgynevezett füstfolyadékokat használnak.

Mit gondoltak régen?

Sokáig azt hitték, hogy vannak olyan gázok, melyek nem cseppfolyósíthatók, illetve nincs szilárd halmazállapotú változatuk. Ezeket permanens (magyarul állandó) gázoknak nevezték, és az oxigént, illetve a nitrogént ilyennek tartották. Antoine Lavoisier (ejtsd: lavoázié), a sokoldalú tudós erről másképp vélekedett. Mai tudásunk szerint az oxigén és a nitrogén csak igen alacsony hőmérsékleteken cseppfolyósítható (ebben Lavoisier-nek igaza volt), azonban például szobahőmérsékleten nem cseppfolyósíthatók, hiába növeljük akár mekkorára is a nyomást (ezért nem túl alacsony hőmérsékleteken ezek valóban permanens gázok).

Lavoisier a légkör cseppfolyósításáról

Ha a Föld a Naprendszer forróbb területén lenne, mondjuk, ahol a legkisebb hőmérséklet is magasabb, mint a víz forráspontja, az összes folyadék és még néhány fém is gáz halmazállapotúvá alakulna, és a légkör alkotórészévé válna. Másrészt viszont, ha a Föld sokkal hidegebb területen lenne, például ahol a Jupiter vagy Szaturnusz található, folyóink és óceánjaink vizei kemény hegyekké lennének. A levegő, vagy legalábbis annak alkotórészei, nem maradnának továbbra is láthatatlan gázok, hanem cseppfolyós állapotba kerülnének.

Lavoisier halála

A francia forradalom „igazságszolgáltatása” Lavoisier-t hamis vádakkal halálra ítélte, és a kiváló, hírneves tudóson az ítéletet végre is hajtották. Amikor Lavoisier megtudta, hogy nyaktiló általi kivégzésre ítélték, elhatározta, hogy életét egy kísérlettel fogja befejezni: miután fejét levágják, megpróbál olyan gyakran, amilyen gyakran lehetséges, pislantani a szemével, mielőtt elveszíti az eszméletét, hogy így demonstrálja, milyen hosszan él még a lefejezett ember. Lavoisier tizenegyszer pislantott.

Vannak, akik ezt a történetet igaznak tartják, mások szerint csak legenda.



■ Antoine Lavoisier (1743–1794)



■ Szárazjég vízbe ejtve



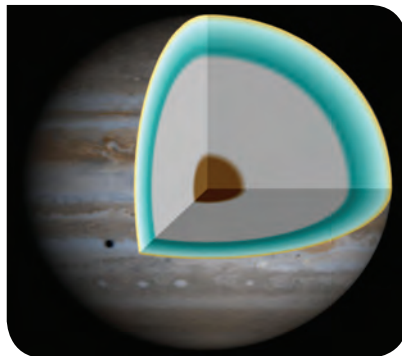
■ Louis-Paul Cailletet (1832–1913)

NE FELEDD!

A szilárd anyagok megolvadnak, a folyadékok megfagynak. A folyadékok párolognak, illetve felforrnak. A gőzből folyadék csapódik le. Amikor a szilárd halmazállapot közvetlenül alakul légneművé, szublimációról, magyarul illanásról beszélünk. Alacsony hőmérsékleteken a gőzből szilárd halmazállapotú kristályok csapódhatnak ki, ezt a folyamatot gőzdepozíciónak, magyarul gőzlecsapódásnak nevezzük. Ezeket a folyamatokat nevezzük halmazállapot-változóknak.

A halmazállapot-változásokat nem kíséri hőmérséklet-változás (a folyamat közben a fagyáspont, az olvadáspont, a forráspont, illetve a lecsapódási hőmérséklet állandó marad), miközben a rendszer energiája megváltozik. A halmazállapot-változásokhoz szükséges energia jellemző az egyes anyagokra, ennek 1 kg anyagra vetített értéke a fagyáshő, olvadáshő, párolgáshő, forráshő. A halmazállapot-változások bekövetkeztének hőmérséklete függ a környezet nyomásától. A folyadékokban oldott anyagok megváltoztatják a fagyáspontot és a forráspontot.

Hallottál róla?



■ A Jupiter

Az óriásbolygók anyaga alapvetően hidrogén és hélium. Például a Jupiter bolygót úgy képzelhetjük el, hogy a folyékony hidrogén-óceán felett sűrű hidrogén légkört találhatunk. A bolygó belsejében uralkodó extrém magas nyomáson szilárd hidrogén is előfordulhat. A hidrogén mellett hélium is található a Jupiteren, azonban az összes hidrogén tömege háromszoros a összes hélium tömegének. A gázok általában hirtelen összenyomás hatására felmelegszenek,

kitágulva lehűlnek. A Jupiter több energiát sugároz ki, mint amennyit a Naptól kap. Ez úgy lehetséges, hogy évente nagyjából 2 cm-rel kisebbre húzódik össze (keletkezésekor a mai méretének a duplája volt), és az így keletkező energiát kisugározza. Végeredményben az összehúzódás ellenére is (a kisugárzás miatt) a Jupiter hőmérséklete fokozatosan csökken. Ahogy említettük, a gyorsan kitáguló gáz lehűl. Gyors táulások és lassú összenyomások ciklusaival (kaszkádmódszer), a keletkező hőt hűtővízzel elvezetve Louis-Paul Cailletet (ejtsd: kájeté) francia fizikus 1877-ben elsőnek cseppfolyósította az oxigént, majd néhány héten belül a nitrogént is. A folyékony oxigén, nitrogén, illetve folyékony levegő hőmérséklete normál légköri nyomáson -180 °C és -200 °C közé esik. Ezek az alacsony hőmérsékletek jelentik ezeknek a cseppfolyósított gázoknak a forráspontját, hiszen folyadékállapotból légneművé válnak, miközben ennyire hidegek.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Ismertesd hőmérsékleti és energetikai szempontból azt a folyamatot, amikor 1 kg -10 °C -os jégből 1 kg $+110\text{ °C}$ -os vízgőz lesz!
2. Milyen tényezők befolyásolják a párolgást? Mi az a relatív páratartalom?
3. Hasonlítsd össze a párolgás és a forrás jelenségét!
4. Mit jelent a forráspont nyomásfüggése? Nevezz meg egy-két gyakorlati példát erre a jelenségre!
5. Mekkora tömegű víz keletkezik 1 kg jég megolvasztásából? Mekkora energianövekedéssel jár a folyamat? Hány százalékos a térfogatváltozás?
6. A hópárna folyadékának kristályosodása során hó szabadul fel. Mit kell tennünk, ha a hópárnát ismét használni szeretnénk?
7. A magas hegyekben a víz már 100 °C -nál alacsonyabb hőmérsékleten is felforr. Mi a jelenség magyarázata? Miért nem könnyű a magas hegyekben ennek ellenére vizet forralni? Milyen hátránnyal járhat az étel elkészítése szempontjából az alacsonyabb forráspont?
8. Valahol azt olvastuk, hogy telített állapotban a folyadék részecskéi nem lépnek át a gőztérbe, hiszen a folyadék mennyisége nem változik. Miért hibás ez az állítás?
9. Lehet-e egy fémnek gáz halmazállapota? Ha szerinted lehet, mondj egy példát rá, ha nem lehet, indokold!
10. Készíts rövid életrajzot Lavoisier-ról!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

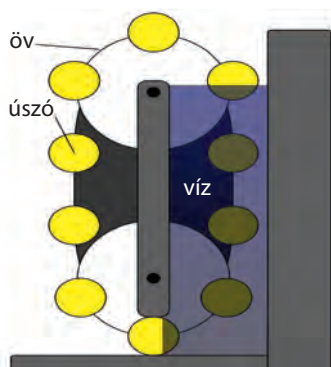
1. Ismertesd a három halmazállapothoz rendelhető részecskemodellt! Értelmezd ezek segítségével az olvadáshő és a párolgáshő fogalmát, valamint a párolgás erősségének és a folyadék hőmérsékletének összefüggését!
2. Mennyi $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os víz tud megolvasztani $1\text{ kg }-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os jeget? (A szükséges adatokat keresd ki a függvénytáblázatokból!)
3. Vízet és jeget keverünk össze. Lehetséges-e, hogy a keveredés után csak jegünk lesz? Hogyan?
4. $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on 100% -os relatív páratartalom esetén (telített állapot) a levegőben köbméterenként 30 g vízgőz van. Ugyancsak telített állapotban $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on köbméterenként 17 g vízgőzt találunk a levegőben. Egy nyári nap kora délutánján a hőmérséklet $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, és 25 g vízgőz van a levegőben. Mekkora a relatív páratartalom? Mennyi víz válik ki a levegőből köbméterenként, ha a hőmérséklet $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra hűl le?
5. Keresz természeti példát arra (a tankönyvi példán kívül), amikor egy anyag gőzből közvetlenül szilárd anyag válik ki, azaz a légnemű halmazállapotból szilárd lesz!
6. Magasabb hőmérsékleten egy köbméter levegő több vízgőzt tud befogadni, mint alacsonyabb hőmérsékleten. Értelmezd az anyagok részecskemodellje segítségével a jelenséget!
7. Hogyan változik a víz olvadáspontja, ha a külső nyomást megnöveljük? Milyen kísérleti elrendezéssel igazolható az olvadáspont eltolódása?
8. Általában a gázok cseppfolyósíthatók állandó hőmérsékleten a nyomás növelésével. Ugyanakkor ez csak egy úgynevezett kritikus hőmérsékletnél alacsonyabb hőmérsékleten lehetséges, a kritikus hőmérséklet felett bármilyen nagy a nyomás, a cseppfolyósítás lehetetlen. Mekkora a vízgőz, a nitrogén, az oxigén, a hélium kritikus hőmérséklete? Miért volt nehéz az utóbbi három gázt cseppfolyósítani?

31. | A folyamatok iránya

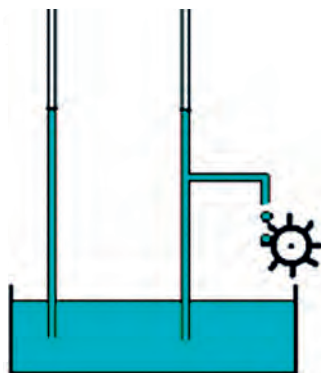
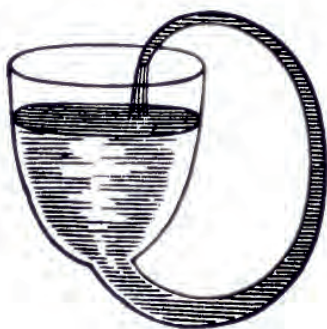
A hőtan alaptörvényei és az energiagondok



A hőtan első főtétele az **energiamegmaradást** fejezi ki. Ez például azt jelenti, hogy **nem lehet elsőfajú örökmozgót** (idegen szóval perpetuum mobilét) **készíteni**. Ez olyan gép lenne, amely valamekkora energia betáplálása hatására több munkát végezne, mint a betáplált energia. Ezt a törvényt könnyű elfogadni, hiszen mindennapos tapasztalatunk, hogy semmiből nem lesz valami. Ha lenne elsőfajú örökmozgó, akkor nem lenne energiaválság, hiszen a gép által megtermelt többletmunkát valamilyen hasznosítható energiává alakíthatnánk, így végül is korlátlan mennyiségben állna rendelkezésünkre energia. (Furcsa világ lenne, mindenki minden álmát megvalósíthatná.)



A hőtan második főtételének sokféle megfogalmazása van. Ennek a lelkének az elején már említettük azt a megfogalmazást, hogy hő magától mindig csak a melegebb testből áramlik a hidegebbe, sohasem találkozunk ennek a fordítottjával. A hőtan második főtétele így is megfogalmazható: **nem lehet másodfajú örökmozgót készíteni**. A másodfajú örökmozgó olyan gép, amely a betáplált hőt teljes mértékben mechanikai munkává tudja átalakítani. Ha lenne másodfajú örökmozgó, akkor például a tengerek vízének hatalmas energiáját számunkra hasznos munkává tudnánk alakítani. Ez a tétel már nem olyan nyilvánvaló, mint az energia megmaradása. Nem arról van szó, hogy a semmiből szeretnénk energiát teremteni, hanem arról, hogy valamilyen anyag termikus energiáját szeretnénk teljesen hasznos munkává alakítani. És ez nem azért lehetetlen, mert minden gépezet valamennyire súrlódik, és akármilyen ügyesek vagyunk is, mindig lesz a rendszerben súrlódásos veszteség. Ha csak ez lenne a gond, akkor fokozatosan közeledhetnénk a 100%-os hatásfokú géphez, ahogy egyre ügyesebben oldanánk meg a súrlódásos veszteség csökkentését.



■ Néhány örökmozgóötlet. Vajon miért nem mozognak örökké?

Megfordítható és nem megfordítható folyamatok

Hányszor találkozhatunk ilyen fizika feladattal: „Tekintsünk el a veszteségektől”. Például azt mondjuk, hogy valamekkora h magasságból leejtünk egy labdát, ami tökéletesen rugalmasan visszapattan a talajról... A feladat megoldása ismétlődő mozgás, ami sohasem áll meg. Amikor a labda felpattan, akkor ugyanazt a mozgást végzi, mint amikor leesett. Az ilyen folyamatot **megfordítható** (idegen szóval reverzibilis) **folyamat**nak nevezzük. Ha a folyamat visszafelé nem tud pontosan ugyanúgy lejátszódni, akkor **nem megfordítható** (idegen szóval irreverzibilis) a **folyamat**. A makroszkopikus méretű testek világában sohasem találkozunk tökéletesen megfordítható folyamattal. Azonban vannak olyan esetek, amikor nagyon élesen látszik a valóságos folyamat iránya, míg ugyanez visszafelé lehetetlen. Amikor leejtjük a vázát, és az a földön darabjaira törik, akkor világosan tudjuk, hogy ennek a fordítottja sohasem történhet meg, a váza darabjai sohasem fognak felugrani, és újra ép vázává összeállni. Ha a talajra ejtünk egy gyurmadarabot, akkor az odatapadó gyurma és a vele érintkező talaj egy kicsit felmelegszik. De sohasem tapasztaljuk azt, hogy egyszer csak a talaj és a gyurma kissé lehűl, aminek

hatására a gyurma felugrik. A második főtétel erről is szól, a maguktól lejátszódó folyamatoknak irányuk van, visszafelé külső beavatkozás nélkül nem történnek meg.

Hőerőgépek hatásfoka

A második főtétel azt mondja ki, hogy még akkor sem lehet egy termikus energiát használó gép hatásfoka 100%-os, ha feltételezzük, hogy a gép úgy működik, hogy benne minden folyamat megfordítható (reverzibilis). Nézzünk meg egy valódi esetet, vizsgáljuk meg a legelső gőzgép, a Newcomen-féle gép működését. Newcomen 1712-ben olyan gépet konstruált, amely bányákból tudta a felhalmozódó vizet kiszivattyúzni. A gépben egy jól csapágyazott, fából készült kétkarú emelő egyik oldalára lánc volt kötve, mely a bánya mélyén helyet foglaló szivattyú dugattyújához csatlakozott. Az emelő másik oldalához egy dugattyút rögzítettek, ami egy hengerben fel-alá mozgott. A henger a dugattyú felett nyitott volt, ezért ezt a gépet atmoszferikus gépnek is nevezik.

A henger alatt egy kazánban gőzt fejlesztettek, ami a dugattyút felnyomta. Ekkor a bal oldali kar lefelé mozdult. Ezután a hengertérbe vizet fecskendeztek, aminek a hatására a gőz lecsapódott, és a hengertérben alacsony nyomás alakult ki. Így a külső, atmoszferikus nyomás a dugattyút lenyomta, a bányaszivattyút működtető bal oldali kar felemelkedett. Ez volt a munkaütem. Ezután a lecsapódott vizet kiengedték, majd újra gőz került a hengerbe, és a folyamat újrakezdődött.

A gép működését áttekintve megállapíthatjuk, hogy a gőz lecsapódásakor fellépő hővesztéséget nem lehet elkerülni, vagyis a víz forralásába befektetett energiát nem tudjuk teljes mértékben a bányaszivattyú működésére fordítani. Általánosságban azt állapíthatjuk meg, hogy akármilyen is egy periodikusan dolgozó gép működési elve, szükségszerűen a folyamatban valamekkora hőleadásnak is kell szerepelnie.

A film, melyet fordítva fűztek be

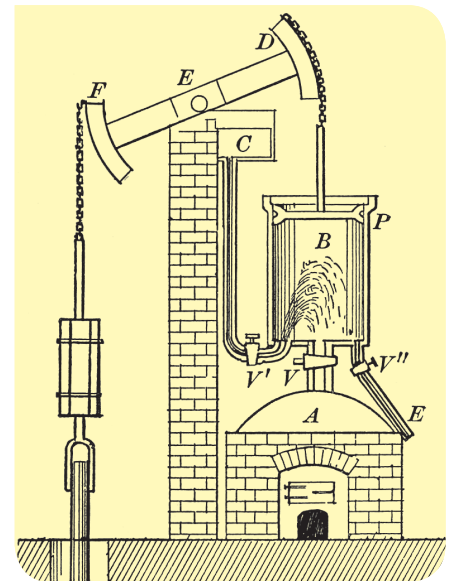
A természet folyamatai alapvetően megfordíthatatlanok. Képtelenség, hogy az összetört üvegpohár szilánkjai ismét összeforranak, majd felugorjanak épp pohárként az asztalra. Felettébb furcsa volna, ha valaki egy cseresznye-mag beszippantása és némi rágás után egy épp cseresznyét húzni ki a szájából. „Életünk filmjét” nem játszhatjuk le visszafelé. Az igazán izgalmas kérdés: mi az oka az egyirányúságnak.

Rendezett és rendezetlen energia

Egy száguldó vonaton valaki megrántja a vészféket. A szerelvény hatalmas csikorgással leáll, a kerekek, s a sín a súrlódás következtében felmelegszik. Egyáltalán nem sértené az energia-megmaradás elvét, ha a sín és a kerék lehűlné, s a felszabaduló energia újra mozgásba hozná a vonatot. Ez azonban nem következhet be. Pedig a meleg is mozgás, az anyagot alkotó részecskék mozgása. Csakhogy a vonat kerekének részecskéi, amikor a szerelvény halad összerendezetten, tehát nem egymástól függetlenül mozognak. A hőmozgás viszont rendezetlen. A fékezés során a részecskék rendezett mozgása rendezetlenné alakult, s ez a folyamat spontán módon nem zajlik le visszafelé. Rendetlenségből magától, rendrakás nélkül, nem lesz rend.



■ A „szomjas kacsa” is egy hőerőgép. Keress az interneten kisfilmet, amelyen működés közben látható! Próbáld megmagyarázni a mozgását!



■ Newcomen gőzgépe



■ Filmdarab

A hóhalál víziója

A természetben zajló mozgások során a súrlódás, közegellenállás hatására hő keletkezik, a rendezett energia rendezetlenné alakul, s nem alakul magától vissza. Ez azt jelenti, hogy a világ egészében mind több lesz a hő és mind kevésbé fogja jellemezni a tárgyakat a rendezett mozgás. Ha a végletekig visszük azt a gondolatot, akkor egy zárt világ egy meleg és mozdulatlan állapot felé tart. Ez a hóhalál állapota.

