

Fizika

9

KÍSÉRLETI
TANKÖNYV



A tankönyv megfelel az 51/2012. (XII. 21.) EMMI rendelet:

3. sz. melléklet: Kerettanterv a gimnáziumok 9–12. évfolyama számára 3.2.08.1 Fizika A

4. sz. melléklet: Kerettanterv a gimnáziumok 7–12. évfolyama számára 4.2.09.1 Fizika A

5. sz. melléklet: Kerettanterv a gimnáziumok 5–12. évfolyama számára 5.2.13.1 Fizika A megnevezésű kerettantervek előírásainak.

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

Alkotószerkesztő: CSÍK ZOLTÁN

Vezető szerkesztő: TÓTHNÉ SZALONTAY ANNA

Tudományos-szakmai szakértő: DR. VANKÓ PÉTER

Pedagógiai szakértő: CSONKA DOROTTYA

Olvasószerkesztő: CZOTTER LÍVIA, DARCSINÉ MOLNÁR EDINA

Fedélterv: OROSZ ADÉL

Látvány- és tipográfiai terv: OROSZ ADÉL, SEPLER BÉLA

Illusztrációk: MÉSZÁROS ÁKOS, VARGA ZSÓFIA

Fotók: © Cultiris, © Dreamstime, Pixabay, Wikipedia, Archív és a projekt keretében készült fotók

A tankönyv szerkesztői ezúton is köszönetet mondanak mindazoknak a tudós és tanár szerzőknek, akik az elmúlt évtizedek során olyan módszertani kultúrát teremtettek, amely a kísérleti tankönyvek készítőinek is ösztönzést és példát adott. Ugyancsak köszönetet mondunk azoknak az íróknak, költőknek, képzőművészeknek, akiknek alkotásai tankönyveinket gazdagítják. Köszönjük dr. Honyek Gyula szakmai segítségét.

ISBN 978-963-682-834-9

© Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet

A kiadásért felel: DR. KAPOSZI JÓZSEF főigazgató

Raktári szám: FI-505040901

Műszaki szerkesztő: MARCZISNÉ REGŐS GABRIELLA

Grafikai szerkesztő: FARKAS ÉVA, MOLNÁR LORÁND

Nyomdai előkészítés: SEPLER BÉLA

Terjedelem: 30,9 (A/5 ív), tömeg: 604,62 gramm

A könyvben felhasználásra került a Műszaki Könyvkiadó Kft. Fizika 9., 2013, tankönyve.

Szerzők: dr. Ádám Péter, dr. Egri Sándor, Elblinger Ferenc, dr. Honyek Gyula, Horányi Gábor, Simon Péter.

Köszönjük Losonczy István festőművész úrnak a 34. oldalon található *Körforgalom* c. festmény közlési jogát.

1. kiadás, 2016

A kísérleti tankönyv az Új Széchenyi Terv Társadalmi Megújulás Operatív Program 3.1.2-B/13-2013-0001 számú, „A Nemzeti Alaptantervhez illeszkedő tankönyv, taneszköz és Nemzeti Köznevelési Portál fejlesztése” című projektje keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Nyomta és kötötte: Gyomai Kner Nyomda Zrt.

Felelős vezető: Fazekas Péter vezérigazgató

A nyomdai megrendelés törzsszáma:

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

TARTALOM

ELŐSZÓ	5
TÁJÉKOZÓDÁS ÉGEN-FÖLDÖN	7
1. A tér és az idő tartományai	8
2. A távolságok és az idő mérése	12
3. Helymeghatározás	17
A KÖZLEKEDÉS KINEMATIKAI PROBLÉMÁI	23
4. Mozgó járművek	24
5. Gyorsuló járművek	28
6. Közlekedjünk biztonságosan	32
A KÖZLEKEDÉS DINAMIKAI PROBLÉMÁI	37
7. Gyorsítsuk az autót!	38
8. Az erők világa	45
9. Az erők játéka	49
10. Vigyázz, kanyar!	55
11. Eső testek	59
12. Készítsünk rakétát!	67
13. Műholdak	71
MOZGÁSOK A NAPRENDSZERBEN	77
14. A Naprendszer modelljei	78
15. Kepler törvényei	83
16. A Föld, a Hold és a Nap mérése	87
A NAGY TELJESÍTMÉNY TITKA: GYORSAN ÉS SOKAT	93
17. Munka	94
18. Energia	99
19. Alakítsuk át az energiát!	103
EGYSZERŰ GÉPEK A MINDENNAPOKBAN	109
20. Motorok nyomatéka	110
21. Az egyensúly feltétele	116
22. Többet észszel, mint erővel	121
REZGÉSEK, HULLÁMOK	127
23. Hogyan mérjük időt?	128
24. Rezonanciakatasztrófák	135
25. La Ola	140
26. Földrengések	144

ENERGIA	151
27. Mi az energia, és mivé alakul?	152
28. Energia nélkül nem megy	156
29. Az élet és az energia, mi az a kalória?	159
30. Mit és mennyit együnk?	163
31. Mi hajtja a járműveinket?	168
32. Különleges meghajtású járművek	174
33. Legfontosabb energiaforrásunk a Nap	179
34. A napenergia felhasználása	187
35. A hőterjedés formái	196
36. Korszerű házak, lakások	208
37. Atomenergia	218
38. Energiagondok	226
NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ	235
KÉPEK JEGYZÉKE	239

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, 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 kellenek 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!

FIGYELD MEG!

Ezek célja, hogy személyes tapasztalataid révén kerülj közelebb az adott témakörhöz.

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

Jellegzetes hibák, tévképzetek, félreértések elkerülésében segít a

NE HIBÁZZ! rész.

Könyvünk számos érdekességet, váratlan, szokatlan tényt tartalmaz.

Ezeket a *Hallottál róla?* keretben találod meg.

A *Hogyan volt 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.

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.

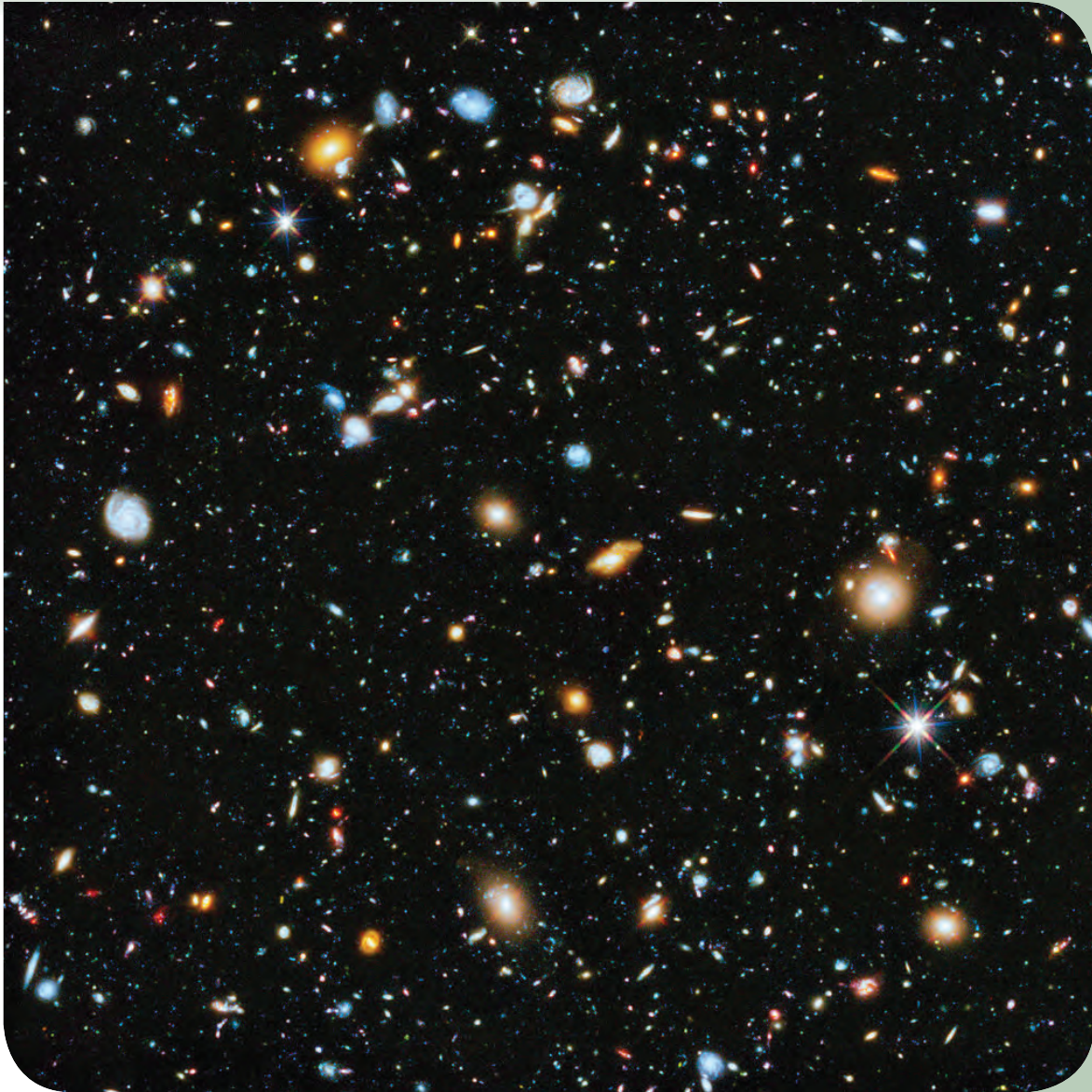
A leckék végén található **ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK**