A rendetlenség eredete

Adva van a szobád, s benne a tárgyaid. A tárgyagnak helye van, s ha a helyükön vannak, a szobában rend van. A szobádban élsz, használod tárgyaidat. Elmozdítod a helyükről, s teszed valahova. Ha néhány nap múlva terepszemlét tartunk a szobádban, kiderül, hogy rendetlenség van benne. Ha nem akarsz rendet tenni, a rendetlenség megmarad. A rendetlenségből nem lesz magától rend. Ha összevissza pakolászod tárgyaidat a szobában, szinte biztos, hogy nem lesz rend, pedig akár lehetne, ha véletlenül mindent a helyére tennél, de nem valószínű. A tárgyak rengeteg helyen lehetnek a szobádban. A helyek zöme nem a rendes helyük, tehát nem a rend részei. Rendetlenség sokféleképpen lehet, teljes rend csak egyféleképpen. Ezért van az, hogy a szoba tudatos rendezés nélkül csak rendtelenebb lesz.



■ Dalí: Az elfolyó idő

Az idő természete

Ha a világ folyamatai nem lennének megfordíthatatlanok, azaz a most állapota bármikor megismétlődhetne a jövőben, akkor honnan tudnánk, hogy eltelt valamennyi idő, hogy ez a jövő, s nem az egykori jelen? Van-e értelme az időnek az egyirányú változások sora nélkül? Van-e önmagában, a dolgoktól, a dolgok változásától függetlenül idő?

Ludwig Boltzmann (1844–1906)

Sokoldalú osztrák fizikus, zenét tanult, irodalommal is foglalkozott. A fizika számos területén volt sikeres, fő eredménye a folyamatok irányára vonatkozó megállapításai. Elképzelései súlyos szakmai támadásokat váltottak ki kollégáiból. 62 éves korában, szellemi képességeinek hanyatlását érezve öngyilkos lett.



■ Ludwig Boltzmann

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hogy hívják azt a hőerőgépet, ami fordított módon üzemel?
2. Tartósan lehűthetjük-e a konyhában a levegőt, ha nyitva hagyjuk a hűtőszekrény ajtaját?
3. Gyűjtsünk össze néhány régebbi örökmozgóötletet, és keressük meg az okát, miért nem működhetnek ezek a szerkezetek örökké!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Fogalmazd meg többféleképpen a hőtan második főtételét (hatásfok, folyamatok iránya, idő, rendezetlenség stb.)!
2. Hogyan lehetne megoldani az emberiség energiaproblémáit, ha a hő magától áramlana a melegebb helyről a hidegebb helyre?
3. Sorolj fel egyirányú folyamatokat a természetben!
4. Tegyük fel, hogy egy jégdarab -40 °C -os hidegben elolvad. Ez lehetetlen, hiszen a jég olvadáspontja 0 °C . Ugyanakkor nem sérti a hőtan első főtételét a történet. Miért nem? Mennyiben mond ellent a jégdarab elolvadása a hőtan 2. főtételének?

NE FELEDD!

A minket körülvevő tárgyakban, anyagokban hatalmas mennyiségű energia van, ugyanakkor az ember számára hasznosítható energiaforrások mennyisége az emberiség nagy száma miatt kezd igencsak szűkössé válni.

A fenntartható fejlődés olyan fejlődést jelent, mely úgy biztosítja a jelen szükségleteinek a kielégítését, hogy az nem károsítja a jövő generációk igényeinek kielégítését.

A fosszilis energiaforrások közül a kőolaj és a földgáz ennek az évszázadnak a végére várhatóan elfogy, míg a kőszénkészletek a következő évszázad végéig remélhetőleg kitarthatnak. Ez azt jelenti, hogy égetővé vált a világ energiafogyasztási szerkezetének jelentős megváltoztatása. A lehetőségeket mérlegelve világosan látszik, hogy egyelőre semmiképpen nem mondhatunk le az atomenergia hasznosításáról.

A hőtan első főtétele a mechanikában tanult energiamegmaradás törvényét bővíti ki, figyelembe véve a testek belső energiájának változását is. A második főtétel a természetben lejátszódó folyamatok irányáról ad információt.

A kondorok

a szárnyaikat szinte nem is mozgatják, mégis fel tudnak emelkedni az Andok több mint 6000 méteres csúcsai fölé.
Hogyan lehetséges ez?



Az utazómagasságban

haladó repülőgépek után kondenzcsíkokat, azaz mesterséges felhőket figyelhetünk meg.
Mi ennek a magyarázata (a repülőgép hajtóművek égéstermékei többek között szén-dioxidot, vizet, és koromszemcséket tartalmaznak)?



Az eszkimók

tömör hóból építik az iglukat, melyben parázssal fűtenek, így relatíve meleg van benne.
Miért nem olvad el a kunyhó?



VI. VÍZ- ÉS LEVEGŐ- KÖRNYEZETÜNK



A zúzmara

*látványos kristályok
formájában válik ki.*

Vajon hogyan keletkezik?

32. | Csapadékok

A víz különleges anyag. A Földünkön uralkodó hőmérsékletek tartományában mindhárom halmazállapotban előfordulhat. Hogyan befolyásolja környezetünket a jég, a víz és a vízgőz, melyek az élet szempontjából nélkülözhetetlen H_2O különböző változatai?

EMLÉKEZTETŐ

Olvasás, fagyás, párolgás, lecsapódás, szublimáció és a szublimáció fordított folyamata, amit gőzdepozíciónak, illetve deszublimációnak vagy magyarul gőzlecsapódásnak nevezünk, egyaránt jellemző azokra a folyamatokra, melyeket ebben a fejezetben elemzünk.

A csapadékokról tavaly földrajzból már tanultunk, ebben a leckében a fizika törvényeinek szem előtt tartásával közelítünk a csapadékképződési jelenségekhez.

Mi okozza a csapadékot?

Csapadék akkor hull, amikor a levegő vízgőztartalma kiválik a nedves levegő lehülése miatt. Ennek több oka lehet:

- A levegő felfelé áramlása során kitágul, ezért lehül, így magasabban a légkör hőmérséklete alacsonyabb, mint a felszín közelében, ahol a felszín alulról melegíti a légkört.
- Időjárási frontok találkoznak, és a meleg, nedves levegő hideg, szárazabb levegővel találkozik. A meleg levegő nagyobb mennyiségű párat tud felvenni, vagyis nagyobb a telítési páratartalma. A hideg, nehezebb levegő felemeli a meleget, amelyből a kitágulás miatti hőmérséklet-csökkenés hatására kicsapódik a vízgőz.
- A nedves, páradús levegő valamilyen hideg felülettel találkozik.

A harmatpont fogalma

Mivel a meleg levegő több vízgőzt tud befogadni, mint a hideg, így a felfelé áramló és közben lehülő levegő relatív páratartalma nő. Nem a vízgőz mennyisége növekszik meg a levegő egységnyi térfogatában, hanem a befogadható maximális vízgőz mennyisége csökken. Amikor egy bizonyos hőmérsékleten a relatív páratartalom eléri a 100%-ot, azaz a levegő telítetté válik, ezt a hőmérsékletet harmatpontnak nevezzük. Ha a levegő tovább hűl, a vízgőz kicsapódik belőle. A kiváló páracseppecskék vagy jégkristályok alkotják a felhőket.

A felhők

A felhőket vízcseppek és apró jégkristályok alkotják. Ezek porszemcséken, füstből származó apró szennyeződésekben válnak ki (tisztá levegőben nehezebben indul meg a kicsapódás). A felhők a látható fény számára többé-kevésbé átlátszatlanok, így szűrik a napfényt. A felhőket alakjuk és magasságuk szerint is csoportosítjuk. A legmagasabb felhők 12–15 km-en, a legalacsonyabbak jellemzően 2 km magasan helyezkednek el, de magas hegyeken előfordulhat, hogy az ormok alatti völgyekben (magunk alatt) láthatjuk a felhőket.

Hogyan keletkezik az eső?

Hallottál róla?

Honnan ered a meteorológia kifejezés?

A meteorológia szó szerinti fordításban a „hulló tárgyak tudományát” jelenti. Minden égből hulló dologgal a meteorológia foglalkozott az arisztotelészi fizikában. A hulló dolgokat gyűjtőnéven meteoroknak nevezték. A meteorokat hőmérsékletük, jellemző fizikai állapotuk, hatásuk alapján csoportosították. A tüzes, száraz meteorok csoportjába tartoztak a mai tudományban meteoritoknak nevezett földre hulló kozmikus törmelékek. A jeges, nedves, hideg meteorok alkotják a csapadékok családját.

A felhőkben lévő vízcseppek sokáig azért nem esnek le, mert az alulról felfelé mozgó levegő megtartja őket. Nagy magasságokban a levegő olyan ritka, hogy a felfelé mozgó levegő légellenállása nem képes tovább emelni a vízcseppeket, ezért nagy magasságokban egyáltalán nincsenek felhők. Ha a légáramlás megváltozik, vagyis a levegő lefelé kezd áramlani, akkor elered az eső.

Az esőképződés másik módja az, amikor a felhőkben jégkristályok vannak. Ha ezekre a felhőkben kiváló jégkristályokra egyre több víz fagy rá, súlyuk elegendővé válhat ahhoz, hogy a levegő felfelé áramlásával szemben elinduljanak lefelé. Amennyiben a jégkristályok útközben, a melegebb rétegekben megolvadnak, eső keletkezik.

Savas eső

Ha a földre hulló eső savas kémhatású, savas esőről beszélünk. A savasságot természetes okok és emberi tevékenység egyaránt eredményezheti. Gyengén savas kémhatást okoz a szén-dioxidból keletkező szénsav; erősebben savasít a kénsav, mely akár vulkáni működés eredményeként, akár a szén és kőolaj elégetésével kerülhet a légkörbe. A salétromsav ipari szintű előállításának melléktermékeként a levegőbe is kerülhet salétromsav, amely szintén erős sav. A savas esők megtámadják a növényeket, de az emberi építményeket, szobrokat is. Védekezni az ember által kibocsátott szennyező anyagok csökkentésével lehet.



■ A savas eső hatása egy szobron



■ Savas eső sújtotta erdő

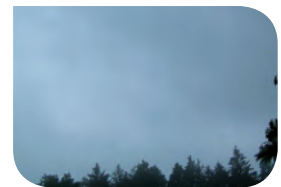
Hallottál róla?

Az alábbiakban bemutatjuk a felhőtípusokat, magyar nevüket és elhelyezkedésüket:

	Latin név	Magyar név	Elhelyezkedés
1.	Cirrus	pehelyfelhő	magas
2.	Cirrocumulus	báránnyfelhő	magas
3.	Cirrostratus	fátyolfelhő	magas
4.	Alto cumulus	párnafelhő	középmagas
5.	Altostratus	lepelfelhő	középmagas
6.	Nimbostratus	esőrétegfelhő	több szintet átfog
7.	Stratocumulus	gomolyos	alacsony
8.	Stratus	rétegfelhő	alacsony
9.	Cumulus	gomolyfelhő	alacsony
10.	Cumulonimbus	zivatarfelhő	több szintet átfog



7.



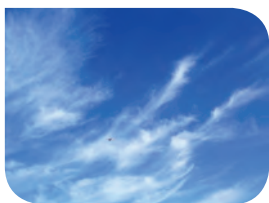
8.



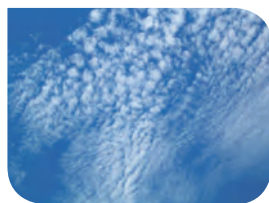
9.



10.



1.



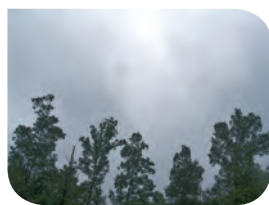
2.



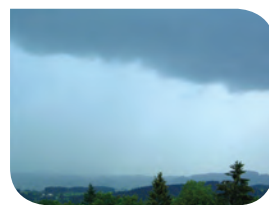
3.



4.



5.



6.

■ Felhőtípusok



■ Zápor

Zápor és zivatar

A gyors feláramlású levegőrétegekből nagy cseppekben, rövid idő alatt kihull a nedvesség, elered a zápor. Zivatarokra számíthatunk időjárási frontok találkozásakor, amikor a meleg, nagy nedvességtartalmú levegő gyorsan és jelentősen lehűl. A zápor és a zivatar is heves eső. A meteorológiában úgy különböztetjük meg őket, hogy a zivatarok dörgéssel, villámlással járnak, míg a záporok esetén nincsenek villámok. Nemcsak nedves, hanem száraz zivatarok is léteznek, amikor eső nem esik, azonban dörög és villámlik az ég.

Ködszítalás

Alacsony, zárt rétegfelhőkből apró cseppek hullnak, csekély mennyiségben, de sokszor huzamosabb ideig. Lényegében akkor találkozhatunk ködszítalással, ha egy felhő eléri a talajszintet, vagyis beborít minket.

Ónos eső



■ Ónos eső



Hallottál róla?



■ Jégeső

A nyári zivatarokat gyakran jégeső kíséri. Ennek oka legtöbbször, hogy a gyorsan emelkedő nedves levegőből kiváló vízcseppek túlhűtötté válnak, és amikor ezek apró jégkristályokkal ütköznek, ráfagynak a jégszemcsékre, így megnövelik ezek méretét. Az így megnőtt jégkristályok elkezdnek lefelé esni, és útjuk közben újabb túlhűlt esőcseppekkel találkozhatnak, ezért időnként meglepően nagyra is megnőhetnek. Az 5 mm-nél nagyobb átmérőjű jégkristályok esetén beszélünk jégesőről, egyébként ezt a csapadékot jégdarának hívjuk.

Télen előfordul, hogy az alsó, hidegebb légrétegek felett melegebb légréteg helyezkedik el. Ilyenkor a melegebb rétegen áthaladó hó megolvad, de az alsó, hidegebb rétegben nincs ideje megfagyni. A földre így túlhűtött esővíz érkezik, ami ráfagy a tárgyakra, azokat vékony jégkéreggel vonja be, ami később fokozatosan meg is vastagodhat. Az ónos eső rendkívül veszélyessé teszi a közlekedést, de a vezetékekre, fákra ráfagyó jég nagy pusztítást is okozhat. Évről évre jelentős erdőterületeket pusztít el Magyarországon egy-egy ónos eső, mert a faágakra rakódó jég súlyától letörnek az ágak.

Hull a hó

A hó a felhőben a vízpárából közvetlenül kristályosodik ki a víz fagyáspontja, azaz 0 °C alatt. Az apró jégkristályok hópehelyé állnak össze, melyek jellegzetes, szimmetrikus formáját már mindenki megcsodálta. A hópehelyek alakját nagyban befolyásolja az a hőmérséklet, amelyen kialakultak. Nagyobb hidegben lazább szerkezetű, méretesebb hókristályok képződnek. A porhó könnyű, laza hó, hidegben is pelyhekben hull, nem áll össze hólabdává. Ennek sűrűsége mindössze 30–60 kg/m³, azaz nagyon sok benne a levegő.

A meteorológusoknak télen gyakran igen nehéz előre jelezniük, hogy eső vagy hó formájában fog jelentkezni a csapadék. Azt viszont tudjuk, hogy télen hó, eső vagy ónos eső fordulhat elő, jégeső nem. Ennek az az oka, hogy csak a nyári páradús levegőből tudnak olyan nagy vízcseppek kiválni, melyek megfagyva jégesőt okozhatnak. A gyorsan hulló jégszemek ütköznek az apróbb, lassúbb esőcseppekkel, melyek a jégdarabra fagynak, nagyra hizlalva azt.



■ Sielő porhóban

Mit gondoltak régen?

Esni fog? – Népi megfigyelések

Az időjárás alakulása rendkívül fontos szerepet játszik az emberek mindennapjaiban. Mivel a korszerű előrejelzési módszerek évszázadokkal ezelőtt még nem álltak rendelkezésre, az emberek saját környezetük megfigyelésére támaszkodtak, és az ebből levonható tapasztalatokat próbálták egymásnak átadni. Az alábbiakban Puky Simon 1846-ban Budán megjelent könyvéből mutatunk néhány példát.

Esőre mutató körülmények a környezetben:

- Ha a felhők lent vannak, és napkelte után néhány órával megsűrűsödnek.
- Ha tiszta időben a felhők magasabb hegyekre szállnak, és azokat megülik.
- Ha vékonyan elnyúló, áttetsző felhő feketedni, „fürtösödni” kezd.
- Ha a napot virradáskor veres felhők veszik körül.
- Ha a távoli tárgyak közelebbinek tűnnek, mint ahol vannak.

Esőre mutató körülmények az állatok viselkedésében:

- Ha a partifecskek visszahúzódnak.
- Ha a tyúkok sokat tollászkodnak.
- Ha a baglyok előbb jönnek elő este, mint szoktak, és hangosabbak.
- Ha a vízimadarak elhagyják a vizet.
- Ha a szentjánosbogarak erősebben világítanak, mint máskor.
- Ha a földön este apró bogarak mászkálnak nagy számban.
- Ha a kutyák füvet rágnak, és szüntelen szaladoznak.
- Ha a bolhák szúrósan csípnek.
- Ha a halak tiszta időben a víz tetejére jönnek.
- Ha a piócás üvegben a piócák az üveg falára másznak, elhagyva a vizet.
- Ha a békák hangosan kuruttyolva hívják az esőt, akkor meg is jön.
- Ha a szamár minden ok nélkül hempereg, akkor is eső lesz.

Ha a hőmérséklet a jég olvadáspontjának közelébe esik, a hópehelyek nagy csomókba tapadnak össze, és a földre nedves, jól gyúrható és alakítható hó hull. Míg a porhavat a síelők kedvelik, a ragadós, nedves hóból jól lehet hóembert építeni.

Ha a hópehelyek túlhűlt vízcseppekkel találkoznak, apró levegős gömbökké fagnak össze, ez a hódara vagy más szóval havas zúzmara.

Mikor jön létre a harmat?

A harmat nem az égből hull, hanem helyben keletkezik. A nagy nedvességtartalmú levegő lehülése során eléri a harmatpontot, és tovább hűlve víz válik ki belőle. A nedvesség beborítja a környezet tárgyait. A harmat kiválása mindig a hőmérséklet csökkenéséhez kötött, azaz nem az alacsony hőmérséklet, hanem a jelentős hőmérséklet-változás váltja ki. A levegő páratartalmától és a lehülés mértékétől függ, hogy már este megjelenik a harmat, vagy csak a hajnali órákra keletkezik. Ha a harmatpont a víz fagyáspontja alatti, akkor a növények leveleire a pára szilárd állapotban válik ki, ami hasonlít a hóképződéshez. Ilyenkor a leveleken finom fehér porszerű réteg képződik, amit dérnek nevezünk.

SZÁMOLD KI!

Hány mm esőnek felel meg elolvadáskor a 10 cm vastag porhó réteg, ha a porhó sűrűsége 50 kg/m³?

Hallottál róla?

Békaeső és egyéb furcsaságok

Az égből néha meglepő dolgok hullanak. Ilyen például a békaeső. Tornádó esetén olyan erős lehet a feláramlás, hogy akár apróbb élőlényeket is magával tud sodorni. Így kerülhet a felhőbe homok vagy olykor kis méretű békák, halak, apróbb kígyók is. Egy kisebb tornádótölcsér is ki tudja szippantani egy tavacska élőlényeit, melyek aztán valahol máshol hullanak vissza. Az ilyen események meglehetősen ritkák, de azért számos esetben megfigyelték már a jelenséget.



■ Hópehelyek



■ Harmatos fű



■ Zúzmara az ágon



■ Dér

Mi a zúzmara?