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

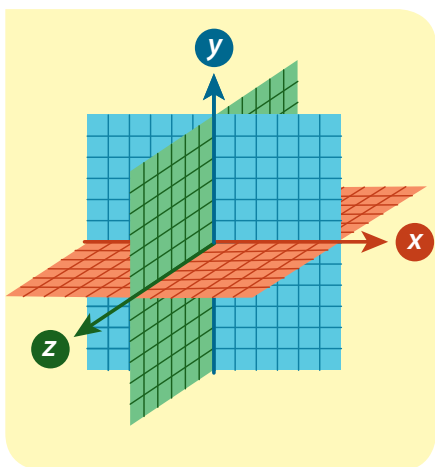


Csillagok vagy galaxisok

*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.*

1. | 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 legkisebről és a legnagyobbról 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.)



■ Augustinus vagy Szent Ágoston

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 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.



■ Egy 357 éves amerikai sárgafenyő évgyűrűi 5 nagy tűzvész nyomával

Világunk a kicsik és a nagyok között

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

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. 2012 közepén a legtávolabbi kisméretűnek (pontszerűnek) látszó objektum a Földtől az SXDF-NB1006-2 galaxis, mely 12,91 milliárd fényévre, azaz közel 122 000 000 000 000 000 000 méterre ($12,91 \cdot 1\,000\,000\,000 \cdot 365 \cdot 86400 \cdot 300\,000\,000$) 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 aztán az első galaxisok kialakultak, ezért abból a távolságból nem remélhetjük pontszerű 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, ám még kísérletileg nem 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	125 000 000 000 000 000 000 000 000 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 készítették elektronmikroszkópos rajzfilmet is, 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 legrégebben született ismert ősidő?
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. Fejezd ki a Mars és a Jupiter Naptól vett távolságát a Nap és a Föld átlagos távolságával!
6. Hány méter távolságból tudunk két, egymástól 1,5 cm-re lévő pontot megkülönböztetni? A szükséges információkat megtalálod a tankönyvben.
7. Hogyan, milyen adatokból lehet következtetni egy gyerek pontos korára? Gyűjts össze minél több lehetséges mutatót!

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 született? 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 el lent ez az állítás a világról kialakult képünknek?
6. Szobád sarkát egy Descartes-féle koordináta-rendszer origójának tekintve add meg a mennyezetten függő csillár hozzátétőleges koordinátáit!
7. Mekkora a legnagyobb és a legkisebb Nap–Föld-, illetve Hold–Föld-távolság?
8. Becsüld meg a Hold átmérőjét annak ismeretében, hogy napfogyatkozáskor a Hold nagyjából teljesen lefedi 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! Jellegetesen milyen korú tárgyakra alkalmazzák ezt az eljárást?
10. Milyen kormeghatározási eljárások lehetségesek a tankönyvben felsoroltakon kívül? Tájékozódj az interneten!
11. Honnét 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?

2. | 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 törrő 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.

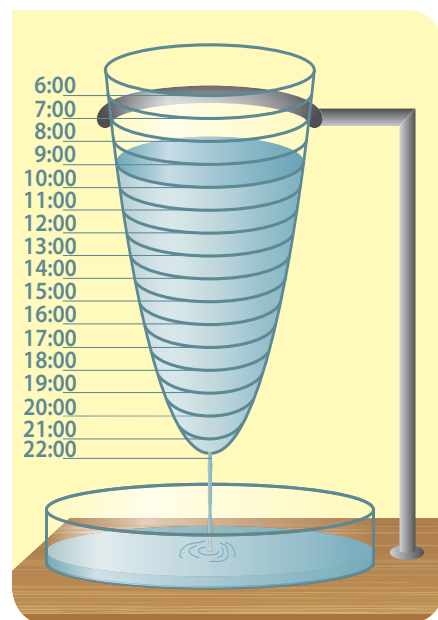
A mechanikus órák megjelenéséig a napóra volt a legfontosabb időmérő eszköz. A napóra készítése még a XVIII. századi Európában is megbecsült tudomány volt.



■ 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

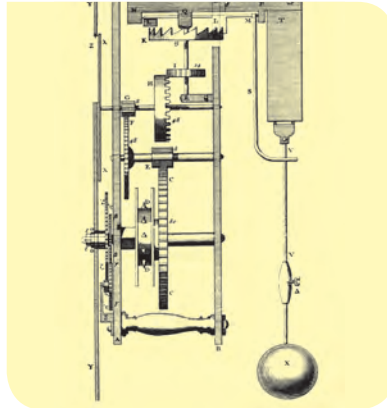
1. Milyen hosszú időszakot tud mérni a klepszidra egy feltöltéssel?
2. Miből lehet következtetni arra, hogy a kifolyás nem egyenletes?
3. Hogyan változik az idő múlásával a kifolyás sebessége?
4. Mi lehet a változás magyarázata?
5. Hogyan oldották meg az eszköz készítői, hogy a vízszint magassága egyenletesen 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 (1629–1695) 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 versenytársa, akivel nagyjából



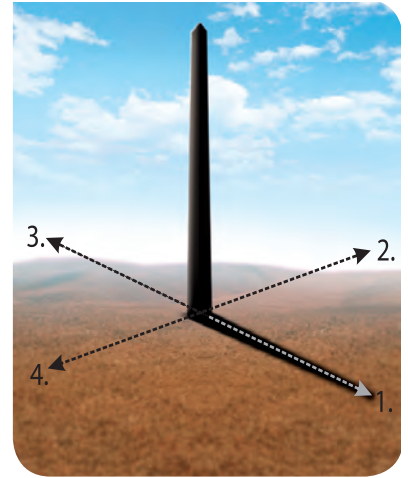
■ A fiatal Christiaan Huygens és találmánya, az ingaóra



■ Robert Hooke

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 képen észak?
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 fokkal 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)

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. Legközelebb a 2016-os év lesz ilyen. 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 kimarad 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.

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 tolódná 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 tolódná 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 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 megmérésén 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 hosszmértékei 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 múltott, 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 lába alkotta távolságot lemérik. Ennek 16-od része volt a hivatalos „láb”.

Távolság mérése radarral

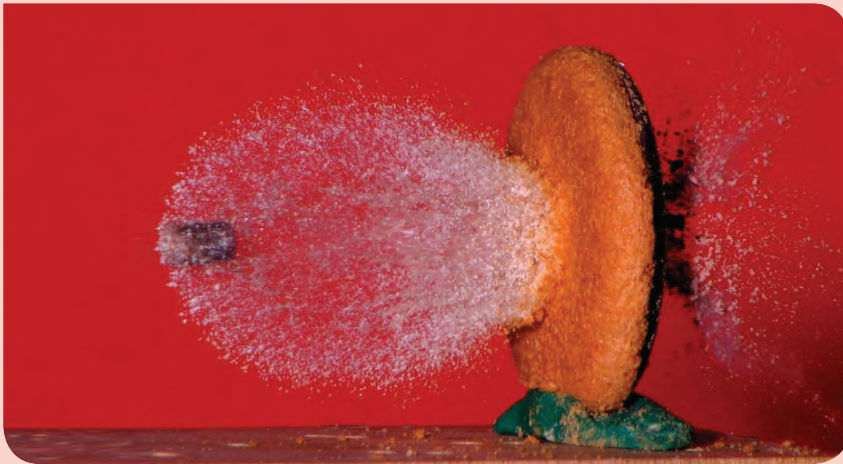
A radar a második világháborúban már fontos szerepet töltött be a léghárításban. Elsőként Bay Zoltán és tőle függetlenül egy amerikai kutatócsoport gondolt arra, hogy a radarhullámok nemcsak repülőkről, hanem égitestekről is visszaverődhetnek. A rádiójel kibocsátása és visszaverődése közti időkülönbség alapján mérte meg elsőként a Hold távolságát a Földtől 1946-ban mindkét kutatócsoport.