A zúzmara fagypont alatti hőmérsékleteken alakul ki, amikor túlhűlt köd-szemcsék vagy felhőcseppek ütköznek a Föld felszínén lévő tárgyakra. A becsapódást követően a cseppek egy része ráfagy a felületre, majd további cseppek érkezésekor a kristályképződés folytatódik. A keletkező jégkristály az állandó széliránnyal ellentétesen növekszik. A mindent beborító néhány centiméteres finom kristályok elsősorban hegyes tűkből állnak.

Kiugró tárgyakon, szeles helyeken, kilátók csúcsán, magas fák ágain, oszloponkon 10 cm-t is elérő, nagy jégkristályok alakulhatnak ki.

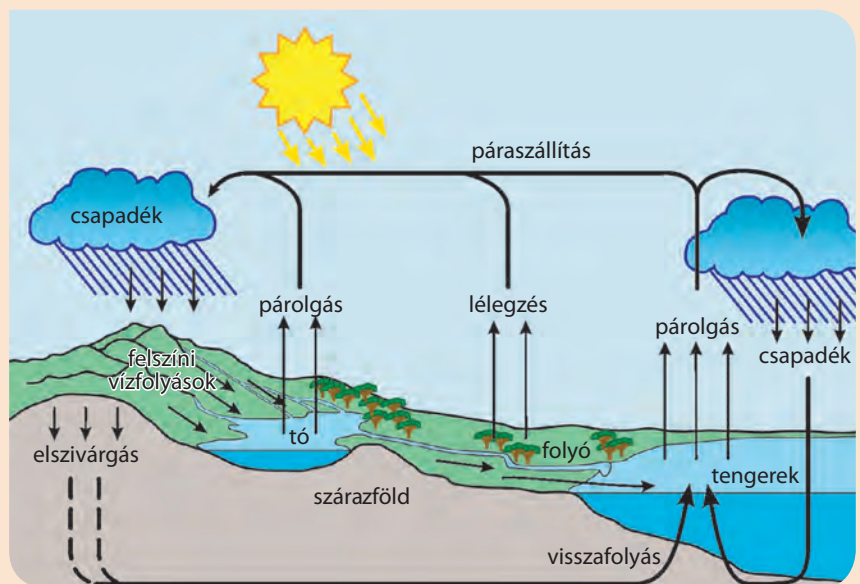
NE FELEDD!

A Föld felszínének hozzávetőlegesen kétharmad részét tengerek, óceánok borítják. A nap sugarai felmelegítik a vizek felszínét, párolgás indul meg, és a meleg levegő felemelkedik. A magasban a meleg levegő lehűl, és a harmatpontot elérve a légkörben lévő góccok vízcseppek és jégkristályok válnak ki, melyek felhőt alkotnak. A felhőkben lévő jégkristályok egyre nagyobbra híznak, majd súlyuknál fogva – dacolva a felfelé irányuló áramlásokkal – visszahullanak a tengerbe, illetve a Föld felszínére. A jég a Föld felszíne felé haladva megolvad, esőcseppek formájában érkezik a földre. Eső télen-nyáron hullhat, azonban hó és ónos eső csak télen, míg jégeső csak nyáron.

A vizet a patakok és a folyók a tengerekbe szállítják, illetve egy része beszivárog a talajba. A talajvizet részben felveszik a növények, melyek maguk is párologtatnak. A földbe szivárgott víz másik része a talaj és a kőzetrétegek természetes szűrőin áthaladva megtisztul, és talajvíz vagy rétegvíz lesz belőlük. A hegyekben ez a víz forrásvízként kerül a felszínre. A forrásból patak, a patakból folyó lesz, és a csapadékvíztől is táplálva a folyam visszaviszi a vizet a tengerbe.

Hallottál róla?

A száraz Namíbia-sivatagban élő páragyűjtő bogár (*Onymacris unguicularis*) saját testén gyűjti össze a harmatot, miközben türelmesen várakozik potrohát megemelve a lehűlő sivatagban. A harmat testén keresztül a szájába folyik.



■ A víz körforgása

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Honnan származik a csapadék?
2. Ismertesd a harmatpont fogalmát!
3. Milyen körülmények válthatják ki a nagy nedvességtartalmú légrétegek lehülését?
4. Milyen formáit ismered a csapadékoknak? Ismertesd a kialakulásuk folyamatát!
5. Ismertesd a víz körforgását, a közben lezajló fizikai folyamatokat és a fizikai jellemzőik változásait!
6. Fényképezz felhőket, és próbáld besorolni azokat a tankönyvi felvételek alapján!
7. Mi a különbség a dér és a zúzmara között?
8. Milyen jelenségek igazolják, hogy a levegő melegítés hatására állandó nyomáson kitágul?
9. Egy viszonylag ritka, a hidegebb hónapokra jellemző meteorológiai jelenség az inverzió. Nézz utána, mi történik ilyenkor!
10. Miért nem hullhat ónos eső nyáron?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy 30 °C-os hőmérsékletű estén egyik nap 80%, a másik nap 70% a relatív páratartalom. Melyik nap lesz alacsonyabb a harmatpont? Mi lesz a harmatpontkülönbség következménye, ha a levegő mindkét este ugyanolyan hőmérsékletre hűl le? Melyik hajnalban lesz több vízgőz a levegőben, ha a hajnali hőmérséklet mindkét nap harmatpontjánál alacsonyabb?
2. Hány liter víz hull egy 1 km²-es területre, ha 5 mm eső esik?
3. A felmelegedő levegő kitágul, ezért felfelé áramlik. A lehűlő levegő sűrűsége nő, ezért lefelé mozog. Hogyan lehetséges, hogy nem áramlik folyamatosan a magas hegyekből a völgyek felé a levegő, hiszen a magas hegyekben a hőmérséklet általában alacsonyabb?
4. Hogyan függ össze a légszennyezettség adatainak alakulása és az időjárás? Milyen időjárási események segíthetik a légszennyezettség csökkenését, vagy akár a légkör pollentelítettségének csökkenését?
5. A páragyűjtő bogár saját testén gyűjti össze a harmatot. Magyarázd el részletesen, hogyan zajlik mindez és miért!
6. Valaki egyszer azt állította, hogy akkor keletkezik harmat, ha a hőmérséklet alacsony. Ez az állítás így pontatlan, hibás. Miért? Mi a harmat keletkezésének pontos előfeltétele?

33. | A hó terjedése

Képzeld el, hogy egy társaság magashegyi túrán sátrokban tölti az éjszakát egy réten. Van, aki fa alá állítja a sátrát, van, aki a szabadba. A tiszta, felhőmentes éjszaka alatt a levegő hőmérséklete erősen lecsökken, de fagypont felett marad néhány fokkal. Amikor a társaság reggel kikászálódik a sátrakból, azt veszik észre, hogy a szabadban álló sátrakat vékony jégréteg borítja, a fa alatt álló sátrak felülete viszont nem jeges, hanem harmatvízzel borított. Ugyanilyen jelenség következik be gépkocsik karosszériáján, ablaküvegein is, a fák alatt, az épületek közvetlen közelében álló autók reggelre nem jegesednek, a szabadon álló kocsik viszont igen, ha a csillagfényes éjszakán erős, azonban fagypont feletti a lehülés. A jelenség magyarázatában a hősugárzás, a hővezetés és a hóáramlás is szerepet játszik. Ezekről a jelenségekről szól ez a lecke.

Hővezetés

Ha egy fémkanalat forró levesben hagyunk, megállapíthatjuk, hogy a levesből kilógó vége is felforrósodik. A fémek vezetik a hőenergiát, a fémek jó hővezetők. Ha fakanállal próbálkozunk, meggyőződhetünk róla, hogy a fa nem vezeti a hőt, a fa hőszigetelő. A gázok és a folyadékok általában rossz hővezetők, bennük a hő inkább áramlással terjed.

A szilárd anyagokban a hő vezetéssel terjed. A hővezetés sebessége az anyagra jellemző mennyiség. A hővezetés során az anyag felmelegített része a szomszédos hidegebb anyagrészt melegíti, s így terjed a hő. Az az anyag, melyben gyorsan terjed a hő, jó hővezető, melyben nem terjed a hő, hőszigetelő.

A levegő jó hőszigetelő. A madarakat melegen tartja a tollaik közt lévő levegő, s a hegymászó testét a pihéből készült hálósák. A forró kávé sokáig meleg marad, ha tejszínhabot, azaz levegővel felfújt tejszínt teszünk a tetejére, a termosz dupla fala közötti légüres tér hőszigetelő hatása védi meg a benne lévő forró teát a kihűléstől.

Hóáramlás

A hő áramlással is terjedhet. A fűtőtest által felmelegített meleg levegő felszáll, eláramlik, s helyére hideg levegő kerül. Ez a folyamat a szelek motorja. Áramlással terjed a hő a hideg és meleg tengeráramlásokban, a Föld belsejében lévő magmában is. A felszálló meleg légáramlatok, a „termikek”-nek köszönhetően emelkednek a vitorlázó repülők és a paplanernyősök.

Hóáramláskor a hő anyagáramlással jut el a melegebb helyről a hidegebb helyre. Erre szilárd anyagok nem képesek, hiszen szilárd anyagokban az atomok, molekulák helyhez kötöttek, vagyis a **hóáramlás csak folyadékokban és gázokban történhet**. Hővezetéskor az energia áramlik, de az anyag helyben marad, hóáramláskor maga az anyag mozog egyik helyről a másikra. Például a forró kályha vagy a meleg radiátor körül a levegő felmelegszik, kitágul, sűrűsége lecsökken, ezért elkezd felfelé áramlani a mennyezet felé. Érdeemes kipróbálni, hogy ha fűtési szezonban egy magas létrán felmászunk magasra, a mennyezet közelébe, akkor ott meglepően meleg a levegő. Természetesen a meleg levegő helyére felülről hideg levegő kerül, mert annak nagyobb a sűrűsége.

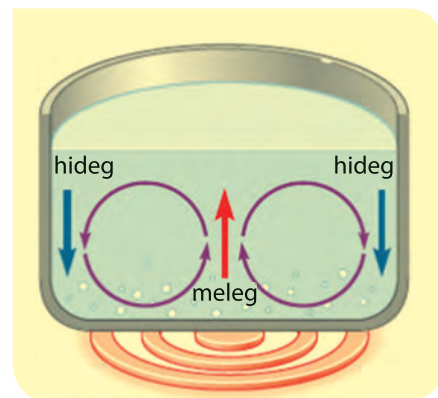


■ A felszálló meleg levegőáramlást (ezeket termikeknek hívjuk) kihasználják a madarak, a vitorlázó- és a sárkányrepülők, és segítségükkel nagy magasságokba tudnak emelkedni



■ Vitorlázó repülő

Bár a levegőnek rossz a hővezetése (a mozdulatlan levegő jó hőszigetelő), azonban a hőáramlás segítségével a kályha melege gyorsan szétárad a szobában. Hagyományosan a külső és a belső ablaktáblák között 10–15 cm-es levegőréteg található, a modern termoplán ablakok esetén a két szigetelt üvegréteg között mindössze 6 mm-es légréteg. Mégis a termoplán üvegek jobb hőszigetelők, mert közöttük gyakorlatilag áll a levegő, míg a hagyományos elrendezés esetén a külső és a belső ablaktáblák közötti térrészt kitöltő levegőben erős hőáramlás jön létre, ami rontja a hőszigetelést. Újabban úgy javítják a hagyományos ablakok hőszigetelését, hogy az egyik ablaktáblát termoplán üvegre cserélik.



■ Hőáramlás jön létre a melegedő vízben. A lábás alján át hővezetéssel érkezik az energia a vízbe, ami felmelegíti az edény alján lévő vizet. A felmelegedett víz sűrűsége lecsökken, a felhajtóerők hatására a meleg víz felemelkedik, helyére hozzá képest hidegebb víz kerül, természetes hőáramlás jön létre

Természetes és mesterséges hőáramlás

Ha a hőáramlás a gravitációs erők hatására következik be, akkor természetes hőáramlásról beszélünk. Ilyenkor a kisebb sűrűségű folyadék vagy gáz a felhajtóerők következtében felfelé mozog, míg a nagyobb sűrűségű anyag lefelé törekszik.

A vízpartokon kialakuló parti szelek érdekes példáját jelentik a természetes hőáramlásnak. Szélcsendes időben csak a partok közelében lehet ezek segítségével vitorlázni. Ennek az a magyarázata, hogy a partoknál a szárazföldön jelentősen nagyobb a napi hőingás, mint a tengeren. Ez azt jelenti, hogy napközben a szárazföld a melegebb, és ott száll felfelé a levegő, a tenger viszont hozzá képest hidegebb, tehát ilyenkor a tenger felől a partok felé fúj a szél. Éjjel viszont az erős kisugárzás miatt a szárazföld lehűl, azonban a tengerek a nagy hőkapacitásuk miatt viszonylag melegebbek maradnak, tehát éjjel a



■ Parti szelek nappal és éjszaka

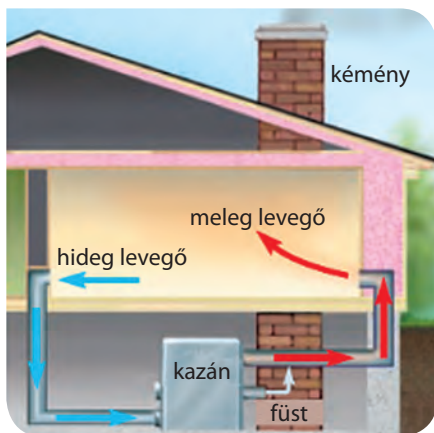
Hallottál róla?

Az ember és az állatok vérkeringése is felfogható mesterséges hőáramlásnak. Ilyenkor a szív a keringető motor, ami a test belsejéből a vérrrel hőt juttat a bőrbe, illetve a bőr közelében lévő szövetekbe. Ha nagyon meleg fürdőt veszünk, akkor ez a folyamat fordítva sülhet el, és a vérkeringéssel túlmelegíthetjük szervezetünk központi részeit.

Vannak olyan állatok, melyek testfelülete állandóan hideg vízzel érint-

kezik, mint például a gázlómadarak lába, vagy a hideg tengerekben élő halak. Ezek testének belseje sokkal melegebb, mint a vízzel érintkező bőrfelületük. Ha állandóan hőt adnának le a környezetüknek, akkor nem győznének eleget táplálkozni ilyen sok energia előállításához. Szervezetükben az artériás és a vénás erek közel futnak egymáshoz, így szinte tökéletes hőcserélőt képeznek. Az ellenáramoltatás azt jelenti, hogy az egymással érintkező erekben majdnem ugyanakkora a vér hőmér-

séklete, a szívből kiinduló artériás erekben fokozatosan hűl le a vér, míg végül az artériás hajszálerekben gyakorlatilag a bőr hőmérsékletére hűl. Visszafelé ugyanez játszódik le fordítva a vénás erekben, ahol a bőrfelszín hőmérsékletéről fokozatosan nő a vér hőmérséklete addig, míg a testmag hőmérsékletét eléri. A szív lényegében állandósult energiaállapotot tart fenn, gyakorlatilag alig kerül hő ezeknek az élőlényeknek a szervezetéből a hideg környezetbe.



■ Épületfűtés a falakban kialakított járatokon keresztül. Ez a fűtés történhet természetes és mesterséges hőáramlással is. Melyik módszernek milyen előnyei és milyen hátrányai vannak?

tengerekről száll fel a meleg levegő, vagyis ilyenkor a partok felől fúj a szél. Ezeket a szeleket parti szeleknek hívják, és ez a magyarázata, hogy tengerparti nyaralásokkor szinte soha nem találkozunk szélcsenddel, csak reggelente és esteként, amikor éppen megfordul a parti szelek iránya.

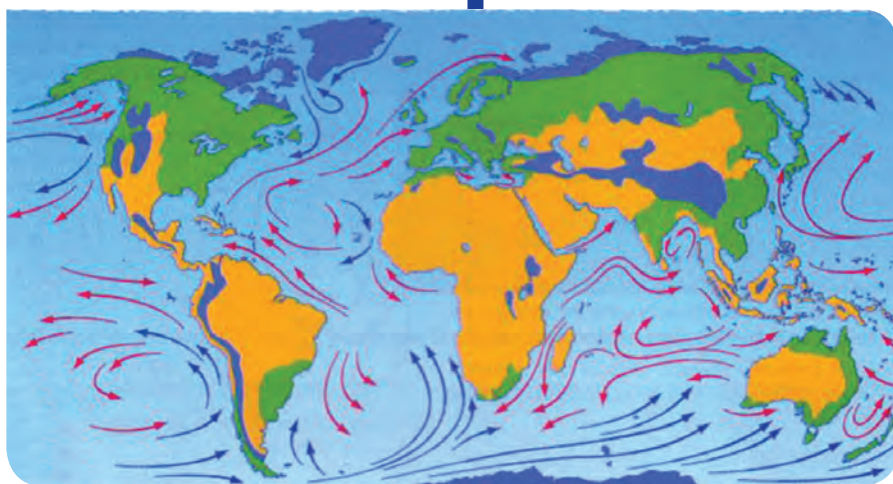
Mesterséges hőáramlás akkor jön létre, ha valamilyen kényszer segítségével, például ventilátorral vagy keringető szivattyúval hozzuk létre a hőáramlást. Házak, lakások fűtések a kazánban meleg vizet állítunk elő, ami keringető szivattyú segítségével jut el viszonylag vékony csöveken át a radiátorokig, majd vissza a kazánba. Megoldható az is, hogy a kazán meleg levegőt állítson elő, ami a házban kialakított járatokon természetes hőáramlással melegíti a házat, de ez a megoldás ritka. Manapság inkább a ventilátoros radiátorok vannak terjedőben, melyek egy hőcserélőn keresztül kapják a levegőt, amit a ventilátor segítségével a megfelelő helyre fújnak. Ennek előnye az, hogy így nyáron hűteni is lehet, mert akkor a ventilátorok hideg levegőt fújnak a szobába, vagyis így valójában egy klímaberendezéshez jutunk.

A GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁS VESZÉLYE (Olvasmány)

Akár a levegő, akár a tengerek átlaghőmérsékletét mérjük, mindkét esetben lassú emelkedést tapasztalhatunk, globális felmelegedésről beszélhetünk. Ennek oka jelenleg még nem teljesen tisztázott, sőt az is vitatott, hogy a globális felmelegedést az emberi tevékenység okozza-e vagy sem.

Izgalmas látszólagos ellentmondást fedezhetünk fel abban, hogy miközben mindenki egyetért a globális felmelegedés tényében, sok kutató tart az Észak-Európát fenyegető erős lehűléstől, eljegesedéstől. Ennek oka a földi természetes hőáramlási rendszer megzavarása lehet. Az Egyenlítő környékén nagyon meleg van, a sarkvidékeken nagyon hideg, ez működteti a Föld globális hőáramlási rendszerét. Ez a hőáramlás a levegőben és a tengerek, óceánok vizében zajlik, és nagyjából ugyanakkora mennyiségű energiát szállít a légkörzés is, mint a vízkörzés. A levegő sokkal kisebb hőkapacitású, de gyorsabban mozog, a tengerek, óceánok vizének hőkapacitása óriási, de a víz lassabban áramlik, ezért lehetséges, hogy mindkettőben nagyjából azonos a hőáram (a pontosabb számítások azt mutatják, hogy a hőenergia szállításában a légkör részesedése nagyjából 60%, míg az óceáni áramlásoké a fennmaradó 40%).