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 nehéz), 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 méterrúdat 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.

EMLÉKEZTETŐ



■ 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-távolság mérése 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 magasságot 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 tárgyaltagon kívül!
10. Becsüld meg az egypercnyi idő hosszát úgy, hogy fejből követed az idő múlását! Mennyire sikerült pontosnak lenned? Min múlik a siker?
11. Határozd meg lakásotok területét úgy, hogy mérd meg, milyen hosszú utat teszel meg addig, amíg a lakás egy pontjától elindulva, bal keziddel 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 méterrúdalonokat?
3. Készíts időetalont, azaz hozz létre olyan fizikai folyamatot, mely mindig azonos ideig, például 10 másodpercig tart!
4. Milyen hosszú a másodpercinga zsinórja?
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? (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 szekérral, 10 lépést kell tennünk. Hány lépés hosszú a szekér? A szekér haladásához képest hányszor gyorsabban lépünk?

3. | 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 szögből, 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. Érdekeséggé válhat 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 (heliotrópnak nevezte el), melynek működése a napsugarak visszaverődésén alapult.

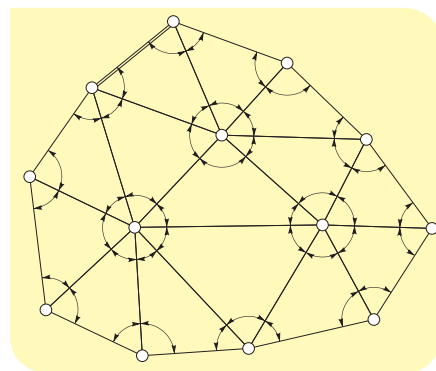
Hol vagyunk? Merre van észak?

Az északi irány meghatározása még néhány évtizeddel ezelőtt is nehézséget jelentett például egy kirándulónak, aki tájolni szerette 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.

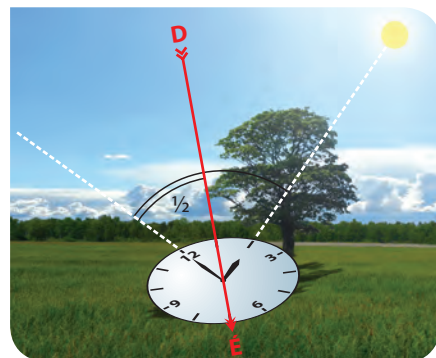
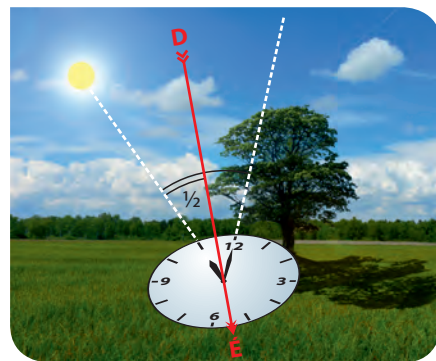
Az északi irány meghatározása mutatós óra és a Nap segítségével

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 szöveget 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 egy órával „visszaállítjuk” az időt.

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 dimbesdombos vidéken, mint sík területen?



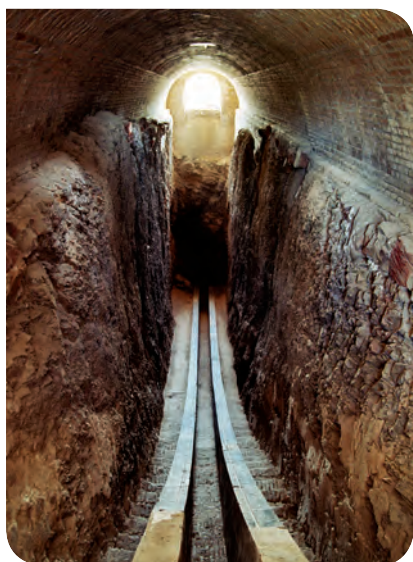
■ Így határozhatjuk meg az északi irányt mutatós óra segítségével

Hallottál róla?

A hajósok tájékozódását a nyílt vizeken éjszaka elsődlegesen a csillagképek segítették. Nappal a Nap helyzetéből vontak le következtetéseket, melynek irányát a szextáns nevű műszer segítségével mérték. Ez tulajdonképpen egy tükrökkel felszerelt szögmérő volt, mellyel a Nap és a csillagok pozícióját lehetett meghatározni a horizonthoz képest. A szextánszt az 1730-as évektől használták. A szextáns 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 kvadránisa a közép-ázsiai Szamarkandban vagy Tycho Brahe dán csillagász szobányi műszere Uranienborgban.



■ Szextáns



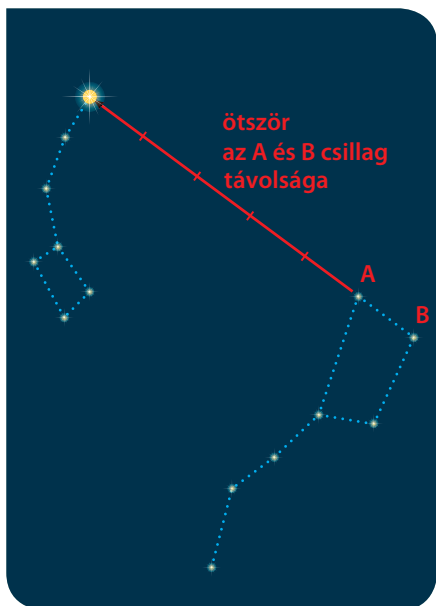
■ Ulug bég kvadránisa



■ Tycho Brahe dán csillagász szobányi műszere



■ Az augsburgi kvadráns másolata



■ Így találhatjuk meg az északi irányt jelző Sarkcsillagot az égbolton a Göncölszekér 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 Göncölszekér segítségével történhet, ami a Nagy Medve csillagkép része. A Sarkcsillagot úgy a legkönnyebb megtalálni, hogy a Göncölszekér 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.

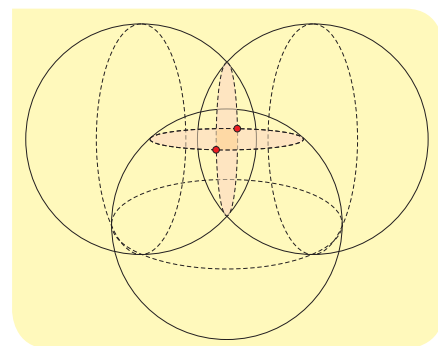
A földi pozíció meghatározása GPS segítségével

A GPS-rendszer (Global Position 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, azonban az egyik 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 tájfutó versenyen 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. Miben különböznek egymástól a gépkocsi vezetését és a kirándulók helyváltoztatását elősegítő készülékek?

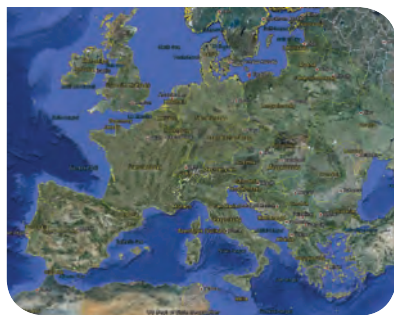
Hallottál róla?

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. Egyelőre 2011-ben az első két európai műholdat lőtték fel, tervezik a második kettőt, míg a teljes kiépítés 2019-re 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!

Keressd meg a Holdon azt a helyet, ahol az első ember a Holdra lépett! Keressd 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.