Ha a globális felmelegedés következtében a sarkvidéki jégsapkák vastagsága csökken, és a keletkező csapadékmennyiség növekszik, akkor létrejöhet egy kisebb sűrűségű édesvízszzerű felszíni réteg az Atlanti-óceán nagyobb sűrűségű sós vizének tetején. Normális körülmények között a Golf-áramlat által szállított meleg víz északon lehül, és a felszíni hideg sós víz az észak-atlanti térségben a nagyobb sűrűsége miatt lesüllyed, és így megtörténik a víz visszaáramlása. Ha viszont a felszínen lévő nagyobb mennyiségű édesvíz megakadályozza a lehült sós víz lesüllyedését, akkor a Golf-áramlat hajtóereje megszűnik, az áramlat lecsökken, esetleg le is áll.



→ meleg áramlások

→ hideg áramlások

■ A földi hideg és meleg tengeráramlatok

Így viszont nem érkezik meg az a meleg, ami Észak-Európát fűti, ezért itt a hőmérséklet kellemetlenül alacsonnyá válhat.

A jelenség másik veszélye az, hogy ha a tengerek és az óceánok kevesebb hőt kezdenek a sarkvidékek felé szállítani, akkor megnő a szelek hőáramlási szerepe, sokkal gyorsabbak lesznek a szelek, több és erősebb viharral, tornádóval, tájfunnal kell ezentúl szembenéznünk. Sokan úgy vélik, hogy az utóbbi évtizedekben valóban megerősödtek és megszaporoztak a viharok a Földön.

Hősugárzás

Minden tárgy sugároz ki magából energiát elektromágneses hullámok formájában, mert a tárgyakat alkotó atomok elektronjainak rezgései ilyen következménnyel járnak. Az elektromágneses hullámokról, az atomi elektronok rezgéseiről később fogunk részletesebben tanulni. Most elégedjünk meg annyival, hogy a hősugárzás is elektromágneses hullám, és minden elektromágneses hullám terjedési sebessége az üres térben, vagyis vákuumban ugyanakkora, mint a fénysebesség. A látható fény is elektromágneses hullám, a hősugárzás döntően az infravörös tartományba esik, ami a látható félynél nagyobb hullámhosszúságú elektromágneses hullámokat jelenti. A hősugárzás nem különül el élesen sem a látható fénytől, sem az annál rövidebb hullámhosszúságú ibolyántúli sugárzástól. Magas hőmérsékleten a testek izzani kezdenek, látható fényt sugároznak ki, sőt igen magas hőmérsékleteken jelentőssé válik az ibolyántúli sugárzásuk is.

A hősugárzásnak nincs szüksége közvetítő közegre, ellentétben a hővezetéssel és a hőáramlással, melyek nem történhetnek meg anyagi közvetítő közeg nélkül. A **hősugárzás áthalad az üres téren is**, ahogy a Nap sugárzása is az üres világűrön keresztül érkezik meg a Földre. A Naptól érkező energia hősugárzás, vagyis elektromágneses hullámok formájában érkezik meg hozzánk. Ennek az energiának a 30-40%-a visszaverődik a Földről, különösen sok a visszavert kékes színű fény, ezért szokták a Földet kék bolygónak is hívni, mert a világűrből nézve a Föld kékes színűnek látszik. A Naptól érkező energia többi része, vagyis 60-70%-a kis részben elnyelődik a légkörben, nagyrészt pedig a Föld felszínén. Ha a Föld csak elnyelné az energiát, de nem sugározna ki semmit, akkor folyamatosan növekedne a Föld hőmérséklete. Lényegében beáll egy meglehetősen kényes egyensúly, vagyis a beérkező energia megegyezik a visszavert és a kisugárzott energiák összegével.

Nemcsak a Föld, hanem minden más test is ugyanígy viselkedik. Hősugárzást bocsát ki, miközben visszaveri, illetve elnyeli a környezetében lévő tárgyak hősugárzását. A sötét színű tárgyak keveset vernek vissza, sokat nyelnek el, a fényes, világos tárgyak ezzel szemben sokat vernek vissza, keveset nyelnek el. A testek kisugárzása arányos az elnyelésükkel, tehát a sötét testek sokat nyelnek el, és ugyanakkor sokat is sugároznak ki. A világos, fényes testek keveset nyelnek el, és ugyanakkor keveset is sugároznak ki. (Ennek azért kell így lennie, mert egyébként ha egy sötét és egy világos test egymással sugárzási kölcsönhatásba kerülne, és a sötét sokat nyelne el, de keveset sugározna ki, akkor egyre melegebb lenne, a világos pedig, ha keveset nyelne el, de sokat sugározna ki, akkor egyre hidegebb lenne. Viszont azt soha nem tapasztaljuk, hogy két egyforma hőmérsékletű test közül az egyik egyszer csak spontán módon, magától melegedni kezd, a másik pedig hűlni.)



■ A kék bolygó



■ A hagyományos lámpa izzószála üzemi hőmérsékleten (kb. 2000 °C-on) fehéren izzik. Alacsonyabb hőmérsékleten vörösen izzik. Még alacsonyabb hőmérsékleten csak infravörös (nem látható) fényt bocsát ki

A hőszigetelési törvény

A testek hőszigetelése erősen függ a hőmérsékletüktől. Magasabb hőmérsékleten sokkal nagyobb a testek hőszigetelése, mint alacsony hőmérsékleten. A testek minden hőmérsékleten sugároznak, de vajon van-e kezdő-, illetve végpontja a hőmérsékleti skálának? A meglepő válasz az, hogy kezdőpont van, végpont viszont nincs. A testek energiáját növelve korlátlanul tudjuk a hőmérsékletüket (legalábbis elvben) növelni, ezért a hőmérsékleti skálának felső korlátja nincs. Ezzel szemben a testek hőmérsékletét csak addig tudjuk (legalábbis elvben) csökkenteni, amíg a testek molekuláinak, atomjainak minden mozgása meg nem áll. Ha elvesszük a részecskék összes mozgási energiáját, akkor tovább nem hűthetjük az anyagot. Ezt a legalacsonyabb hőmérsékletet abszolút nulla foknak nevezzük, és ezt manapság már egymilliomod foknál is jobban meg tudjuk közelíteni. A mérések azt mutatják, hogy a természetben elérhető legalacsonyabb hőmérséklet értéke $-273,15\text{ °C}$.

Hallottál róla?

A félig forró vízbe mártott hideg vizet tartalmazó pohárban a víz gyorsan felmelegszik, mert a meleg víz felfelé mozogva helyet cserél a hideg vízzel, hőáramlás zajlik. Ha egy pohárban forró vizet akarunk lehűteni úgy, hogy félig hideg vízbe mártjuk, ugyanez a helycsere nem zajlik le, s hőmérséklet csak jóval lassabban, hővezetéssel egyenlítődik ki.

A hőszigetelő levegő

A levegő jó hőszigetelő. A madarakat melegen tartja a tollaik közt lévő levegő, s hegymászó testét a pihéből készült hálósák. A forró kávé sokáig meleg marad, ha tejszínhabot, azaz levegővel felfújt tejszínt teszünk a tetejére, a termosz dupla fala közötti légüres tér hőszigetelő hatása védi meg a benne levő forró teát a kihűléstől.

Miért fázunk ruhátlanul?

Ha a levegő az egyik legjobb hőszigetelő (legrosszabb hővezető) felmerül a kérdés, hogy miért kell egyáltalán ruhát vennünk, hiszen a ruha sem szigetel jobban, mint a levegő. A válasz az, hogy a levegőben áramlással zajlik leginkább a hőcsere, amit a ruha megakadályoz.

Szikrázó hegyoldalak

Egy szélcsendes, napsütéses, havas téli napon a napsugárzásnak kitéve igen melegünk lehet mindaddig, amíg egy enyhe fuvallat fel nem keveri testünk környékén a levegőt. Ilyenkor a besugárzást a tehát óról visszaverődő sugarak is fokozzák, s a nagyon erős sugárzás hatására hóvakságot is kaphatunk. Ezért érdemes napszemüveget venni.

Forróságban

Hőérzetünket az is befolyásolja, hogy tudunk-e párologtatni. A párologás hőt von el testünkől, s ezáltal hűti azt. A kutya hosszú nyelvét kinyújtva párologtat, így hűti magát. A 40 fokos száraz, sivatagi levegőt nem érezzük elviselhetetlenül forrónak, míg a 40 °C-os vízben szinte megfővünk. Az első esetben tud a szervezetünk párologtatni, a másodikban nem. Ha a levegő párás, nehezebben párologtatunk, s hőérzetünk melegebbet jelez akkor is, ha a hőmérő nem ezt mutatja.

Anyagok hővezető képességének összehasonlítása

Az ezüst a jó hővezető képességű fémek közé tartozik. Ha hővezető képességét tekintjük egységnek, a baloldali táblázat további anyagok hővezető képességét olvashatjuk ki.

ezüst	100,000%
réz	95,000%
alumínium	49,000%
öntött vas	11,000%
ólom	8,000%
higany	1,600%
üveg	0,250%
tégla	0,150%
víz	0,130%
fa	0,030%
azbeszt	0,020%
levegő	0,006%
vatta	0,004%

Érdemes-e napozni az ablaküveg mögött?

Ha az embert az ablaküveg mögött éri a napfény, a meleget ugyanúgy érzi, sőt, mivel a zárt tér megvédi a légmozgástól, a hőérzete még nagyobb is lesz, mint a nyílt terepen. Ennek ellenére az ablak mögött nem lehet leburnulni, mert bár a látható fény és a hősugarak áthatolnak az üvegen, de a barnulást okozó ultraibolya sugarakat az ablaküveg kiszűri. Tehát napfürdőzni lehet az ablak mögött, leburnulni nem.

A Columbia űrhajó katasztrófája

A Columbia 2003. január 16-án indult kéthetes útjára, fedélzetén Rick Husband, William McCool, Michael Anderson, David Brown, Kalpana Chawla, Laurel Clark és Ilan Ramon űrhajósokkal. Feladatuk egy összetett, önálló repülési program végrehajtása volt. Ezt a feladatot szinte problémamentesen végrehajtották, majd február első napján megkezdték a visszatérést. 16 perccel földet érés előtt azonban az űrrepülőgéppel megszakadt a kapcsolat – a Columbia darabokra tört, az űrhajósok életüket veszítették. Mint a vizsgálatok megmutatták, a katasztrófa oka a hőszigetelő rendszer meghibásodása volt. A Föld légkörébe visszatérő űrhajó akkora sebességgel érkezik, amely mellett a légkör egyáltalán nem tűnik olyan lágynak és könnyen átjárhatónak, ahogy ezt hétköznapijaink során érezzük. A légkör sűrű rétegeibe 120-160 km magasságba lépett be a jármű. A manőverezés folyamán a majd 30 000 km/h sebességgel száguldó űrhajót a légkör fékezi le, s így teste felizzik, mint egy meteorit. A járműben tartózkodó űrhajósokat különleges hőszigetelő csempekből készült burkolat védi az 1700 °C-os melegtől. Az űrhajó katasztrófáját az okozta, hogy felszálláskor néhány kritikus helyen lévő csempe megsérült.

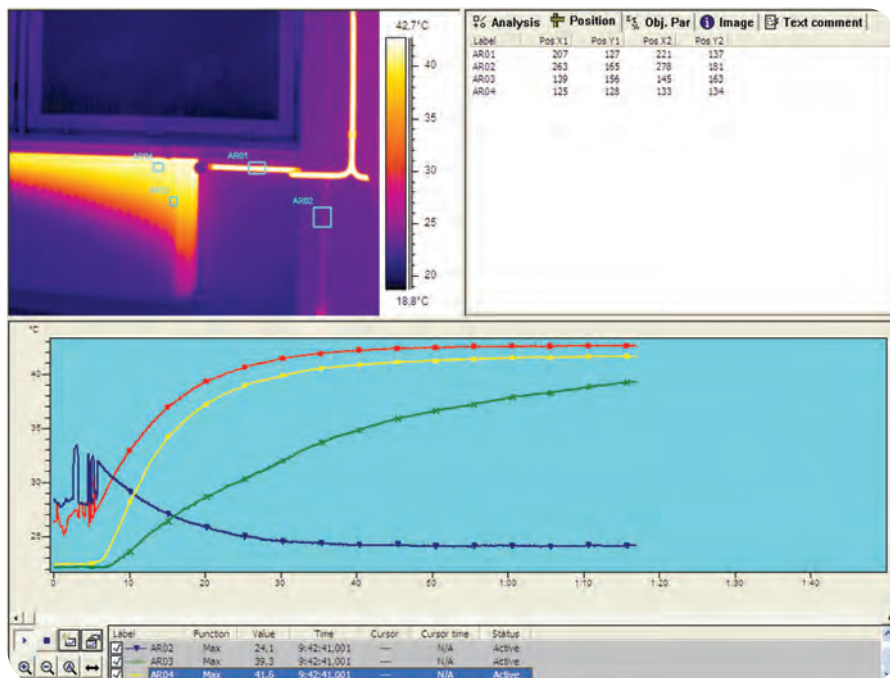
Hogyan vadászik a kígyó – Láthatóvá tett hősugarak

Az infravörös hősugarak az emberi szem számára láthatatlanok. Ugyanakkor vannak olyan főleg éjszaka portyázó állatok, melyek az infravörös tartományban is látnak. Ilyenek például a kígyók. Róluk elmondható, hogy áldozatuk testmelegét érzékelik, „látják a meleget”.

Hőkamerás felvételek

Vannak olyan fényképezőgépek, videokamerák, melyek nem a látható fényre, hanem a hőmérsékleti sugárzás legjelentősebb részét adó infravörös fényre érzékenyek. Ezeket hőkameráknak vagy infrakameráknak nevezik, és ezeknek számos alkalmazása létezik.

A kép egy radiátorról készült, melynek áteresztő szelepét nemrég kapcsolták be. Jól látszik, hogy a radiátorban megindult hőáramlás hatására hogyan változik a hőmérséklet a radiátorban és a hozzá vezető csőben a szelep kinyitása után.

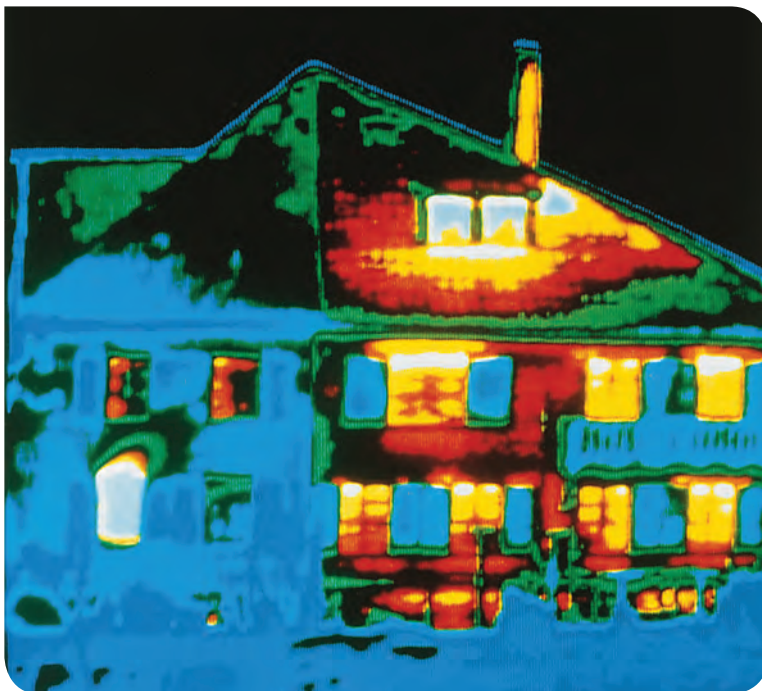


■ Hőkamerás felvétel egy radiátor felmelegedéséről

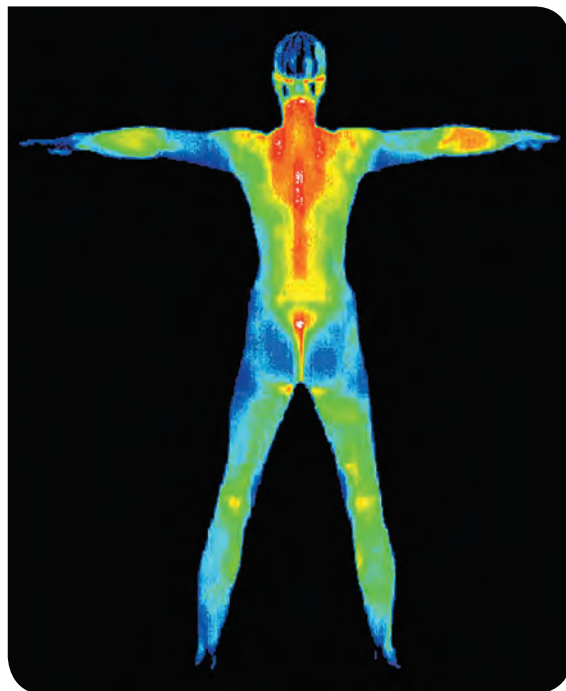
NE FELEDD!

A hőterjedésnek három különböző módja van: hővezetés, hőáramlás és hősugárzás.

Hőáramláskor a hőterjedés anyagáramlással jár, ezért hőáramlás csak folyadékokban és gázokban jöhet létre. A hőáramlás lehet természetes vagy mesterséges. A természetes hőáramlást a gravitáció hozza létre, mert a melegebb folyadékok és gázok sűrűsége lecsökken, ezért a rájuk ható felhajtóerő felfelé mozgatja őket, miközben a hidegebb, nagyobb sűrűségű folyadék- és gáztartományok lefelé mozognak.



■ Épületről infrakamerával készült hőterkép



■ Orvosi termográfiás felvétel

NE FELEDD!

Hősugárzást minden anyag bocsát ki. A hősugárzás elektromágneses hullám, terjedéséhez nem szükséges anyagi közeg. Magasabb hőmérsékleteken az anyagok sokkal több hőt sugároznak ki, mint amikor hidegek.

A testek nemcsak energiát sugároznak ki, hanem a rájuk eső sugárzást részben visszaverik, részben elnyelik. A világos, fényes testek keveset nyelnek el, sokkal többet visszavernek, ezek kisugárzási tényezője alacsony, tehát az elnyelésükkel arányosan keveset is sugároznak ki. A sötét testek a rájuk eső sugárzásból keveset vernek vissza, sokat nyelnek el, ezek kisugárzási tényezője egyhez közeli, vagyis az elnyelésükkel arányosan sokat is sugároznak ki.

Ez a nagy teljesítményű kamera számítógép segítségével még egyes előre kijelölt pontok hőmérséklet-változását is követni tudja az idő függvényében (az időskálán a számok másodpercben értendők). A leggyorsabban a meleg víz bevezető csövében nő a hőmérséklet, a radiátor távolabbi részein lassabb a növekedés. Abban a csőszakaszban, ahol kezdetben meleg víz volt, majd erre távozott a radiátorban lévő hideg víz, növekedés helyett hőmérséklet-csökkenést figyelhetünk meg. A felvétel télen, nappali fényben történt, a radiátor feletti ablaküveg viszont fekete, mert a hideg ablakfelületről az infravörös tartományban alig érkezik sugárzás a kamerába.

Az éjjellátó készülékek is lényegében infrakamerák. Katonák, rendőrök használnak ilyeneket felderítési célból. A kamerában az emberek jól felismerhetőek, mert a környezetüknél erősebb a hősugárzásuk. Ugyanezt az elvet orvosi célokra is használják, az úgynevezett termográfia alkalmazása során infrakamerával hőmérsékleti térképet készítenek az emberi testről, ahol például a gyulladással járó részek a magasabb hőmérsékletük miatt más színben jelennek meg. Különböző épületek hőszigetelési tulajdonságait, hőveszteségi pontjait is lehet infrakamerával vizsgálni, melynek során az épületekről készítenek hőmérsékleti térképet. Az infravörös fény az ember számára nem látható, ezért a kamerában álszínkódolással állítanak elő jól áttekinthető képeket, vagyis lényegében a kamerához csatlakozó vagy a kamerába beépített számítógép rendel hozzá különböző színeket a különböző hőmérsékletű pontokhoz. A felvételek oldalán látható színskála alapján lehet azonosítani az egyes pontok hőmérsékletét.

Összetett hőterjedési folyamatok

A valóságban a hővezetési, hőáramlási és hősugárzási folyamatok legtöbbször együttesen jelentkeznek. Képzeljük el, hogy egy nyári napon a strandon, a földön fekvő napozunk. Bőrünkön érezzük a Nap hősugárzását, miközben testünk is sugároz ki hőt. A testünket kényeztető enyhe szellő fizikai értelemben hőáramlást jelent. A talaj és a testünk között hővezetés jön létre, ha a talaj és a vele érintkező testfelületünk nem azonos hőmérsékletű. Hideg éjszakákon a szabadban lévő autótón jégréteg alakulhat ki akkor is, ha a levegő hőmérséklete fagypont felett marad.

Ehhez az is kell, hogy az éjszaka felhőtlen legyen, illetve a tárgyak felett ne legyen például egy fa lombozata. Ilyenkor a teljesen szabadon álló autók felülete jeges lesz, de a fák alatt állóké nem.

A jelenséget az magyarázza, hogy a szabadon lévő tárgyak hőkisugárzása igen gyors, ezért erősen lehűlnek. A fák alatt lévő tárgyak ugyanúgy sugároznak, de a fák hősugárzásából el is nyelnek, ezért lassabban hűlnek. Ugyanezért nem játszódik le ez a jelenség felhős időben, mert a felhők kisugárzásából a földön lévő tárgyak jelentős mennyiségű hőt nyelnek el, lassabban hűlnek. A levegő és a talaj hőáramlással és hővezetéssel energiaátadó kapcsolatban áll a talajon lévő tárgyakkal, ezek a hőterjedési módok a hőmérséklet kiegyenlítése irányába hatnak. Ha a kisugárzási hőveszteség igen gyors, akkor a sokkal lassabb hőáramlási és hővezetési folyamatok nem képesek a levegővel történő hőmérsékleti egyensúly beállítására.

NE FELEDD!

A gyakorlatban legtöbbször a három megismert hőterjedési folyamat egyszerre, egymás mellett jelenik meg. A hőterjedési folyamatokat jól lehet infravörös fényvel működő hőkamerás felvételekkel követni.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Ha télen megérintjük egy jelzőtábla fém tartóoszlopát és egy fának a törzsét, akkor a fémet sokkal hidegebbnek érezzük, mint a fát, pedig mindkettő azonos hőmérsékletű. Miért?
2. Sorold fel, milyen fizikai mennyiségek azok, amelyek hőmérsékletfüggésére alapozottan készítettek már „hőmérőt”? Gyűjtsd össze az internetről a különböző jelenségekre alapozott hőmérők műszaki leírásait!
3. A koraszülötteket az inkubátorokban néha nem takarják be. Az inkubátorok belsejében jó meleg a levegő. Megérzik-e a babák, ha a termüket légkondicionálóval lehűtik?
4. Keressél minél többféle „hőmérő”-alkalmazási területet!
5. Nézz utána, hogy a legújabb hőkamerák milyen érzékenyek, milyen hőmérséklet-különbség érzékelésére képesek ma már!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Magyarországon régebben nagyon sok tartófalat építettek B-30 jelű falazótéglából. A 30-as szám arra utal, hogy az ilyen téglából készült falak 30 cm vastagságúak. Ennek a falnak a hőátbocsátási tényezője $U = 1,45 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, amit 80 mm vastagságú Hungarocell (polisztirol) szigeteléssel $U = 0,32 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ értékre lehet csökkenteni. Számítsuk ki a B-30-as falazótégla átlagos hővezetési tényezőjét! Határozzuk meg, hogy 20°C -os külső-belső hőmérséklet-különbség esetén 10 óra alatt a 120 m^2 -es falfelületen mennyi fűtési energiát takarítottunk meg a hőszigetelés segítségével!
2. A Nap felszíne $6,09 \cdot 10^{12} \text{ km}^2$, felszíni hőmérséklete (a fotoszféra hőmérséklete) 5780 K . Számítsuk ki a Nap másodpercenkénti teljes hősugárzását, ha a Nap kisugárzási tényezőjét $\varepsilon = 1$ -nek tekinthetjük! A Nap teljes hősugárzási teljesítményéből határozzuk meg a napállandót (vagyis a napsugárzás intenzitását a Föld közelében), és ezt hasonlítsuk össze a „hivatalos” 1366 W/m^2 -es értékkel!
3. Hogyan mérhetnénk meg egyszerűen egy hűtőláda hőátbocsátási tényezőjét (U -értékét)? Végezzük el a javasolt mérést!
4. Ismertesd, hogyan működik a központi fűtés keringtető szivattyú nélkül!
5. Modellezz egy hűtőszekrényt! A mélyhűtőben a hőmérséklet -18°C , a sima hűtőtérben pedig 5°C . A hűtőszekrény 25°C hőmérsékletű helyiségben van. A kompresszorának a napi elektromosenergia-fogyasztása 1 kWh/nap , ami energia elegendő a szükséges hűtés biztosításához. A hűtőszekrény (mint hőszivattyú) jósággi tényezője: 5.
 - a) Mérd meg a magasságát, alapterületét, számold ki a teljes felületét!
 - b) Számold ki a vizsgált hűtőszekrény esetében a falainak a hőátbocsátási tényezőjét!
6. Egy lakás nagy szobájának oldalfala egy panelházban (vasbeton épület) $5,2$ méter hosszú, magassága $2,6$ méter, vastagsága 28 cm . A szobában a hőmérséklet nappal és éjszaka 22°C -on igyekszünk tartani, a kinti hőmérséklet nappal 0°C , éjszaka -5°C . A nappal időtartama kb. 10 óra, az éjszakáé 14 óra. A vasbeton hővezetési tényezője $1,7 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.
 - a) Mennyi a teljes falfelületen keresztül a hőáram?
 - b) Mennyi ezen a falon keresztül a teljes 24 óra alatt a kiáramlott hő?
7. Modellezzd a keringtető szivattyú nélküli központi fűtést! Előzetes tervezés után készíts két 2 literes, kemény műanyag flakonból és 2 darab 2 méteres műanyag csőből fűtésrendszert! A csöveket építsd (ragaszd) be a megfelelően kilyukasztott flakonokba! Szereld fel állványra ezeket, kb. 2 méter szintkülönbséggel! Töltsd fel vízzel a rendszert! Az alsó flakont vízfürdőbe téve elektromos tűzhelyen melegítsd! Az alsó flakonba előzetesen elhelyezett ételfestékes víz mozgását megfigyelve határozd meg a víz áramlási sebességét ebben a felül nyitott, alul zárt rendszerben!

34. | Globális felmelegedés

„Kétség sem férhet hozzá, hogy bolygónk klímarendszere felmelegszik – állapítja meg az ENSZ legfrissebb klímajelentése, amelyet tegnap hoztak nyilvánosságra Stockholmban.”

(Újsághír, 2013. szeptember 28.)

NE HIBÁZZ!

Nagyon nehéz egy állandóan változó, megújuló, a szélesebb közvéleményt ennyire érdeklő témában bármi „véglegeset” írni, ami nem avul el néhány év alatt. Szinte minden héten napvilágra kerülnek új eredmények, melyek a rendkívül összetett éghajlati jelenségek még nem ismert részleteit tárják fel, vagy egyre távolabbi földtörténeti múltba teszik lehetővé a klimatikus viszonyok rekonstrukcióját, illetve egyre pontosabb előrejelzéseket szolgáltatnak a várható jövőről.

A széles érdeklődés miatt a klímaváltozással kapcsolatban rengeteg információ jelenik meg a legkülönbözőbb helyeken, ezek java része igencsak megbízhatatlan, sokszor a tudományos tények torzításán, félreértelmezésén alapul. Ezért törekednünk kell arra, hogy csak olyan információkat, olyan tényeket fogadjunk el, amelyek már kiállták a többszöri ellenőrzés próbáját. Ezt úgy érhetjük el, ha a világ legnívósabb tudományos folyóiratainak (*Nature*, *Science*, *New Scientist* stb.) alapuló hírekre támaszkodunk.

Lehetséges, hogy amióta tavaly földrajzórán a globális felmelegedésről tanultál, azóta olyan újabb tudományos eredmények kerültek napvilágra, melyek esetleg más megvilágításba helyezik ezt a fontos kérdést.

Globális klímaváltozás

A **klímaváltozás** a klíma, magyarul 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 klímaváltozás a **globális felmelegedés**.

A globális felmelegedés oka az üvegházhatás?

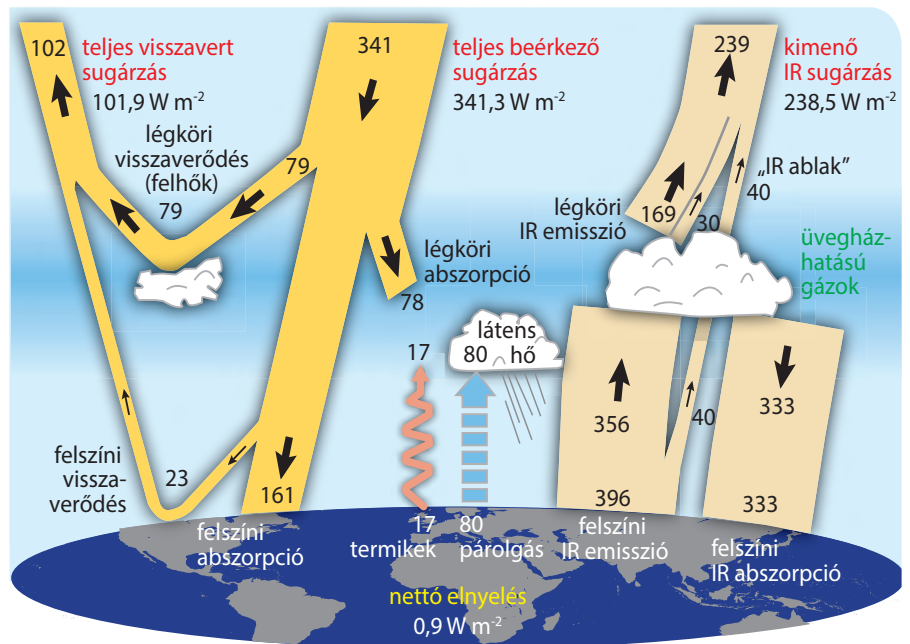
Mi okozhatja a globális felmelegedést? Az emberiség soha annyi energiát nem használt fel, mint manapság, és a felhasznált energia végső soron mindig hővé alakul. Könnyen azt gondolhatjuk, hogy az emberiség által felhasznált rengeteg energia a közvetlen oka a globális felmelegedésnek. Ez azonban egyáltalán nem így van!

A Napból a Földre érkező energia mennyisége felfoghatatlanul nagy, másodpercenként hozzávetőlegesen 126 ezer TJ (terajoule) = $1,26 \cdot 10^{17}$ J energia érkezik a Földre, és a Föld lényegében ugyanennyit vissza is sugároz a világűrbe. Az emberiség (a teljes világgazdaság) összesített energiafelhasználása 2000-ban 10,2 milliárd tonna olajegyenérték volt, ami 13,6 TW-nak (= $1,36 \cdot 10^{13}$ W teljesítménynek) felel meg, vagyis az emberi energiafelhasználás a Földre érkező teljes napenergia-teljesítménynek alig egytized részét teszi ki. Ennek alapján beláthatjuk, hogy a globális felmelegedés oka nem lehet önmagában az erőművekben megtermelt hasznosítható energia (ami hasznosulás után lényegében teljesen a Földet melegítő hővé válik). 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. Sokan nem is tudják, hogy az egyik legfontosabb üvegházhatású gáz a közönséges vízgőz, ami a koncentrációjától függően az üvegházhatás 36–72%-áért felelős. A legfontosabb további üvegházhatású gázok a szén-dioxid (CO_2), a metán (CH_4), a dinitrogén-oxid (N_2O), a kén-hexafluorid (SF_6), a halogénezett szénhidrogének (CFC-k) és az alsó légköri (troposzférikus) ózon.

A napfény rengeteg energiát szállít a Földre. Azt a mennyiséget, amely leírja, hogy egy négyzetméterre (merőlegesen) egy másodperc alatt mennyi energia érkezik a Napból a Föld légkörének legfelső rétegébe, **napállandónak** nevezzük. Ez a fizikai mennyiség az energiaáram-sűrűség, amit röviden intenzitásnak hívunk. Műholdak segítségével egyre pontosabban mérik a napállandó

dót, ami természetesen folyamatosan változik attól függően, hogy a Föld éppen milyen messze van a Naptól, illetve hogyan változik a Nap kisugárzási aktivitása. A napállandó ma elfogadott átlagos értéke 1366 W/m^2 . A napsugárzást a Föld részben visszaveri, részben elnyeli. A felmelegedett talaj maga is sugároz. A bejövő, illetve a kisugárzott és visszavert intenzitások előjeles összegének az egész Földre nézve és időátlagot képezve nullát kell adnia. Ez így nem is tűnhet nagyon bonyolultnak, azonban a valódi helyzet sokkal összetettebb. Ezt mutatja ez az ábra.



Üvegházhatás egyszerűbben!

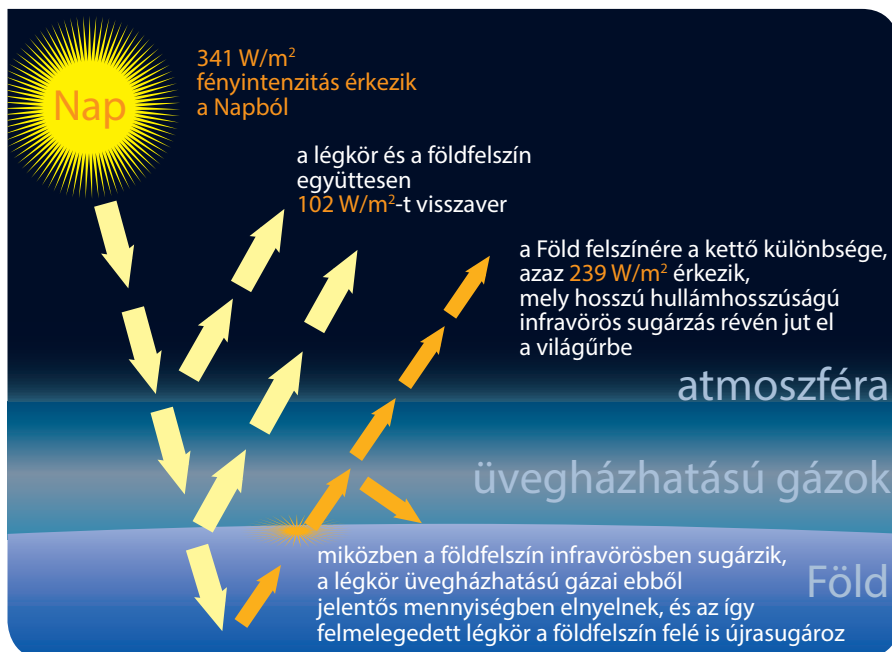
A következő ábra az üvegházhatást némileg leegyszerűsítve mutatja be. A Naptól a Földre átlagosan 341 W/m^2 fényintenzitás érkezik, melyből a légkör és a földfelszín együttesen 102 W/m^2 -t visszaver. Így a Föld felszínére a kettő különbsége, azaz 239 W/m^2 érkezik, mely hosszú hullámhosszú infravörös sugárzás révén jut el a világűrbe. Miközben a földfelszín infravörösben sugárzik, a légkör üvegházhatású gázai ebből jelentős mennyiségben elnyelnek, és az így felmelegedett légkör a földfelszín felé is újrasugároz. Ez az utóbbi folyamat jelenti az üvegházhatást, az üvegházhatású gázok miatt lesz melegebb a légkör, illetve a földfelszín.

■ Globális energiámérleg a 2000–2004. évek műholdról mért adatai alapján. A számértékek mindegyike W/m^2 egységekben adott

Hogyan volt régen?

A klímaváltozás gondolatának első ismert leírója egy Shen Kuo nevű kínai tudós, aki már a XI. század második felében arra a következtetésre jutott, hogy az éghajlat nagyon erős változásokat mutat. Erre a föld felszíne alatt talált megkövesedett bambuszmaradványokból következtetett, melyek lelőhelyén a tartósan kevés csapadék nem volt elegendő a vízkedvelő növény létezéséhez.

John Tyndall az 1850-es évek végén behatóan tanulmányozta, hogy a Naptól a Földre érkező hősugárzásból mennyit nyelnek el a légkör alkotórészei, és bizonyította a vízpára kivételes szerepét az üvegházhatás létrehozásában. Francis Galton 1863-ban megjelent könyve (*Meteorographica*) a modern meteorológia és klimatológia előfutárának tekinthető, ebben először szerepel az egész európai földrészre kiterjedő megfigyelések rendszerezett elemzése.



■ Az üvegházhatás egyszerűsített vázlatja

Hallottál róla?

Az üvegházhatás névadója az üvegház. Fóliasátrak alatt, üvegházakban kora tavasszal is lehet már zöldségeket, gyümölcsöket termesztetni. Ezt az teszi lehetővé, hogy az üvegfelületek, polietilén fóliák nagyrészt áttereszik a napfényt, ami elnyelődik az üvegházakban, a fóliasátrakban lévő talajban. A talaj felmelegszik, és hosszú hullámhosszúságú (infravörös) hőszugárzást bocsát ki, ami jelentős részben visszaverődik az üveg- vagy a fóliafelületekről. Így a hő nem tud kiszökni az üvegházakból, fóliasátrakból. A bennük lévő levegőt lényegében a létrejövő hőáramlás melegíti, ezért az üvegházakban elegendően meleg alakul ki ahhoz, hogy a primőr zöldségek, gyümölcsök megteremjenek. Ha az időjárás enyhülésekor túlzottan nagy meleg alakulna ki az üvegházakban vagy a fóliasátrak alatt, akkor megfelelő szellőztetéssel, vagyis a külső levegővel történő konvekcióval (hőáramlással) a túlzottan magas belső hőmérséklet csökkenthető.

A földi légkörben létező üvegházhatás csak részben alapszik ugyanazon a mechanizmuson, amelyen a zöldséget-gyümölcsöt termesztő üvegházak, fóliasátrak működése, mert a földi légkörben nagyon jelentős a talaj közelében felmelegedett levegő hőáramlással történő lehűlése (a kisebb sűrűségű meleg levegő felszáll).

NE FELEDD!

A szakértők ma már egyetértenek abban, hogy a Föld légkörének átlaghőmérséklete az utóbbi száz év alatt közel 1 °C-kal növekedett. A jövőt illetően bizonytalanok a jóslatok, azonban az elkövetkező évtizedekben várhatóan tovább fog növekedni a földi átlaghőmérséklet, emelkedni fog a tengerek szintje, csökkenni fognak a jéggel borított területek, visszahúzódnak a gleccserek. A változások mértékét és lefolyásuk sebességét azonban egyelőre nem látjuk előre pontosan. Valószínű, hogy a földi klíma szélsőségesebb, az ingadozások gyakoriak és szokatlanul nagyok lesznek, nehezebb lesz előre kiszámítani a várható időjárást.