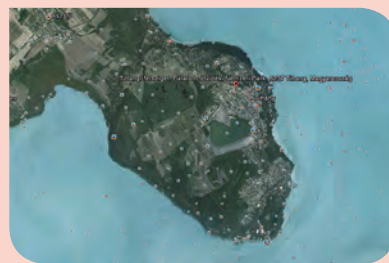
A Google Égbolt (Google Sky)

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 űr-expedíciók helyszíneivel.

MÉRD MEG!

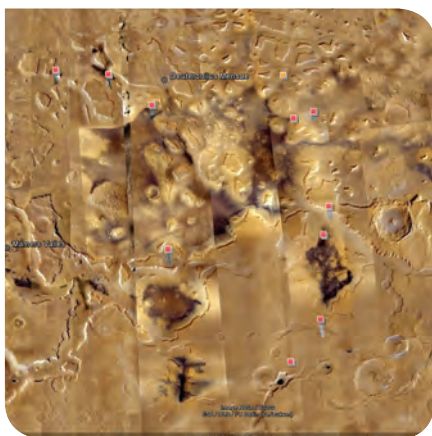
1. Határozd meg a Google Föld segítségével a lakóhelyed és az iskolád közötti távolságot légvonalban és közúton!
2. Határozd meg Debrecen és Pécs észak–déli távolságát egy hosszúsági kör mentén!
3. Mérd meg a budapesti Margit híd hosszát!
4. Állapítsd meg a Tihanyi-félsziget partvonalának hosszát! Először 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, s 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 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 közben teszik sokkal biztonságosabbá a haladást.



■ Vezető nélkül közlekedő kísérleti jármű 2012-ből

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

*Nemcsak az autósok,
hanem a motorkerékpárosok
életét, testi épségét is egyre több
biztonsági berendezés védi.
A képen felfújódó légszák látszik,
de van már eséskor felfúvódó
motoros dzseki is. Hogyan értel-
mezhető a fizika nyelvén ezeknek
az eszközöknek a működése?*



*Hol lehet a súlypontja
ennek a kisbusznak,
mely erős fékezés hatására majd-
nem előre bukfeneczik?*



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



A KÖZLEKEDÉS KINEMATIKAI PROBLÉMÁI



Zürichi utcakép,

amit a rendszám táblák alapján lehet kitalálni.

Milyen igényeket kell teljesíteni a nagyvárosok közlekedésével kapcsolatban?

Miért nehéz a nagyvárosok közlekedését jól megoldani?

4. | 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 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 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 azonos időegységenként ugyanakkora utakat tesz meg.



■ 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

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:

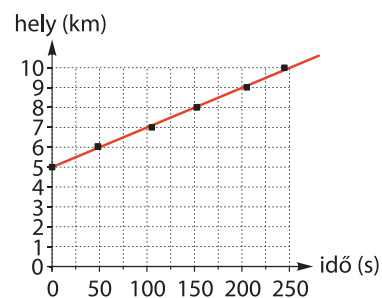
Km-kő sorszáma	5	6	7	8	9	10
Idő (s)	0	48	101	153	201	249

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 elmozdulást 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:

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

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

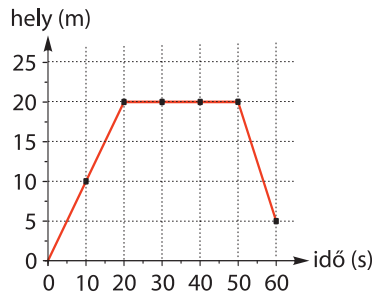
$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{1000 \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = \frac{3600 \text{ km}}{1000 \text{ h}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

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

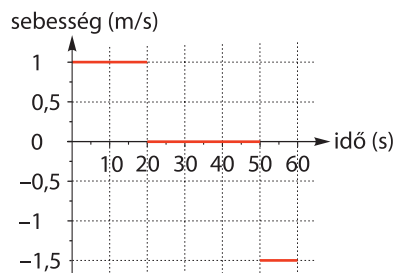
$$v_1 = \frac{20 \text{ m}}{20 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

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

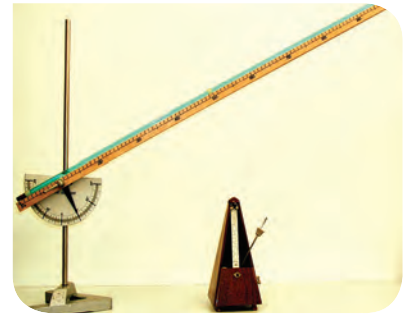
$$v_2 = \frac{0 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 0.$$

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!

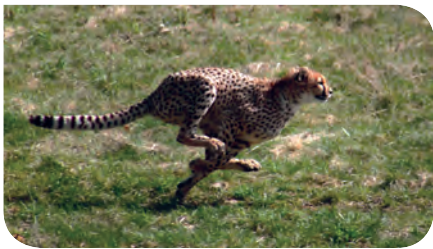
A mérési eredményeket foglald táblázatba, és az összetartozó értékpárokat ábrázold hely-idő grafikonon!



- Mikola Sándor (1871–1945)

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

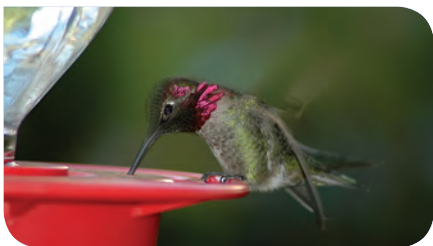
A fizika oktatását segítő, több új demonstrációs eszközt készített. Pedagógiai munkássága jelentős, számos későbbi híres tudós (például Neumann János és Wigner Jenő) középiskolai tanára volt.



■ 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 sebesség előjeles skalármenntiség.

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

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

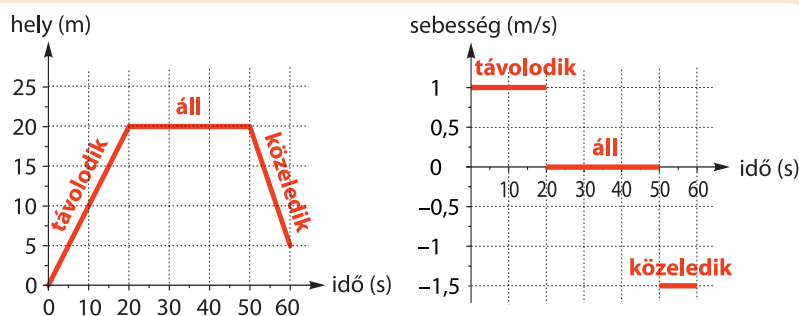
Hallottál róla?

- 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 vezet 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: népeesség-szám, 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:

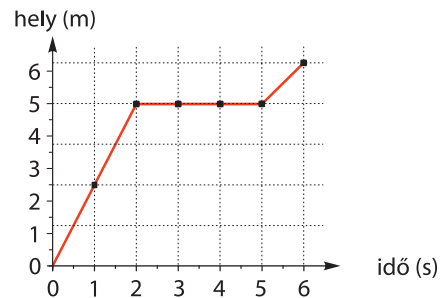
$$\text{Sebesség (m/s)} = \frac{\text{megtett út (m)}}{\text{eltelt idő (s)}}$$

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 autóúton, 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 autóúton, 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 autóúton, azonos irányban halad két autó. A talajhoz képest a sebességük 40 km/h, illetve 50 km/h. Mekkora az egymáshoz viszonyított sebességük? Függetlenül 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. Autóúton 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 kocsí lassan, egyenletesen gurul az állomáson. Menetirányban lépkedve mellette a földön 34 lépésnek találjuk a kocsí hosszát, ellentétes irányban 26 lépésnek. Mindkét esetben a talajhoz viszonyított sebességünk azonos és állandó, valamint a lépések egyenlő hosszúak. Hány lépés hosszú a vasúti kocsí?
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 számold sebességeket! Ábrázold a légbuborék sebességét a cső dőlésszögének függvényében! Próbáld értelmezni a jelenséget!

5. | Gyorsuló járművek

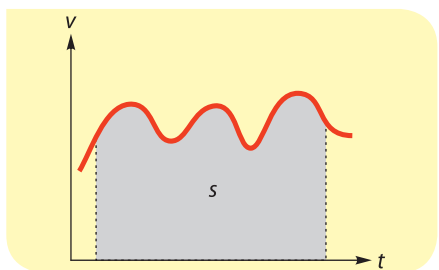
Ha egy test állandó sebességgel mozog, akkor valamikor régebben fel kellett vennie ezt a sebességet. Ugyanígy a környezetünkben állandó sebességgel mozgó testek később megváltoztatják a sebességüket, lelassulnak, megállnak. Ez a jelenség a járművek mozgásának természetes velejárója. Az utcákon néha megjelenő 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.