A globális felmelegedés legvalószínűbb oka az üvegházhatás megnövekedése. Az üvegházhatás lényege, hogy a Föld légköre sokkal jelentősebb mértékben nyeli el a felmelegedett földfelszínről kisugárzó hosszú hullámhosszúságú hősugarakat, mint amennyire a Napból érkező fényt. A légkörben lévő, üvegházhatást okozó gázok mennyiségének növekedése erősíti a jelenséget, ezzel emeli a légkör (és a talaj) hőmérsékletét.

Az egyik legfontosabb légköri üvegházhatású gáz a szén-dioxid. A légkörben lévő szén-dioxid mennyisége az utolsó félmillió évben soha nem volt olyan magas, mint napjainkban. A világ országai erőfeszítéseket tesznek a légköri szén-dioxid mennyiségének a csökkentésére, de egyelőre nem látszik, hogy megállt volna a növekedés. Környezettudatos életmóddal mindenki személy szerint is hozzájárulhat ahhoz, hogy csökkenjen a szén-dioxid-kibocsátás.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mit nevezünk üvegházhatásnak?
2. Nézz utána, hogy melyek az üvegházhatást erősítő gázok, és ezek közül melyek befolyásolják legjelentősebb mértékben az üvegházhatást!
3. Internetes források alapján keress olyan érveket, melyek megerősítik, illetve cáfolják, hogy a globális felmelegedést az emberi tevékenység okozza!
4. Milyen hatással van a globális felmelegedés a földi időjárásra?
5. Sorolj fel olyan pazarló emberi tevékenységeket, melyek növelik a légkörbe kerülő szén-dioxid mennyiségét! Hogyan lehetne ezeket a tevékenységeket helyettesíteni valami mással, hogy csökkenjen a szén-dioxid-kibocsátás?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Hasonlítsd össze a Föld légkörének üvegházhatását egy igazi üvegház működésével!
2. Elemezd részletesen a globális energiamérleget bemutató ábrát, melyet ennek a leckének az elején találsz!
3. 2015. január 1-jén alakult meg a Környezeti Fenntarthatósági Igazgatóság (mint a Köztársasági Elnöki Hivatal új igazgatósága). Nézz utána, milyen ajánlásokat tett, milyen intézkedéseket hozott az új igazgatóság a globális felmelegedéssel kapcsolatos ügyekben a megalakulása óta!
4. Nézz utána, hogy jelenleg mekkora a légkör szén-dioxid-tartalma, és melyek a legújabb kutatási eredmények a légköri szén-dioxid üvegházhatást befolyásoló viselkedésével kapcsolatban!
5. Nézz utána, hogy jelenleg mekkora a tengerek, óceánok vízszintje a múlt század végéhez képest! Milyen következményekkel járhat a vízszintjeik emelkedése?

35. | Korszerű házak, lakások

EGY KIS FALTÖRTÉNET (Olvasmány)

Régen szinte az összes fontos épületszerkezetet kisméretű téglából készítették, épültek ebből kémények és pillérek is. Viszont mivel kicsi, nehéz és szaporátlan vele a munka. Az ipari fejlődés életre hívta azt a máig ható folyamatot, hogy amit csak lehet, azt hatékonyan előre kell gyártani, mert az élómunka drága, és gazdaságtalan mindent a helyszínen elkészíteni. A XX. század elejére a kisméretű téglák korszerűtlenek lettek, hiszen a födémeket már vasbeton gerendákkal, a nyílásáthidalásokat szintén vasbeton vagy részben vasbeton gerendákkal helyettesítették, a kéményeket blokkokból, íves belső felülettel előre gyártották. A téglák elkezdtek nőni minden irányban, de hogy ne legyenek megemelhetetlenül nehezek, ezért lyukacsossá váltak, először pár méretezesebb lyuk, majd egy technológiai újításnak köszönhetően polisztirol gyöngyökkel keverték, amelyek az égetés során elégték és általuk porózussá váltak a téglák. E porózusság igen számottevően megemelte a hőszigetelő képességüket.

Megszűnt a kisméretű téglák nagy habarcsfelhasználása, hiszen a nagyobb téglaméretű kevesebb fugát, így kevesebb habarcsot igényeltek. Majd megjelentek a csaphornyos oldalú téglák, és a függőleges hézagokból eltűnt a habarcs. A hőszigetelés javítása érdekében hőszigetelő falazó habarcsot, illetve külső-belső hőszigetelő perlithabarcsot használtak.

A téglák hőszigetelő képessége hirtelen megnőtt, viszont a hangcsillapítása és a szilárdsága lecsökkent. Már nem lehet pillérekkel falazni, boltozatot képezni belőlük, sőt ha nagyobb kiváltó gerenda támaszkodik a falvégre, még kiegészítő pillérekkel is kell alkalmazni. A porózus, lyukacsos téglák a homogén falszerkezet szinte kizárólagos anyagává vált, és az is mind a mai napig.

A kisméretű téglát viszont nem sikerült száműzni, hiszen pillérfalazáshoz, nyílásbefalazáshoz, sérülések kifizetéséhez még ma is használatos. Sőt a korszerűnek mondott téglákkal ellentétben szinte az egyetlen falazóanyag, ami újrafelhasználható, sőt a régi téglák kifejezetten keresettek, elsősorban homlokzat- és kerítésburkolás céljára.

Az égetett agyagtéglával párhuzamosan terjedtek el a más alapanyagú téglák falszerkezetek is, részben a nehézipar melléktermékeinek felhasználásával (kohóhabsalak, gázbeton, bauxitbeton), részben az évtizedekkel előttünk járó német építőipar újdonságainak (például az évtizedek óta forgalmazott Ytong falazóelemeknek) köszönhetően.

Olyan falazóanyagot próbáltak kifejleszteni, ami homogén és nem igényel kiegészítő tartószerkezetet. Sok falazóanyag esetében ez csak részben sikerült (a kezdetek biztató eredményei később igen súlyos következményekkel jártak, például a bauxitbeton tartószilárdsága idővel lecsökkent, ezért emeletet, tornyokat kellett visszabontani). A téglák meghíztak, először 36, majd 38 cm-esre, majd még annál is vastagabbra. A téglagyártók bűvös szava a „k érték” lett, amit később U-értékre neveztek át. Ez az érték a hőátbocsátási tényező. Azt mutatja meg, hogy a fal 1 m²-es felületén 1 °C hőmérséklet-különbség hatására másodpercenként hány joule energia halad át.

Amióta az emberiség házakban él, az épületek fejlesztésében nincs megállás. Minden korban létezett elavult, átlagos és előremutató, korszerű épület is. Mára olyan gyors lett a fejlődés, hogy nehéz megállapítani, melyik új elképzelés fog a jövőben széles körben elterjedni. Logikus lenne azt mondanunk, hogy a kényelmes, kellemes, takarékos házaké a jövő, melyek funkcionálisak, vagyis megfelelnek azoknak a céloknak, melyeket egy házzal szemben fontosnak tartunk. Ellenézve azonban a posztmodern és a poszt-posztmodern építészet egy-egy meghökkentő alkotását, rájöhettünk arra, hogy nem minden megrendelő osztja az előzőekben kifejtett nézeteinket. Pedig Andrea Palladio (1508–1580) évszázadokkal ezelőtt megírt híres építészeti könyvében a következő iránymutatást találjuk: „Három dolgot kell minden épületnél figyelembe venni, amelyek nélkül egyetlen épület sem érdemli meg a dicséretet: és ezek a hasznosság vagy kényelmesség, a tartósság és a szépség.”



■ Ytong falazóelemekből épülő ház



■ Polisztirol habból készült szigetelő lemezek felragasztása a fal külső felületére



■ Automatikus szellőző ablak

Az utóbbi évtizedekben az energiaárak folyamatos növekedése határozta meg a falak kialakításában bekövetkező változásokat. Ez gyakorlatilag azt jelentette, hogy csökkenteni kellett a falak hőátbocsátását, vagyis csökkenteni kellett az U -értéket. Ennek legegyszerűbb megoldása a falvastagság növelése, de könnyen belátható, hogy az épületek túlságosan drágák és túlságosan nehezek lennének, ha várfal vastagságú falakkal építenék azokat, vagyis nem rendezkedhetünk be arra, hogy 50-60 cm-es falakat használjunk. A falazógyártók előtt több út mutatkozott. A gyártók egy része kombinált falazóanyagokat kezdett gyártani, ami a legtöbb esetben azt jelentette, hogy a falazóelem nagyobb lyukaiba előre méretre vágott hőszigetelő anyagot helyeztek el, ami viszont növelte a pontatlan munka kockázatát, de meglehetősen bizonytalanná tette a korrekt falszerkezet-vizsgálatot is. A másik megoldás a téglák rendkívül precíz kialakításából származó energiamegtakarítás volt (a pontos méretek miatt vékonyabbak a fugák, emiatt jobb a hőszigetelő képesség). Belátható azonban, hogy a homogén téglafal elérte a teljesítőképessége határát, ezért más megoldást kellett találni.

Az utóbbi egy-két évtizedben nagyon széles körben elterjedté vált az épületek külső felületének hőszigetelése kemény polisztirol hablémez segítségével. Ez történhet utólagos szigeteléssel is, azonban az új építésű házak legtöbbször már így építik. A falfelületre ragasztják a könnyű szigetelő lemezeket, majd erre üvegszálás műanyag hálót ragasztanak, amelynek lyukacsos felülete jól megtartja a legkülső vékony, színezett vakolatréteget. Ezzel az eljárással igen nagymértékben javítható a falak hőszigetelése.

Természetesen nemcsak a falak hőszigetelésére kell ügyelni, hanem az épületek nyílászáróira (ajtók, ablakok), a nyílászárók illesztéseire, a padlásterek, a pincék fűdém szerkezeteire is. Furcsa probléma megjelenésével jár a hőszigetelés fokozatos javulása. A jó hőszigetelés egyben légmentesen lezárja a lakást, megnehezíti a házak, lakások természetes szellőzését, ami könnyen a falak penészesedéséhez vezethet. Készülnek már olyan konyhai ablakok is, melyekbe automatikusan működő szellőztető rendszer van beépítve. Ezek a szellőztetők magas páratartalom esetén automatikusan kinyitnak, majd a páratartalom lecsökkenésekor becsuknak. Gáztűzhellyel rendelkező konyhákban már hatósági előírás a megfelelő szellőztető beépítése.

FŰTÉS *(Olvasmány)*

Az előzőekben láthattuk, hogy az építőiparban az utóbbi évtizedekben bekövetkező változások hajtóereje az élőmunka arányának csökkentése mellett az energiához való viszony megváltozása volt. A dráguló energiaárak nemcsak a falak hőszigetelését váltották ki, hanem erőteljesen megváltozott a házak, lakások fűtése is.

A XX. század első felében a házakat, lakásokat vaskályhákkal, cserépkályhával fűtötték. Ezekben a kályhákban fát, szenet, kokszt, brikettet égettek el, a fürdőszobákban (melyek csak az 1920-as évek után váltak általánossá) a meleg vizet szén- vagy fafűtéses fürdőhengerekben állították elő. A fával és szénrel történő fűtés nemcsak kényelmetlen volt (a pincékben tárolt tüzelőt fel kellett vinni a lakásba, ha leégett a kályhában a tüzelőanyag, újra kellett rakni a tűzre, naponta tisztítani kellett a kályhákat, el kellett tüntetni a kelet-

kező hamut stb.), hanem erősen szennyezte a levegőt, így télen a nagyvárosok, főként Budapest levegője igencsak porossá, egészségtelenné vált.

A fa és a szén (brikett, koksz) helyett három fűtési lehetőség adódott, gázzal, olajjal vagy villannyal lehetett őket helyettesíteni. Az első gázgyárak egyikét Budapesten 1913-ban indították el, és nem véletlenül hívták „gyárnak”, hiszen valóban gyártották a gázt, méghozzá a szén elgázosításával. Az úgynevezett **városi gáz** főként metánt, hidrogént és szén-monoxidot tartalmazott, erősen mérgező volt. Az első időkben a termelt gázt az utcai gázlámpákhoz használták, majd csak fokozatosan került a háztartásokba, ott is először a konyhai tűzhelyekbe. A mesterségesen előállított (a földgáznál alacsonyabb fűtőértékű) városi gázt leváltó **földgáz** a század talán legnagyobb fűtési korszerűsítését indította el. Budapesten 1985-ben tértek át a városi gázzól a földgázra.

A gázenergia mint „a jövő leggazdaságosabb energiahordozója” kiszorított mindent, a széntüzelésen túl az **olajfűtést** is (már csak a nagyszülők emlékeznek a kertekben elásott óriási olajtartályokra vagy a megszokhatatlanul büdös **olajkályhákra**). A fűtőolaj és a villany ára sokkal erőteljesebben emelkedett, mint a földgázé, ezért ezek használata a házak, lakások fűtésére majdnem teljesen visszaszorult. A gázvezeték azonban a ritkán lakott településekre nem nagyon jutott el, ott a főzésre a **palackos gázt** használták, majd később a nagyméretű palackok felhasználásával – sok esetben ott, ahol belátható időn belül megjelent a vezetékes gáz is – palackos gázfűtést alakítottak ki, amit a vezetékes gáz bekötése után is lehetett használni. Az állandó palackcsere persze nagyfokú kényelmetlenséget jelentett, de legalább 4-6 napra elegendő energiát biztosított 2-3 nagy palack.

Azonban a földgáz ára is a magasba szökött, ezért sok helyen visszatértek a fával és szénrel történő hagyományos tüzelésre, szívesen használnak olyan kazánokat, melyek gázzal is üzemelnek, azonban szénrel és fával is fűthetők. Ezzel persze visszajutottunk a régi légszennyezési problémához, mert sokan mindenféle éghető hulladékot is a házuk vegyes tüzelésű kazánjában égetnek el. Vannak, akik kiegészítő fűtési módként használják az esetleg új építésű cserépkályhájukat, kandallójukat, amit leggyakrabban fával fűtenek.

Az egyedi kályhafűtést (vaskályha, cserépkályha, konvektorok, fali sugárcsók stb.) a mai házakban központi fűtés váltotta fel, ami először vegyes tüzelésű volt, majd olaj, később pedig földgáz táplálású lett. *A központi fűtés lényege az, hogy a hőleadó és a hőtermelő egység szétválik, amelyek között valamilyen csőrendszeren áramló hőcserélő anyag (jellemzően víz) teremti meg az összeköttetést.* A fűtési rendszerek korszerűsödtek, a korai (szinte szabályozhatatlan) gőzfűtést átvette a meleg vizes fűtés, és a radiátoros fűtések mellett széles körben megjelent a padlófűtés is. A fűtési módok, szabályozások mellett elterjedtek a különféle automatikák, időkapcsolók.

A fűtések egy teljesen más módját jelentette, hogy (elsősorban) a lakótelepeket távfűtésre kapcsolták, mert akkor úgy gondolták – és az energiaárak is még elfogadhatóak voltak – hogy a centralizálás egyben hatékonyságnövelés is. Azóta kiderült, hogy a távfűtés *az egyik leggazdaságtalanabb fűtési mód és mindenki szabadulna tőle, azonban sok helyen városi rendeletek tiltják, hogy panelházak szabadon lekapcsolódhassanak és áttérjenek például központi gázfűtésre.* A távfűtés *azért gazdaságtalan, mert rugalmatlan a szabályozása, különösen ha a fűtött lakóház belső fűtési rendszere korszerűtlen, emiatt drága is, továbbá ha messziről jön a meleg víz, akkor nagy a hőveszteség és jelentős az infrastrukturális költség.*



■ Régi vaskályhák



■ Nagyméretű gázpalackok



■ A budapesti állatkert fűtését egyrészt a Széchenyi fürdőből származó hő biztosítja, melyre nagy hidegben földgázzal kell rásegíteni

A földgázra és az olajra berendezkedett világ már régen rájött, hogy mindkét energiahordozó kimerülőben van, de legalább akkora gond, hogy a területi eloszlásuk miatt pár ország birtokolja a készletek döntő többségét. Különösen a fejlődő országokban az egyik legfontosabb energiaforrás a **biomassza**. A *biomassza energiahasznosításának alapja az égés, ami hőfelszabadulással járó folyamat*. A biomassza a szén, a kőolaj és a földgáz után a világon jelenleg a **negyedik legnagyobb energiaforrás**, a megújuló erőforrások között tartják számon, de itt a nap-, szél-, vízenergiával és földhővel szemben az emberi tevékenység (erdészeti vagy mezőgazdasági termelés) közben keletkező hulladék, melléktermék, illetve más irányú felhasználásra gazdaságtalanul felhasználható nyersanyagokról van szó. Világátlagban a felhasznált energia 14%-át, fejlődő országokban 35%-át biomassza felhasználásával nyerik, amely mindeddig – a fejlett világban – kevésbé kihasznált energiaforrás volt. Fontos eszköze az üvegházhatás csökkentésének, mert CO₂-semleges. A fosszilis energiaforrások szintén bioenergia eredetűek, de nem megújulóak.

Megújuló energiák



■ Napelemek egy déli fekvésű háztetőn

Világszerte terjed a napenergia felhasználása épületekre szerelt **napkollektorok** és **napelemek** segítségével. Magyarországon egyelőre a napkollektorok terjedtek el nagyobb számban, melyek a napsugárzás hatására meleg vizet állítanak elő, amit fűtésként is, használati meleg vízként is lehet használni. A napelemek közvetlenül elektromos energiát állítanak elő, amit megfelelő átalakítással akár az elektromos hálózatba is betáplálhatunk. Számos országban nagyon kedvező áron vásárolják meg az emberektől az így előállított elektromos energiát, vagy más lényeges kedvezményeket biztosítanak számukra, azonban nálunk még nem igazán kedvezőek a pénzügyi feltételek, nem indult még meg az állami támogatási rendszer, ezért Magyarországon még igen kevés az épületeken elhelyezett napelem. Várható, hogy a közeljövőben megváltoznak ezek a feltételek, és megfelelő állami pénzügyi támogatás esetén nálunk is elterjednek a napelemek.

A legismertebb megoldás a napelemek felhasználásáról: családi ház tetején csillogó kék vagy fekete táblák (poli- vagy monokristályos napelemmodulok) a cserépen kívül, alumínium rögzítőkerettel és szerelvényvel. Ezek viszonylag



■ Tajvanon épül ez a stadion, melyet teljesen napelemekkel fednek be

egyszerű napelemes rendszerek, melyek használata esetén a legfontosabb a déli fekvés és árnyékmentesség. Ma már egyre gyakrabban hallani, hogy a napelemmodulok cserépen kívül történő rögzítése nem igazán esztétikus, így több megoldás is megjelent már a piacon jobban illeszkedő kivitelezési módokkal. Kapható cserépbe épített napelem, vagy cserépfelületre felvitt vékony rétegű napelem is. Régóta létezik már egy másik megoldás is, az integrált tetőfedés: nincs is szükség a cserép (agyag, kő stb.) alapanyagra, hiszen a teljes tető szigetelhető és lefedhető magukkal a napelemekkel.