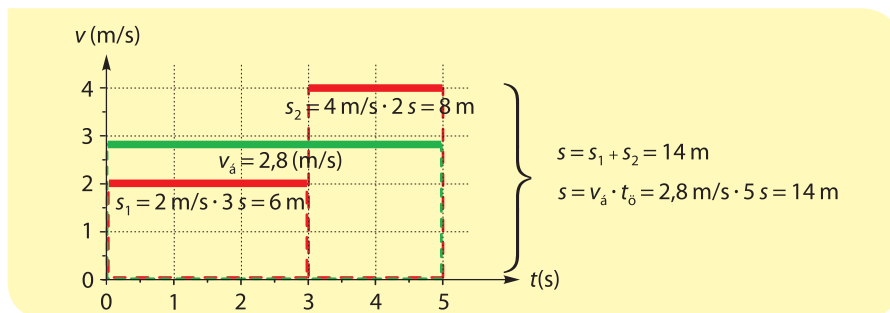
A természetben és a technikai környezetünkben előforduló mozgások jelentős része nem egyenletes mozgás. Például egy legelő tehén egész napos mozgása a mezőn vagy egy autó mozgása a városi forgalomban látszólag összevisszának tűnik.



- 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 ezalatt megtett kicsiny utat).

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

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

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

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

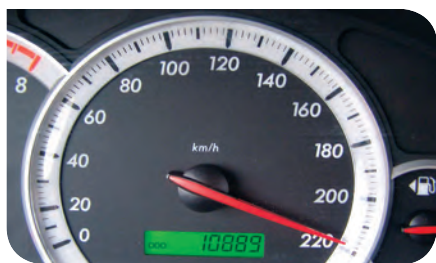
A sebességet változó irányú mozgásoknál célszerű vektorként leírni.

A gyorsulás

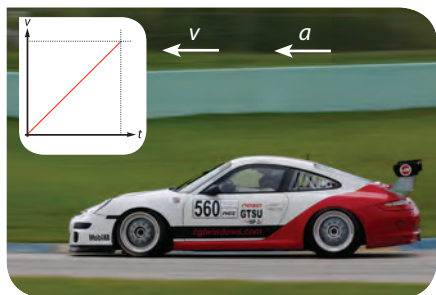
A grafikonon azt látjuk, hogy az egyenes úton mozgó autó pillanatnyi sebességének nagysága egyenlő időtartamok alatt ugyanannyival változik. Az ilyen mozgást egyenes vonalú egyenletesen változó mozgásnak nevezzük.

A sebességváltozás gyorsaságát jellemzi a gyorsulás:

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



■ Az autó sebességmérője az autó pillanatnyi sebességének nagyságát mutatja



■ Gyorsuló autó

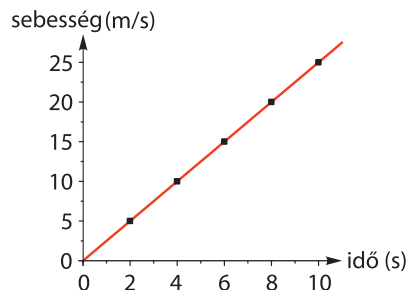
SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy gondolatkísérlet 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:



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



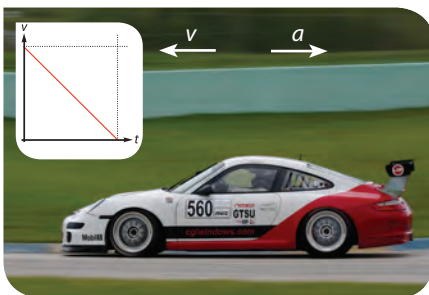
■ Egy focilabda gyorsítási ideje elrúgáskor $0,1 \text{ s}$ nagyságrendű, az átlagos gyorsulása akár 400 m/s^2 is lehet. Mekkora sebességre tesz szert a labda az elrúgás végén?

A gyorsulás mértékegysége:

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

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!

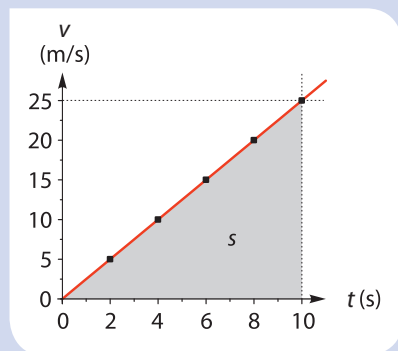
Megoldás: A gyorsulás definíciója alapján:

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

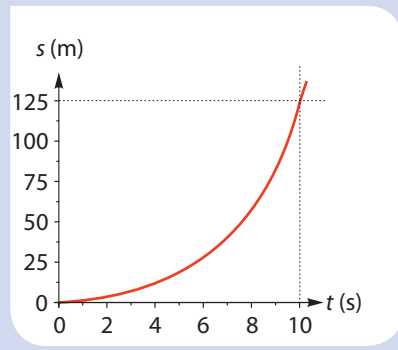
Használjuk fel, hogy a v - t grafikon alatti terület számértéke a megtett utat adja:

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

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



A mozgás út-idő grafikonja egy fél paraboláiv:



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: $v_{\text{átlag}} = (v_1 + v_2)/2$. Ha már tudjuk az átlagsebességet a vizsgált $\Delta t = t_2 - t_1$ időtartam alatt, akkor a megtett utat így számolhatjuk ki:

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

Tőled függ!

A modern, biztonságos autókban gyorsulásérzékelők vannak, melyek az övfeszítőt, illetve légzsákokat vezérlik.

A biztonsági öv a kirepüléstől óv meg; a légzsák a túlzott előredőlést, a kemény tárgyakkal való ütközést akadályozza meg.

Magyarországon – ahogy a világ legtöbb országában is – saját érdekünkben kötelező a biztonsági öv szabályos használata.



■ Törésteszt

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 (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

1. Egyenletesen gyorsuló mozgást vizsgálunk. A gyorsulás (a), sebességváltozás (Δv) és az időtartam (Δt) mindegyikét fejezd ki a másik kettő segítségével!
2. Péter 15 perc alatt jut el kerékpárral az otthonától 3,5 km távol lévő iskolába. Mekkora átlagsebességgel halad?
3. A 2012. évi nyári olimpiai játékokon a 10 km-es nyíltvízi női úszás versenyszámát Risztov Éva nyerte meg a Hyde Park-ban 1:57:38,2-es idővel. Mekkora volt a sportoló átlagsebessége?
4. 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!

5. Egészítsd ki az alábbi mondatokat a következő szavakkal:
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.
6. 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!

7. 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:
 - a) 2-szer nagyobb sebesség ...-szer nagyobb fékutat eredményez.
 - b) 3-szor nagyobb sebesség ...-szer nagyobb fékutat eredményez.
 - c) nagyobb abszolút értékű gyorsulás ... fékutat eredményez.
8. 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!
9. Egy test sebessége kezdetben 5 m/s. Ez egyenletesen ellentétes irányúra és 3 m/s nagyságúra változik 4 másodperc alatt. Mekkora a test sebességváltozása és gyorsulása?
10. 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?
11. Lehetséges-e, hogy egy autó észak felé halad, de dél felé mutat a gyorsulása?
12. Lehet-e egy testnek nullától különböző gyorsulása abban a pillanatban, amikor éppen nulla a sebessége?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. 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?
2. 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?
3. 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?
4. 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?
5. Egy 20 km/h sebességgel haladó kerékpáros 3 másodperc alatt egyenletesen lassulva megáll. Mekkora a lassulása? Mekkora úton áll meg?
6. 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?
7. Egy jármű a fékezési idő első felében 15 métert tesz meg. Mekkora a teljes fékútja? A jármű sebessége egyenletesen csökken.
8. Az egyenes kifutópálya elején álló helyzetből egyenletesen gyorsít a repülőgép. A kifutópálya hosszának 80%-ánál eléri a felszálláshoz szükséges sebesség 90%-át. Szükség-e a felszállás? Állításodat számítással igazold!
9. 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!
10. 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?