Építészeti szempontból a legérdekesebb az úgynevezett BIPV (Building Integrated Photovoltaics), azaz az épület szerves részét képező beépített napelemek. Ezek lehetnek árnyékoló elemek (terasz vagy bejárat fedéseként), vagy a homlokzat burkolatának részei (részben takarva vagy vékony réteg esetén színes vagy részben átlátszó modulokkal teljes burkolat) vagy akár parkolók „napernyősítése”.

Kevésbé izgalmas, de talán a legkézenfekvőbb hely napelemek telepítésére az ipari épületek lapos teteje: általában árnyékmentes, a látványt nem befolyásolja, másra nem igazán használható terület. Itt csak a statika szólhat közbe: általában éppen akkorára méretezik teherbírásukat, amit az adott időjárás megkövetel, így a nagyobb súlyú rögzítéssel rendelkező napelemek nem mindig terhelhetik a tetőt. Pedig milyen ideális megoldás például egy hűtőház tetejére napelemeket rakni, ahol éppen akkor használják a legtöbb áramot, amikor legerősebben süt a nap. Reméljük, a jövőben minél több nagy lapos tető tervezésénél számítanak majd az építészek a napelemek telepítésekor fel lépő 20-30%-kal nagyobb teherbírásra.



■ Cserépbe épített napelem, magyar találmány, feltalálója Tóth Miklós



■ Egy tajvani könyvtár déli falán a napelemek árnyékoló funkciót is betöltenek



■ Napelemek a lapos tetőn

Hőszivattyú

A napkollektorok és a napelemek mellett a **hőszivattyúk** tartoznak az utóbbi időkben gyorsan terjedő eszközök közé, melyek megújuló energiát használnak az épületek energiaellátására. A hőszivattyú olyan berendezés, mely arra szolgál, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű környezetből hőt vonjon ki és azt magasabb hőmérsékletű helyre szállítsa. A hőszivattyú elvileg olyan hűtőgép, melynél nem a hideg oldalon elvont, hanem a meleg oldalon leadott hőt hasznosítják. Minden olyan fizikai elv alapján készülnek hőszivattyúk, melyeket a hűtőgépeknél is használnak. Leggyakoribbak a gőzkompressziós elven működő berendezések, de léteznek abszorpciós hőszivattyúk is. A hőszivattyúk általában fordított üzemmódban is működnek, ekkor a melegebb hely hűtésére is használhatók. Ugyanazt a házat a hőszivattyú télen fűti, nyáron hűti.



Hogyan működik a hőszivattyú?

A hőszivattyú megértéséhez nézzük a hűtőszekrény példáját, mert így szemléltethető a legkönnyebben. Egy hűtőszekrény a belső terét lehűti elektromos energia felhasználásával, az elvont hőenergia és a villamos fogyasztás összegét a gép hátsó oldalán elhelyezett csőkégyön (kondenzátoron) adja le. A hőszivattyú éppen ezt teszi fűtésnél, azzal a különbséggel, hogy az energiát a talajból, kútvízből vagy a levegőből szerzi, majd elektromos áram felhasználásával, egy kompresszor segítségével továbbítja. A hűtőgáz egy zárt rendszerben cirkulál, mely a föld (vagy a levegő) hőjét felveszi az elpárologtató (egy hőcserélő) segítségével, a kompresszor megnöveli a nyomását és ezzel a hőmérsékletét, majd azt egy kondenzátor (ez is egy hőcserélő) közbeiktatásával a fűtőrendszernek adja le.

- A kb. 2 méter magas és fél méter átmérőjű spirálcsővek kétféleképpen függőlegesen lesznek a földbe helyezve



- A Blower door teszthez használatos felszerelés

EGY ÉRDEKES ÚJDONSÁG: A PASSZÍVHÁZ (Olvasmány)

A passzívház olyan épület, amelyben a kellemes hőmérséklet biztosítása megoldható kizárólag a levegő frissen tartásához megmozgatott légtömeg utánfűtésével vagy utánhűtésével, további levegő visszaforgatása nélkül. Az első passzívház 1990-ben épült a németországi Darmstadtban, és Németországon kívül leginkább Ausztriában és Svájcban, valamint a skandináv országokban kedveltek, azonban manapság világszerte rohamosan nő a számuk. Az energiahatékony passzívház-technológia reális alapot nyújt az energiatartósság csökkentéséhez és a szén-dioxid-semleges épületek elterjedéséhez.

A passzívház meghatározása: az épület fűtési energiaigénye nem haladja meg a 15 kWh/(m²év) értéket, összes energiaigénye nem több mint 120 kWh/(m²év) és légtömörsege legfeljebb 0,6/óra. A fűtési energiaigényt és az összes energiaigényt számítással, a légtömörsegi értéket pedig mérés (Blower door teszt) kell igazolni. A légtömörség azt jelenti, hogy magától mennyire szellőzik egy lakás vagy ház. A szabványosított mérés szerint 50 Pa nyomástöbbletet hoznak létre a ház belseje és a külvilág között, és azt mérik, hogy mennyi levegőt kell az épületbe juttatni egy óra alatt ahhoz, hogy ez a nyomástöbblet fennmaradjon. A bejuttatott levegő térfogatát összehasonlítják a ház belső térfogatával, és a két térfogat aránya adja meg a légtömörség értékét. Hagyományos, régi házak esetén ez 4 és 10 közötti szám, ami azt jelenti, hogy ekkora nyomástöbblet hatására a ház mindenféle résein egy óra alatt a teljes térfogat négyszeresének-tízszerezésének megfelelő mennyiségű levegő távozik. A passzívházakra érvényes szabvány szerint a légtömörség csak 0,6 lehet óránként, vagyis mindössze

a teljes belső térfogat 60%-ának megfelelő levegő távozhat a réseken egy óra alatt. Ez azt jelenti, hogy a passzívházakon alig vannak rések.

A hagyományos téglaszerkezetű épületek 300–400 kWh/(m²év) fűtési energiát használnak fel. A passzívház a hagyományos épületszerkezetekhez képest 80–90% vagy akár 100% energiát takarít meg.

Passzívház-tervezési elvek

- Megfelelő tájolás a téli napenergia hasznosítására
- Nyári hővédelem biztosítása
- Extra hőszigetelés
- Szinte hőhidmentes szerkezetek tervezése
- Fal-, tető-, padlószerkezetekre előírt hőtechnikai értékek elérése
- 3 rétegű, nemesgázzal töltött üvegezésű hőszigetelt ablakszerkezetek
- Légtömorség biztosítása
- Nagy hatékonyságú szellőzőberendezés hőcserélővel, földhőhasznosítással

A passzívház előnyei

- Kellemes hőérzet
- Extra kevés fűtési költség
- A kiemelkedő szigetelésnek köszönhetően a határoló falak belső felületi hőmérséklete megegyezik a belső levegő hőmérsékletével
- Nem alakul ki huzat, sem hideg sugárzás
- Egész évben friss levegő minden lakóhelyiségben
- Szabályozott a páratartalom és nem alakul ki penészedés az épületben, a szellőzőrendszer kiszűri a bejövő levegőben található pollenek 70%-át
- A minimális energiafelhasználás következtében a CO₂-kibocsátás is alacsony

A passzívházakon általában nincs kémény, hiszen nem kell a tüzelésből származó káros anyagokat a levegőbe juttatni, és a lakókat nem fenyegetik a gázhasználattal járó veszélyek sem. Ki lehet nyitni az ablakot, de nincs szükség rá, mert folyamatosan friss és tiszta levegő van a házban. A ház „tüdeje” egy nagy felületű hőcserélő készülék, mely közel 90%-os hatékonysággal nyeri vissza a hőt a távozó használt levegőből. A gép két óra alatt képes elvégezni a teljes légcserét, áramfelvétele kisebb, mint egy hűtőé. A vizes helyiségekből (fürdőszoba, konyha) történik az elszívás és a lakóhelyiségekbe áramlik a friss levegő, így a szagok is eltávoznak. A szellőzés intenzitása állítható. Minden elszívási ponton könnyen cserélhető szűrők találhatóak. A por- és allergiamentesség pollenszűrők beépítésével érhető el.

A passzívház fontos tulajdonságai között szerepel az extra hatékony hőszigetelés: a falak vastagok, az ablakok pedig legtöbbször háromrétegű üvegezéssel készülnek. Szellőztetni nem a nyílászárók nyitogatásával kell: ezt a nagy hatékonyságú hőcserés szellőztető berendezés oldja meg. A házban nagyon gazdaságosan elérhető a kellemes, akár szobánként is szabályozható hőmérséklet. A földben vezetett csöveken keresztül a lakótérbe érkező friss levegő a talajhőt is hasznosítja: télen több fokkal előmelegítve, nyáron lehűtve azt. Passzívházaknál a hőveszteségek csökkentése mellett maximálisan törekedni kell a napenergia hasznosítására. A téli hőveszteségek csökkentésére a kompaktabb, egyszerűbb épületforma alkalmas, azonban ez a forma kisebb felületen képes a napsugárzás befogadására. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a legideálisabbak a hagyományos paraszti építészet arányai. A megfelelő tudásanyag már



rendelkezésre áll a passzívházak hazai elterjedéséhez. A környezettudatos elvek szerint épülő házak hazai elterjedését várhatjuk a közeljövőben, mivel az építészetben sincs más út, mint az energia- és költséghatékonyság.



■ Az első passzívház Darmstadtban

NE FELEDD!

Az épületek falszerkezete az emberiség történelme során rengeteg változáson ment át. Mára viszonylag csekély élőmunka-igényű és nagyon jó hőszigetelő tulajdonságú falakkal készülnek az épületeink. Nemcsak a falaknak, hanem a nyílászáróknak, födémeknek is jó hőszigetelőknak kell lenniük, mert egyébként nagyon drága lenne az épületek üzemeltetése.

Az épületek téli fűtése is igen sokat változott az elmúlt évszázadokban. Manapság a leggyakoribb megoldás a gázfűtés, azonban az épületek fűtésében egyre nagyobb szerepet kapnak a megújuló energiaforrások is (napkollektorok, földhő).

A napkollektorok mellett terjedőben vannak a napelemek is, melyek a napsugárzás energiáját közvetlenül elektromos energiává tudják alakítani. Arra is van lehetőség, hogy a háztetőkön elhelyezett napelemek által nappal megtermelt energiát az elektromos hálózat hasznosítsa, vagyis ilyenkor a napelemek közvetlenül jövedelemhez juttatják az ilyen épületek tulajdonosait.

Ígéretes megoldásnak látszik akár családi házak, akár nagyobb ipari épületek fűtésére a hőszivattyú alkalmazása. A hőszivattyú olyan készülék, ami a talajból vagy akár a levegőből is energiát von ki, ami az épületek fűtését szolgálja. Ezek jó-

sági tényezője manapság a gyakorlatban három és négy közötti érték, ami azt jelenti, hogy egy egység befektetett elektromos energia hatására három vagy négy egység termikus energia jut a házba.

Egyre több úgynevezett passzívház épül a világban, és ezek építése Magyarországon is megkezdődött. A passzívházak igen kevés külső energiát használnak fel télen fűtésre és nyáron a passzívház hűtésére, amit a gondos tervezés, a kiváló lég- és hőszigetelés, az energiatakarékosan megoldott, egészséges hárszellőztetési rendszer tesz lehetővé.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Napkollektort vagy napelemet érdemes-e a háztetőre telepíteni? Gyűjtőcsöveket és ellenőrzőket mindkettőre!
2. Miért nehéz utólag beépíteni a földhő hasznosító hőszivattyút egy családi ház fűtőrendszerébe? Milyen járulékos költségvonzata van az utólagos beépítésnek?
3. Adjunk részletes leírást arra, hogyan lehet megmérni egy passzív ház lég-tömörségét!
4. Mit jelentenek ezek a fogalmak: passzív ház, aktív ház, autonóm ház, ökoház, zéró CO₂-épület?
5. Milyen energiahordozók felhasználásával történik legnagyobb mértékben a fűtés és a használati meleg víz előállítása Magyarországon?



ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen fizikai elvekkel magyarázhatjuk, hogy a dongaboltozatok erősek?
2. Adjunk becslést arra, hogy mekkora a hőmérséklet a PoroTherm 30 NF téglafal és a 10 cm vastagságú külső hőszigetelő polisztirol hab egymással érintkező felületén, ha a külső hőmérséklet $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, míg a fal belső felületén $22\text{ }^{\circ}\text{C}$!
3. Mennyi a hőátbocsátási tényezője a következő falazóelemeknek: 15-ös vasbeton, B-30-as falazóblokk, kisméretű tömör téglák, Ytong-30-as? Hány százalékkal csökkenti a hőátbocsátást, ha ezekre 5 cm-es, illetve 10 cm-es expandált polisztirolhab szigetelőelemeket helyezünk fel?
4. Mi a közös a következő berendezésekben (kalorikus gépekben): hűtőszekrény, klíma, légkondicionáló, hűtőpult, hőszivattyú? Ismertesd ezek működési elvét, és nevezd meg főbb részeit!
5. Egy nagyméretű, hagyományos nyílászárókkal épült régi téglaház fűtési energiaigénye $240\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{év})$. Alapterülete 1000 m^2 . Tegyük fel, hogy a fűtési napok száma évente ténylegesen 150 nap.
 - a) Mennyi az épület éves hőenergia-szükséglete?
 - b) Mennyi az egy napra eső szükséges fűtési energia (egyenletes fűtést feltételezve) a fűtési időben?
6. Egy nagyméretű, hagyományos nyílászárókkal épült belvárosi téglaházban egy lakás fűtési energiaigénye $200\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{év})$. A lakás alapterülete 100 m^2 , belmagassága 4 m. A levegő sűrűsége $1,2\text{ kg}/\text{m}^3$. A fűtési napok száma évente ténylegesen 150 nap.
 - a) Mennyi a lakásban lévő levegő térfogata és tömege?
 - b) Mennyi a lakás éves hőenergia-szükséglete?
 - c) Mennyi a szükséges hő havonta és naponta, ha az éves hőenergia-szükségletet 150 nap alatt (a teljes fűtési időre) kell biztosítani?
 - d) Milyen teljesítményen kell működtetni a gázkazánt, ha a napi hőigényt csak 10 órán keresztül történő fűtéssel, illetve folyamatos (24 órán keresztül történő) fűtéssel akarjuk biztosítani?
7. Egy panelépületben lévő lakás fűtési energiaigénye $180\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{év})$ volt a szigetelés előtt, szigetelés után csak $60\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{év})$ lett. A lakás alapterülete 60 m^2 , belmagassága 2,6 m, a fűtési napok száma évente ténylegesen 150 nap.
 - a) Mennyi volt a lakás éves hőenergia-szükséglete szigetelés előtt, és mennyi lett szigetelés után?
 - b) Mennyi a szükséges hő havonta (szigetelés előtt és után), és mennyi az egy napra eső szükséges fűtési energia (egyenletes fűtést feltételezve mindkét esetben), ha az éves hőenergia-szükségletet a 150 napos fűtési időben fogyasztják el?
 - c) Milyen fűtési teljesítményszintet kellett a szigetelés előtt biztosítani, és mennyi a fűtés teljesítménye most?

NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ

A, Á

ABS 58
abszolút nulla fok 182
általános energiamegmaradás 98
amplitúdó 155
átlagsebesség 28
Arisztotelész 46
Arkhimédész 76
atomenergia 127
atomerőmű 132
atommag 10
atommagfúzió, magfúzió 129
atomóra 152
atomreaktor 131

B

Barényi Béla 34
Bay Zoltán 16
belső energia 181
benzin 113
bimetál szalag 178
biogáz 115
biomassza 115
Boltzmann, Ludwig 196
bolygómozgás 157

C

Cailletet, Louis Paul 192
centripetális erő 144
centripetális gyorsulás 142
cunami 172

CS

csapadék 200
csatolt inga 162
csatolt rezgés 162
csillapodás 156
csillapítatlan szabad rezgés 158
csillapított szabad rezgés 159
csúszási súrlódás 55

D

dér 204
dinamika alaptörvénye 42
dízelmotor 125

E, É

égéshő 183
éghajlat 214
egyenletes körmozgás 142
egyenletes körmozgás dinamikai feltétele 144
Einstein, Albert 134
elektromos energia 115
élelmiszerek energiataralma 107
elmozdulás 24
elsőfajú örökmozgó 194
első kozmikus sebesség 149
emelési munka 88
energia 88
energiamegmaradás 98
energia szállítás 116
epicentrum 168
eredő erő 43
eredő erő munkája 93
erő 37
eső 200
etalon 15

F

fagyás 186
fagyáspont 192
fajhő 182
fajlagos hőkapacitás 182
féktávolság 32
felhajtóerő 75
felhő 200
felületi hullám 168
fenntartható fejlődés 137
Fermi, Enrico 130
folyékony 186
fonálinga 155
fordulatszám 142
forrás 189
forráshő 192
forráspont 189
fosszilis energiahordozók 112
Foucault-inga 156
Föld 9
földrengés 168
földrengések hatása 168

frekvencia 13
fúziós reaktor 129
fűtés 208
fűtőérték 183

G

Galilei, Galileo 36
geotermikus erőmű 114
globális felmelegedés 214
globális klímaváltozás 214
Google Earth 20
Google Sky 20
görbülési ellenállás 57
GPS 18
gravitáció 36
gravitációs kölcsönhatás 62

GY

gyorsulás 29

H

hajítás 37
haladó hullám 165
halmazállapot 186
halmazállapot-változás 186
harmat 203
harmatpont 200
harmonikus rezgőmozgás 154
hasznosítható energia 135
hatásfok 195
helyzeti energia 93
hibrid autók 138
hidrosztatikai nyomás 44
hipocentrum 168
Hold 36
Hook, Robert 13
hő 101
hőáramlás 206
hőátadás 184
hőerőgép 125
hőerőgépek hatásfoka 195
hőkamera 212
hőkapacitás 111
hő mechanikai egyenértéke 106
hőmérséklet 176

hőmérséklet mérése 176
 hőmérsékleti skálák 178
 hőszugárzás 206
 hőszugárzási törvény 210
 hőszigetelés 217
 hőszivattyú 221
 hőtágulás 176
 hőtan I. főtétele 181
 hőtan II. főtétele 194
 hó terjedése 206
 hővesztés 102
 hővezetés 206, 219
 hullámhossz 165
 hullám terjedési sebessége 166
 Huygens, Christian 13
 hűtés 176

I

idő 8
 időjárás 150
 impulzus 66
 inerciarendszer 42
 infravörös sugarak 121
 ingamozgás 155
 intenzitás 120

J

joule 94, 105
 Joule, James Prescott 106

K

kalória 105
 károsanyag-kibocsátás 138
 Kelvin-skála 179
 kémiai energia 105, 127
 kényszerrezgés 160
 kerületi sebesség 142
 kitérés 155
 klímaváltozás 208
 konzervatív erő 97
 ködszitalás 202
 kölcsönhatás törvénye 49
 kőolaj 112
 körmozgás 142
 kötési energia 128

követési távolság 34
 közegellenállás 60
 közegellenállási erő 59
 közlekedésbiztonság 34
 kritikus állapot 131
 külső légnyomás 183

L

Lavoisier, Antoine 191
 lecsapódás 200
 légnemű 192
 lemeztekonika 168
 lendület 65
 lendületmegmaradás törvénye 67
 lendülettel 66
 lengésidő 156
 L-hullám 169
 lóerő 91
 longitudinális hullám 164
 lökéshullám 164

M

maghasadás 130
 másodfajú örökmozgó 194
 második kozmikus sebesség 151
 mechanikai energia 101
 mechanikai energia-megmaradás törvénye 97
 mechanikai hullám 164
 megfordítható folyamat 194
 megújuló energiaforrások 135
 megújuló energiák 220