6. | 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 biztosítókra. 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!**

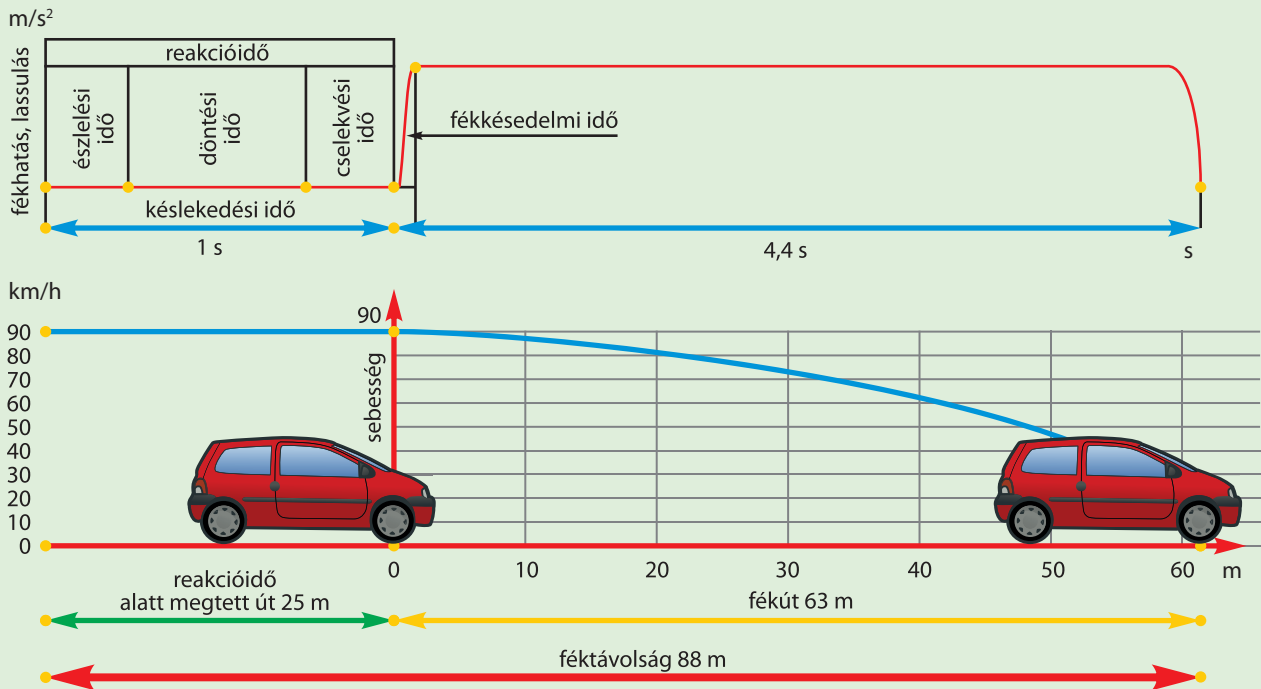
A fékezés helyes folyamata:

- 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

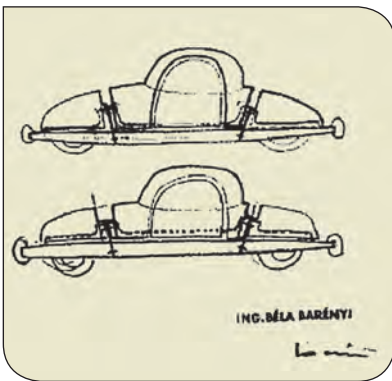
Megoldás: A lakott területen megengedett legnagyobb sebességhez, az 50 km/h-hoz 36 méteres féktávolság tartozik. Ha a gépkocsi vezetője ennél messzebből észleli a sárga jelzést, akkor meg fog állni a kereszteződés előtt. Ha a lámpától csak 36 méterre van vagy közelebb, akkor fékezés nélkül halad át a 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 autóiparban. 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 kocsiszekrény, hátsó motor, váltó és meghajtás.

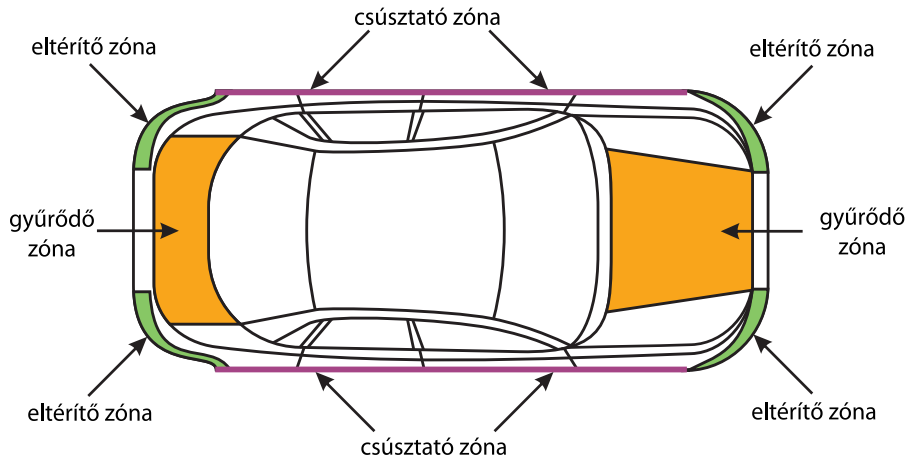
Több mint 2500 újítása közül a legfontosabbak: biztonsági kormányoszlop, gyűrődési zóna, biztonsági utasegély, párnázott műszerfal, letörő visszapillantó tükör, megerősített ülések, biztonsági zárszerkezet, töréscsukló.



■ 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, függönylégszák.



■ 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 „fékasszisztent” (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. Hogyan mozog az autó, ha a reakcióidő alatt megtett út nagyobb, mint a fékút? Hogyan mozog 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 nagyméretű gyűrődési zónával, illetve légszákkal rendelkeznek?
8. Miért nagyon fontos, hogy az autóban minden utas használja a biztonsági övet? Keresd meg az interneten, hogy Magyarországon mióta kötelező autókban a biztonsági öv használata! Járd utána annak is, hogy ennek hatására hogyan változott a halálos közúti balesetek száma!
9. Sorolj fel érveket amellett, 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/s^2 -es lassulást feltételezve, mekkora a féktávolsága?
5. Egy versenyautó 8 m/s^2 gyorsulásra és 12 m/s^2 -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 Kocsi község nevéből származik a kocsi 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.

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 elvekkkel magyarázható, hogy az ilyen furcsa, igen hosszú korcsolyákkal gyorsabban lehet száguldani?



A KÖZLEKEDÉS DINAMIKAI PROBLÉMÁI



Miért nem középen

haladnak a versenyautók?

Hol könnyebb előzni,

kanyarban vagy egyenesben?

Miért?

7. | 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 gumiabroncsok és a talaj közötti súrlódástól is. Látni fogjuk, hogy a gépkocsik sebességváltásakor 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, amelyben 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!

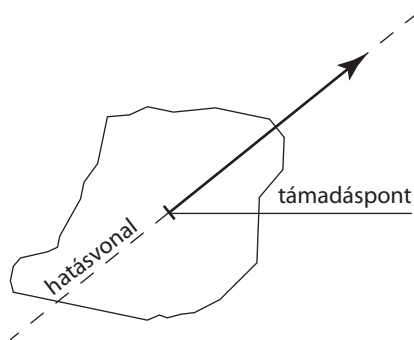
A dinamika alaptörvénye

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

Az erő jele: **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 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ -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:

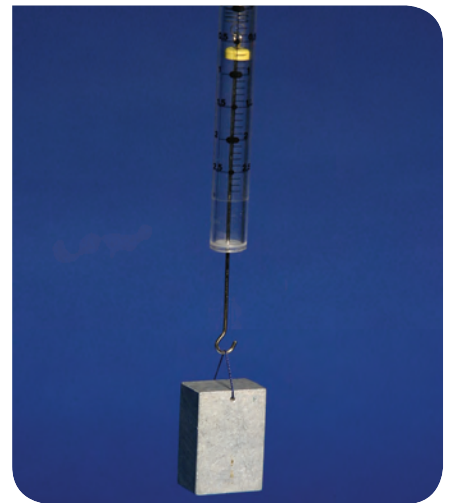
$1 \text{ N (newton)} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kgm/s}^2$.

A sűrűség

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

Sűrűség = $\frac{\text{tömeg}}{\text{térfogat}}$, képlettel: $\rho = \frac{m}{V}$, 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



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

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!

Hallottál róla?

Szürakusza királya a Kr. e. III. században azzal bízta meg Arkhimédészt, hogy döntse el, hogy a koronája tiszta aranyból van-e vagy sem. A legenda szerint Arkhimédész a kádban fürdés közben rájött, hogy ha vízbe mártja a koronát, akkor a korona térfogatával arányosan emelkedik a vízszint. Arkhimédész gyakorlatilag a sűrűség fogalmát vezette be. A legenda szerint a tudós örömeiben kiugrott a kádból, és csupaszon rohant az utcákon a palotáig azt kiáltozva, hogy „Heuréka!” (megtaláltam).

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 ésszerű határok között viselkednek a fenti rugótörvény szerint, a rugalmasságuknak a gyakorlatban korlátjai vannak.



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

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 negatív előjel azt fejezi ki, hogy a megnyújtott rugó össze akar húzódnani, az összenyomott rugó pedig ki akar nyújtózni. A rugó tehát a megnyújtásának irányával ellentétes irányú erőt fejt ki a rugóhoz rögzített testre.

A D arányossági tényezőt **rugóállandónak** (régies nyelven direkción erőnek) nevezzük, mértékegysége N/m .



■ Spirálrugó képe egy óraszerkezetből



■ Az autók rugózása megoldható csavar- és laprugóval is



A kölcsönhatás törvénye

Newton III. törvénye (hatás-ellenhatás, erő-ellenereő): 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: csúszásmen-



■ Hogyan keletkezik a porfelhő az autó mögött?

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 kocsi fékezés közben.



■ Az ABS visszajelző logója a műszerfalon

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. Azonban ezzel 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. Azonban nagyobb sebességeknél 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.

tes esetben a tapadó súrlódás fékezi a gépkocsit, ezért a kerekek előre felé nyomják a talajt. Lámpás 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:**

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

A dinamika alapegyenletét a legtöbbször ebben a formában adjuk meg:

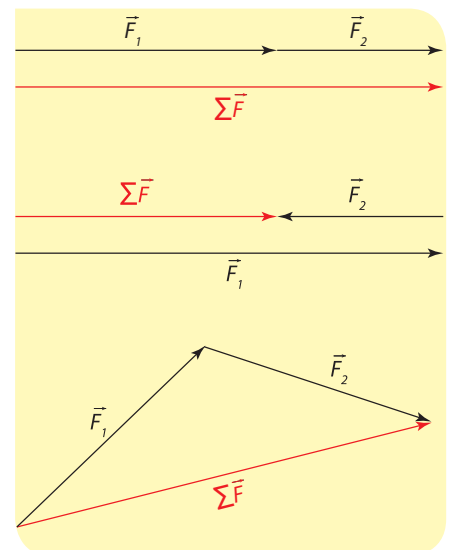
$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a},$$

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.

SZÁMOLD KI!

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



■ Erők eredőjének szerkesztése. Fogalmazd meg a vektorösszeadás szabályait!

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.

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.

Rugalmas erő nem csak csavarrugóban jelenhet meg. Több technikai eszközünkben felléphet közel rugalmas erő, pl. gumiszál, laprugó, légrugó esetén.



■ 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 párkölcsönhatást jelent, 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:

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

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

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

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

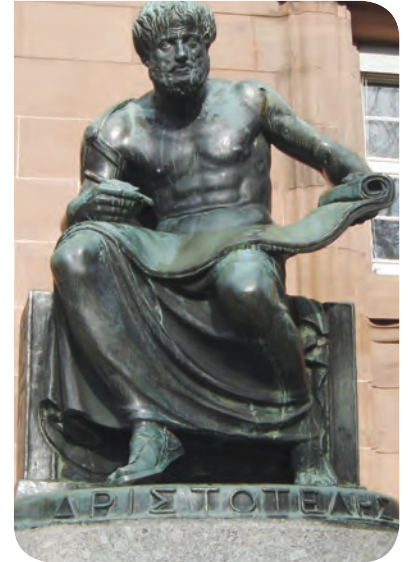
1. Egyenes úton haladó busz hirtelen fékez. Egy utas erősen kapaszkodva utazik a buszon. András az út mentén állva belát a busz utasterébe, Béla a buszon ülve figyeli az eseményeket. Írd le mindkét megfigyelő szempontjából a kapaszkodó utas mozgását! Melyik megfigyelő vonatkoztatási rendszere inerciarendszer, melyiké nem? Miért?
2. Az interneten keresd meg a tömeg más egységeit! Például: mázsa, tonna, uncia, atomi tömegegység, Planck-tömeg, naptömeg, ...
3. Az alábbi szavakkal egészítsd ki a füzetedben a következő mondatokat: **gyorsulás, tömeg, eredő erő, sebesség**
 - a) A test csökken, ha az ellentétes irányú a
 - b) Ha egy test nagyobb, akkor a kisebb lesz.
 - c) A test növekszik, ha az azonos irányú a
4. A következő állítások közül melyik igaz, melyik hamis?
 - a) Az erő és az ellenerő azonos nagyságúak, ellentétes irányúak, ezért eredőjük nulla.
 - b) A személygépkocsi nagyobb, állandó sebességgel halad. Ekkor a testre ható eredő erő is nagyobb.
 - c) Az erő és az ellenerő azonos nagyságúak, ellentétes irányúak, ezért kioltják egymást.
5. Egy m tömegű pontszerű testre F erő hat, és emiatt a test 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		

6. 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”?
7. Egy testre egyetlen erő hat. Mozoghat-e az erővel ellentétes irányba? Lehet-e nulla a sebessége?
8. Egy testet két alkalommal gyorsítunk két különböző nagyságú erővel, a végsebesség mégis ugyanaz lesz. Lehetséges ez? Indokolj!
9. A sportlövészek szorosan magukhoz szorítják a puskátust a lövés idejére. Mi lehet ennek az oka? Mi történhetne, ha nem így tennének?
10. Egy rugó megnyúlása 10 N erő hatására 5 cm . Mekkora a rugóállandó? Készítsük el a rugóerő-megnyúlás grafikont a $0\text{--}20\text{ cm}$ intervallumban! Mekkora erő nyújtja meg a rugót 12 cm -rel?
11. Hány kilogramm benzin fér az autó 50 literes tankjába? (A benzin sűrűsége: $0,75\text{ g/cm}^3$.)



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 felé, 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 tudósára.

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.

Viszont 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.

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

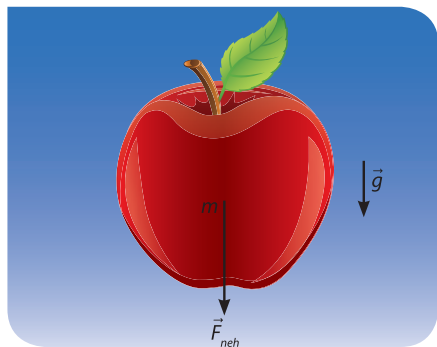
- Egy fémhenger alaplapjának sugara 2 cm ($\pm 0,1 \text{ cm}$), magassága 5 cm ($\pm 0,1 \text{ cm}$), tömege 170 g ($\pm 1 \text{ g}$). Mekkora a test sűrűsége? Mekkora a mérés relatív hibája? Milyen anyagból lehet a fémhenger?
- A Nap tömege $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, a Földé $6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. 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 sűrűségét!
- 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 $2,5 \text{ m/s}^2$?
- 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!
- 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!

8. | Az erők világa

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.



■ $\vec{F}_{neh} \Rightarrow \vec{g}$
Ok \Rightarrow Okozat

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 . (Erről később még tanulunk.)

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

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

A tartóerő

Vízszintes úton, nyugalomban lévő autóra is hat a nehézségi erő, viszont az most nem gyorsul. A dinamika alaptörvénye ($\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}$) szerint ez csak úgy lehetséges, ha egy ugyanakkora, 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 **tartóerőnek** nevezni. Az \vec{F}_t tartóerő biztosítja azt, hogy a testre ható erők eredője nulla legyen, vagyis az autó nyugalomban maradjon az úton. $F_t = mg$. 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 alma is kifejt egy ugyanakkora, de ellentétes irányú, lefelé mutató erőt az asztalra. Ez a tartóerő ellenereje, amit a megkülönböztetés kedvéért nevezzünk **nyomóerőnek**, és jelöljük így: \vec{F}_{ny} . Az asztal és az alma közötti kölcsönhatást így írhatjuk le részletesen: az asztal tartja az almát, az alma nyomja az asztalt.