- napenergia 117
- vízi energia 117
- árapály energia 117
- geotermikus energia 117
- biomassza 117

 Mikola Sándor 25
 motor 101
 mozgás 24
 mozgási energia 92
 munka 88
 munka, munkavégzés 88
 munkatétel 92
 műhold 39

N, NY

napállandó 119
 napelem 123
 napkóhó 124
 napkollektor 121
 napóra 152
 naprendszer 191
 naptár 14
 nehézségi erő 48
 nehézségi gyorsulás 48
 nem megfordítható folyamat 194
 nem megújuló energia 135
 nem megújuló energiaforrások 135
 Newton I. törvénye 42
 Newton II. törvénye 43
 Newton III. törvénye 43
 nukleon 128
 nyomás 69, 74, 80
 nyomóerő 69, 75
 nyújtási munka 90

O, Ó

olvadás 200
 olvadáshő 192
 olvadáspont 203
 óra 12

Ö

örökmozgó 194
 összetett hőterjedési folyamatok 212

P

p-és s-hullám 169
 pályasugár 142
 Papin, Denis 190
 párolgás 187
 párolgáshő 188
 passzív ház 223
 periódusidő 142
 pillanatnyi sebesség 29
 potenciális energia 93

R

rakétahajtás 65
 relatív páratartalom 189

rendezetlen energiaátadás
101

rezgés 152
rezgésidő 154
rezgőmozgás 154
rezonancia 160
rezonanciakatasztrófa 158
Richter-skála 170
Römer, Olaf 15
rugalmas energia 93
rugalmas erő 51
rugóerő 51
rugós puska 97

S

sajátfrekvencia 158
savas eső 201
sebesség 25
Stirling-motor 125
súly 48
súlytalanság 51
súrlódás 55
súrlódási együttható 56
súrlódási erő 55
sűrűség 37

SZ

szabadesés 37
szélergia 114
szénhidrogének 214
szilárd 186
Szilárd Leó 130
szögelfordulás 143
szögsebesség 143
szublimáció 191

T

tapadási súrlódás 55
tartóerő 48
tehetetlenség 42
teljesítmény 90
teljes lengés 156
Teller Ede 130
tér 8
terjedési sebesség 165
termikus kölcsönhatás 176
tökéletesen rugalmatlan ütközés 66
tömeg 43
tömeghiány 127
tömegvonzás 62
transzverzális hullám 166

tüzelőanyag-cella 137
Tycho de Brache 18

U, Ú, Ű

ultraibolya sugarak 211
út 25
üvegházhatás 214
üzemanyag 65

V

vákuumcső 122
változó erő munkája 90
vízi energia 114
vízszintes hajítás 147
vonakoztatási rendszer 42

W

Watt 90
Wilberforce-inga 161
Wigner Jenő 130

Z

zapor 202
zivatar 202
zúzmará204

KÉPEK JEGYZÉKE

(A szám az oldalszámot, a betű az oldalon belüli képsorrendet jelöli)

Creative Commons (ahol nincs licenzjelölés, az szabad felhasználású): 7 NASA, 8 Sakurambo (cc-by-sa 3.0), 9a, 9b Chris Schnepf (cc-by-sa 3.0), 10, 11, 12a Johann JArizt (cc-by-sa 3.0), 12b SSep (cc-by-sa 3.0), 13a, 13b, 13c, 14a, 14b, 15a, 15b Wanna Bee Farmer (cc-by-sa 2.0), 15c nebarnix (cc-by-sa 2.0), 16, 18a, 18b Igor Pinigin (cc-by-sa 3.0), 18c, 18d Jodo (cc-by-sa 3.0), 19a, 19b Humberto Mooeckel (cc-by-sa 3.0), 19c Paul Downy (cc-by-sa 2.0), 22c Wikimedia (CC0), 23 Roland Zh (cc-by-sa 3.0), 24a Daniel Schwen (cc-by-sa 3.0), 24b SteGrifo27 (cc-by-sa 3.0), 24c B Zsolt (cc-by-sa 3.0), 24d, 25b, 26a Malene Thyssen (cc-by-sa 3.0), 26b ms4denmark (cc-by-sa 2.0), 26c Alboral (cc-by-sa 3.0), 28a Dezidor (cc-by-sa 3.0), 28b Roland ZH (cc-by-sa 3.0), 28c Diesiare (cc-by-sa 3.0), 29a tableatny (cc-by-sa 2.0), 29b, 29c, 29d Dori (cc-by-sa 3.0), 32 Kdhenrik (cc-by-sa 2.5), 33 Jacklee (cc-by-sa 3.0), 36a Aleposta (cc-by-sa 3.0), 36b freepenguin (cc-by-sa 3.0), 36c Bin im garten (cc-by-sa 3.0), 40a Rei (cc-by-sa 2.5), 40b dontwory (cc-by-sa 2.5), 40c Vincent Baas (cc-by-sa 3.0), 41 Mark McArdle (cc-by-sa 2.0), 42a, 42b Feliciano Guimaraes (cc-by-sa 2.0), 43a, 43b RX-Guru (cc-by-sa 3.0), 43c Morio (cc-by-sa 3.0), 44b, 45a, 45b Nevit Dilmen (cc-by-sa 3.0), 46a, 46b, 47 Softeis (cc-by-sa 2.5), 48a, 48b Takkk (cc-by-sa 3.0), 50, 51a, 51b Brian Snelson (cc-by-sa 2.0), 51c lift arn (cc-by-sa 2.0), 51d chetvorno (cc-by-sa 1.0), 52a, 52b, 52c, 58 Magnus Manske (cc-by-sa 3.0), 59a, 59b Maripimenta (cc-by-sa 3.0), 59c Mussklprozz (cc-by-sa 3.0), 59d, 62a, 62b, 63, 65b, 69a DFAT (cc-by-sa 2.0), 69b, 70, 71, 72a, 72b JHarrison (cc-by-sa 3.0), 72c GJBulte (cc-by-sa 3.0), 73 lowjumpingfrog (cc-by-sa 2.0), 76, 77a, 77c, 78, 80c, 81 Maurice Chedel (cc-by-sa 3.0), 82a RepoLello (cc-by-sa 3.0), 82b, 83a, 83b, 84a Rmanish (cc-by-sa 3.0), 84b, 84c, 84d, 86c, 87 Shyaulis Andrijus (cc-by-sa 3.0), 88a Magnus Manske (cc-by-sa 3.0), 88b Stu Pivack (cc-by-sa 2.0), 88c Dragfyr (cc-by-sa 3.0), 88d Joost J Bakker (cc-by-sa 2.0), 91 Didier Duforest (cc-by-sa 3.0), 93b Mark McArdle (cc-by-sa 2.0), 93c Fvealeger (cc-by-sa 3.0), 94a, 94b, 95 Jay Clark (cc-by-sa 2.0), 99a Raiden32 (cc-by-sa 3.0), 99b Rlevente (cc-by-sa 3.0), 101 Shyaulis Andrijus (cc-by-sa 3.0), 102a Stahlkocher (cc-by-sa 3.0), 102b Mariordo (cc-by-sa 2.0), 102d, 102e Devchonka (cc-by-sa 3.0), 103, 105, 106, 107 Greaint Owen (cc-by-sa 2.0), 112 Michael C Rygel (cc-by-sa 3.0), 113 Educerva (cc-by-sa 3.0), 114a Obra19 (cc-by-sa 3.0), 114b, 114c Raiden32 (cc-by-sa 3.0), 114d Ardferrn (cc-by-sa 3.0), 114e Mike Gonzales (cc-by-sa 3.0), 115a fmvh (cc-by-sa 3.0), 115b Rene Blumensaadt (cc-by-sa 2.5), 115c Kapilbutani (cc-by-sa 3.0), 115d Gerfi edc (cc-by-sa 3.0), 119, 121a Daniel Tar (cc-by-sa 3.0), 121b, 122 Ra Boe (cc-by-sa 2.5), 123a Magnus Manske (cc-by-sa 2.0), 123b EclipseSX (cc-by-sa 3.0), 123c Rlevente (cc-by-sa 3.0), 124a King Jing (cc-by-sa 3.0), 124b Milko Vuile (cc-by-sa 4.0), 124c, 124d, 124e, 125, 127, 128 Indrajit Das (cc-by-sa 4.0), 129a Luan (cc-by-sa 3.0), 129b, 130a, 130b Just (cc-by-sa 1.0), 130c, 132 paulo bence (cc-by-sa 3.0), 136 Beroesz (cc-by-sa 2.5), 137 Ceever (cc-by-sa 4.0), 138a GabboT (cc-by-sa 2.0), 138d Carlquinn (cc-by-sa 4.0), 141 Javi Masa (cc-by-sa 2.0), 142 Morio (cc-by-sa 3.0), 143 Andreas Praefcke (cc-by-sa 3.0), 145a johntescone (cc-by-sa 2.0), 145b greenski (cc-by-sa 3.0), 148a, 148b, 149 Pline (cc-by-sa 2.5), 150, 151, 152 Alejandro Linares Garcia (cc-by-sa 3.0), 153a Jorg Brehrens (cc-by-sa 3.0), 155 Joh3-16 (cc-by-sa 3.0), 156 Javi Masa (cc-by-sa 2.0), 158a, 158b Kevin Maden (cc-by-sa 3.0), 160b RB30DE (cc-by-sa 3.0), 160d Katt Dod (cc-by-sa 2.0), 160e, 161b Wolf (cc-by-sa 2.0), 163b Ed Keath (cc-by-sa 3.0), 164a Armin Küelbeck (cc-by-sa 3.0), 164b, 164c Roger McLassus (cc-by-sa 3.0), 168, 169 Z22 (cc-by-sa 3.0), 170, 172a, 174a, 174b Lionel Allorge (cc-by-sa 3.0), 176b, 177a CrazyD (cc-by-sa 3.0), 180 Juhana Leinonen (cc-by 2.0), 187, 188 Antony Stanley (cc-by-sa 2.0), 190c Gloumouth1 (cc-by-sa 3.0), 190d LucaLuca (cc-by-sa 3.0), 191, 192, 195a, 195b, 196b, 201a Nino Barbieri (cc-by-sa 3.0), 201b Art Mechanic (cc-by-sa 3.0), 201c Simon Eugster (cc-by-sa 2.0), 201d Simon Eugster (cc-by-sa 2.0), 201e Simon Eugster (cc-by-sa 2.0), 201f, 201g Piccolo Namek (cc-by-sa 3.0), 201h Simon Eugster (cc-by-sa 2.0), 201i Simon Eugster (cc-by-sa 2.0), 201j Living Shadow (cc-by-sa 3.0), 201k Piccolo Namek (cc-by-sa 3.0), 201l Simon Eugster (cc-by-sa 2.0), 202a, 202b, 202c StormyXXX (cc-by-sa 3.0), 202d, 203a, 203b Böhlinger Friedrich (cc-by-sa 3.0), 204a Heidas (cc-by-sa 3.0), 204b, 206a Putney Mark (cc-by-sa 2.0), 206b Sarah Ward Aviatrix (cc-by 2.0), 209, 212, 217 Lionel Allorge (cc-by-sa 3.0), 218a Abderitestatos (cc-by-sa 3.0), 219, 220a, 220b CERP (cc-by-sa 3.0), 220c Peellden (cc-by-sa 3.0), 221a, 221c Norbert Blau (cc-by-sa 3.0), 223a Volkerschmidt (cc-by-sa 3.0), 223b Kmcrary (cc-by-sa 3.0), 225 Gralo (cc-by-sa 3.0)

ESA: 147

Google Earth: 20

Google Sky: 21a

Iwan Baan: 96

kitchenpantryscientist.com: 65a

Losonczy István: 34

MOMA: 196a

OH-Archívum: 25a, 44a, 55, 56, 57, 77b, 80a, 80b, 185, 190a,

Pixabay: 93a, 202a,

Shutterstock: 21b, 22a, 22b, 49, 61, 64, 73, 86a, 86b, 109, 110, 115e, 116, 126, 134, 138b, 138c, 139, 140, 144, 153b, 160a, 160c, 162, 163a, 166, 174c, 175, 176a, 177b, 178, 182, 183, 195c, 198, 199, 224, 226

Thinkstock: 161a

PROJEKTFELADATOK

Kedves Tanulók! Javasoljuk, hogy ezeket a feladatokat csoportban dolgozzátok fel!

1. Használjuk ki az okostelefonokban lévő mérőeszközöket!

Az okostelefonokban megtalálható fontosabb szenzorok:

- Gesture Sensor: infrasugarakkal érzékeli a felhasználó kézmozdulatait
- Proximity Sensor: infrasugarakkal érzékeli a felhasználó közelségét
- Gyro Sensor: érzékeli a telefon 3 irányú elfordulását
- Accelerometer: gyorsulásmérő érzékeli a telefonkészülék különböző elmozdulását
- Magnetometer: érzékeli a föld mágneses terét
- Thermometer/Air humidity Sensor: hőmérséklet- és páratartalom-érzékelő
- Pedometer: lépésszámláló
- Barometer: érzékeli a légnyomás változását
- Hall Sensor: érzékeli, hogy a telefon tokja nyitva vagy zárva van-e.
- RGB Light Sensor: a kijelző fényerejét és élességét állítja a külső fényviszonyokhoz

Tervezzünk meg olyan méréseket, melyek az okos telefonokban lévő szenzorokat használják, és végezzük is el a méréseket! Kiindulásként használjuk ezeket a cikkeket:

<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1403/MedvegyTibor.pdf>

<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1510/BekeT.pdf>

<http://fizikaiszemle.hu/mindtudisk/mobiltelefon.pdf>

2. Vizsgáljuk meg a közlekedési jelzőlámpák beállítását!

Mérjük meg néhány lámpás kereszteződésben a piros és zöld jelzések hosszát. Írjunk számítógépes szimulációt a forgalomra, és vizsgáljuk meg, hogy mennyire optimálisan vannak beállítva a lámpák!

Vizsgáljuk meg a sárga jelzés hosszát, és különböző modelleket állítsunk fel, melyek alapján célszerű a sárga jelzés hosszát beállítani. Vegyük figyelembe a gyalogosok és az autók érdekeit is, de a legfontosabb szempont a közlekedésbiztonság legyen!

Figyeljük meg egy nagyvárosban, hogy a lámpák a járművek számára biztosítanak-e „zöld hullámot”! Vizsgálódjunk olyan helyen is, ahol villamosok és autók együtt használnak főútvonalat, és állapítsuk meg, hogy a lámpabeállítások a villamos- vagy a gépjármű-forgalomnak kedvez-e!

3. Mérjük meg az osztály tanulóinak fizikai teljesítőképességét!

A legkülönbözőbb mozgásformák esetén (például futás, gyaloglás, lépcsőn járás, kerékpározás stb.) mérjük meg osztálytársaink sebességét, hasznos munkáját, teljesítményét!

Menjünk el egy edzőterembe, és vizsgáljuk meg az ott használatos eszközöket az egyszerű gépek esetében tanultak szempontjából!

Végezzünk statikus erőgyakorlatokat (például fekvő nyomás, fekvőtámasz, szkanderezés stb.), és állapítsuk meg különböző eloszlási függvényeket, melyeket ábrázoljunk grafikusán!

4. Készítsünk vizes rakétát!

Műanyag PET- (polietilén-tereftalát) palack, gumidugó, autószelep és víz segítségével építsünk vizes rakétát. A rakéta leírását például itt lehet megtalálni:

<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1303/PalZ.pdf>

<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1301/GallaiD.pdf>

Két PET-palack, és két szeleppel ellátott gumidugó egybeépítésével készítsünk kétlépcsős vizes rakétát!

Vizsgáljuk meg, hogy milyen magasra emelkedik a rakéta! Határozzuk meg, hogy mekkora mennyiségű legyen a rakéta víztöltete, hogy a lehető legmagasabbra emelkedjen!

5. Végezzünk méréseket a Nap segítségével!

Végezzünk földrajzi helymeghatározást a Nap segítségével! A mérés leírását például itt találhatjuk meg:

<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0904/baranyai0904.html>

<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1602/NyiratiL.pdf>

Hosszú távú programként tervezzük meg gondosan, és hajtsuk is végre az úgynevezett analemma felvételét egy adott pontban. Az analemma fotó elkészítéséről például itt találhatunk leírást:

<https://www.csillagaszat.hu/hirek/eg-aktualis-egi-esemenyek/analemma-avagy-nyolcas-az-egen/>

Egyszerű eszközökkel mérjük meg közelítőleg a napsugárzás intenzitását, és a mért értéket vessük össze a napállandó hivatalos értékével. A napállandó európai földi méréséről például itt találhatunk információt:

<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0307/beata0307.html>

6. Mérjük fel néhány család étkezési szokásait!

Számítsuk ki a családok egyes tagjainak átlagos kalóriabevitelét, és ezt hasonlítsuk össze a vizsgált emberek számított alapanyagcsere (BMR) értékével. A vizsgálatokból vonjunk le olyan következtetéseket, melyek a bevont személyek számára adott étkezési tanácsokban alkalmazhatóak.

Alakítsunk ki egy-két hetes étrendet iskolai menzák, vagy iskolai táborok számára különböző évszakokra. Néhány új-szerű ételt készítsünk is el.

Hasonlítsuk össze néhány távoli ország tipikus ételét! Milyen különbségeket és azonosságokat fedezhetünk fel, ha ezeket összehasonlítjuk a magyar konyhával? Készítsünk el néhány egzotikus ételt, amit a projekt zárásaként fogyasztunk is el!

7. Tervezzünk autonóm házat egy lakatlan szigeten!

Képzeld el, hogy egy család a rekord összegű lottónyereményéből vásárol egy lakatlan szigetet a trópusokon, ahol évente néhány hetet szándékoznak eltölteni teljes elszigeteltségben mindenki másától. Időtöltésük közben élvezni szeretnék a civilizációban megszokott kényelmüket.

A fenti feltételeknek megfelelően tervezzük meg számukra egy olyan lakhelyet a szigeten, amely nyújtja a megszokott kényelmet, miközben minden külső energiaforrástól függetlenül üzemel, vagyis tervezzük a szigetre egy autonóm épületegyüttest!

A tervek alapján építsük meg az autonóm épületegyüttes modelljét is, lehetőleg úgy, hogy a modell működőképes legyen!

8. Építsünk „örökmozgókat”!

Tudjuk jól, hogy az örökmozgók ellentmondanak a fizika törvényeinek. Ezért csak csalással lehet „örökmozgót” építeni. Tervezzük meg és építsünk is meg néhány olyan „trükkös örökmozgót”, amelyben egy kis méretű elem szolgáltatja a hosszú idejű mozgáshoz szükséges energiát. Legyen az „örökmozgón” egy kapcsoló is, mellyel az elem kiiktatható.

Törekedjünk arra, hogy minél nehezebben lehessen kideríteni azt a konkrét okot, ami miatt az „örökmozgó” mozgása mégsem örök. Legyenek a megépített eszközök olyanok, melyek meglepően sokáig mozgásban maradnak az elem kikapcsolása után is!

Örökmozgónak tűnő szerkezeteket például itt lehet találni:

<https://gizmodo.com/9-gifs-that-make-perpetual-motion-machines-a-reality-5994377>

Ha a projektben csapatok dolgoznak, akkor a projektzáró rendezvényen induljon el az összes elkészült perpetuum mobile (természetesen kikapcsolt elemmel), és versenyezzenek, hogy melyik mozog a „legörökkébben”!