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



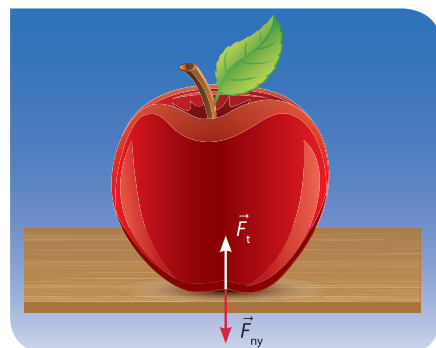
■ François Villon (1431 vagy 1432 – eltűnt 1463-ban)

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

(Illyés Gyula fordítása)



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



■ Az asztalon nyugvó alma és asztal kölcsönhatása

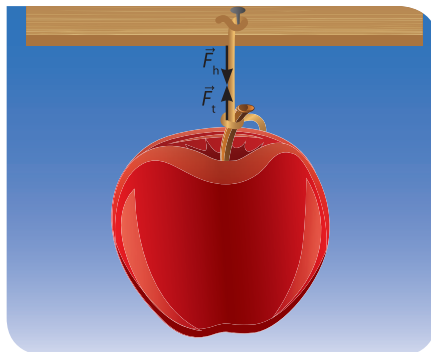
Hallottál róla?

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 angolszász 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 angolszász országokban ezért szabadeséskor látszólagos súlytalanságról beszélnek. Nekik könnyebb a súlyt megtanítani, de nehezebb a súlytalanságot. Érteni 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.

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 kifejtett nyomóerő nagyság és irány szerint megegyezik a nehézségi erővel:** $\vec{F}_{ny} = m\vec{g}$.



■ A kötélen lógó alma és a felfüggesztés közötti kölcsönhatás

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) kifejtett húzóerő nagyság és irány szerint megegyezik a nehézségi erővel: $\vec{F}_h = m\vec{g}$.

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 nevezük.** A jele G . **A test súlya nem a testre, hanem az alátámasztásra, illetve a felfüggesztésre hat.**



■ Rugós erőmérő használatban

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 kifejt egy ugyanekkora, 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) kifejtett húzóerő nagyság és irány szerint megegyezik a nehézségi erővel: $\vec{F}_h = m\vec{g}$.

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 nevezük.** 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: $\vec{G} = m\vec{g}$.

A sztatikai tömegmérés elve

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.

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.



■ 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.

A nyomás

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

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

NE FELEDD!

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

A test súlyát a test fejt 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.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy hölgy egyik alkalommal lapos, sima talpú papucsban megy le a strand fővenyére, 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!

FIGYELD MEG!

Állj egy lapos fürdőszobai mérlegre! A térded 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 értékénél?

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 megérkezéskor!



■ Miért nehéz elvégezni ezt a méréssorozatot?

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?
- 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!
- 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?
- 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?

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.

MÉRD MEG!

Hozz létre a tanteremben súlytalanságot! Próbáld több kísérletet is kitalálni, melynek értelmezésében a súlytalanság játszik főszerepet!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

- 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?
- Az autógyárak megadják az általuk gyártott autók keréknyomásának optimális értékét. Miért nem érdemes ettől eltérni?
- 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?
- 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?
- A tervek szerint szénszál-as 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 érne 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?
- Dolgozz ki mérési eljárást, amellyel a súlytalanság állapotában megmérhető egy test tömegét!

9. | 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.

Mi történne akkor, ha felemelnék a kocsi? A motor felpörgetné a kerekeket, de az autó nem haladna előre. A talajhoz nyomódó kerekek a motor forgató hatására hátrafelé akarják lökni a talajt, és ez a kölcsönhatás azzal jár, hogy a talaj előretolja a kocsit, miközben a kerekek nem csúsznak el a talajon.

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, sikító hangot ad. Ez a tapasztalat azt bizonyítja, hogy a tapadási súrlódásnak maximuma van. A tapadási súrlódási erő legnagyobb értékét jelöljük így: $F_{\text{tap. max.}}$.

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

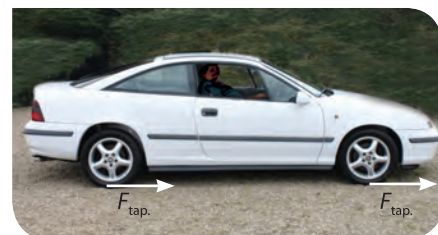
$$F_{\text{tap. max.}} \sim F_{\text{ny}} \Rightarrow F_{\text{tap. max.}} = \mu_0 F_{\text{ny}}$$

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.

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.



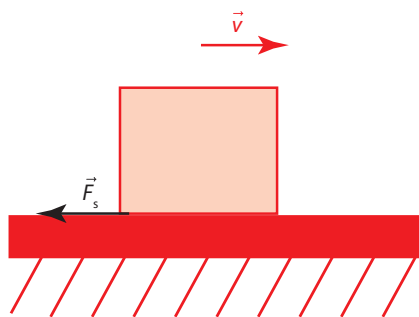
- A négykerék-meghajtású autót a kerekekre ható tapadási súrlódási erő gyorsítja. Mire hat ezek ellenereje?

NE HIBÁZZ!

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

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

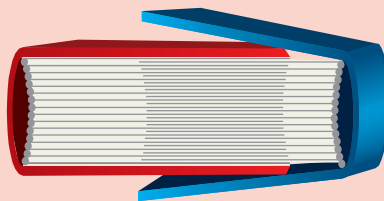
Ez az erő is vektormennyiség, tehát iránya van. A tapadási súrlódási erő hatásvonala az egymáshoz nyomódó felületek érintősíkjában fekszik. Nagysága és iránya éppen olyan, ami biztosítani képes a két felület egymáshoz tapadását.



- Keresd 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 felületpár 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. Azonban ha 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, hogy az egymáshoz igen közeli elektronfelhők játékaiként 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 előlelettől, de ezt úgy értjük, hogy ezek hatása annyira kicsi, hogy a számításainkban elhanyagolhatjuk. 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.

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 egymáshoz képest elcsúszó felületek 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 viszonylag könnyen el tudunk tolni, azonban befékezett kerekek esetén még sok ember sem tudja megmozdítani a járműveket. A kerekek a talajon gördülnek, csúszási súrlódás a kocsí 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

MÉRD MEG!

Egy rugós erőmérő segítségével mérd meg egy fahasáb és az asztallap közötti tapadási és csúszási súrlódási együtthatót!

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



■ 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:
 $F_{tap. max.} = \dots$

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

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

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: $F_s = \dots$

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

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

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

Érdeemes 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?

kedő között 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:

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

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?

- 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 korcso lyát élezzük, viasszal borítjuk be (vaxoljuk) a séléc futófelületét.
- Ejtőernyőzéskor a közeg-ellenállási erő egyensúlyt tart a nehézségi erővel. A közeg-ellenállási erőnek a repülőgépek és a madarak mozgása esetén is fontos a szerepe.
- Az új autókat olyan alakúra tervezik, hogy a rájuk ható közeg-ellenállási erő minél kisebb legyen. Az új formákat szélcsatornában tesztelik.

A közeg-ellenállási 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 **közeg-ellenállási 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 közeg-ellenállási erő a testnek a közeghez viszonyított sebességével ellentétes irányba mutat. Ha álló közegben mozog egy test, akkor a közeg-ellenállási erő ugyanúgy fékezi a test mozgását, ahogy a csúszási vagy a gördülési súrlódás.



■ Ezeknél a gyors járműveknél milyen módon csökkentették a közeg-ellenállási erőt?

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

$$F_{köz} \sim v^2$$

A közeg-ellenállási erő nagysága függ még a közeg sűrűségétől, a test alakjától és a mozgás irányába mutató homlokl felület nagyságától. 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 menetszéllel, akkor sokkal nagyobb erő hat rá, mint amikor elfektetjük a tenyerünket.

A vitorlás hajók esetén a vitorlákra a szél közeg-ellenállási 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 közeg-ellenállási erő. Egyenletes mozgás esetén a két erő egyenlő nagyságú és ellentétes irányú. Ilyenkor a levegő közegellenállása hajtja a hajót, a vízé pedig fékezi.



■ A szél „viszi” a vitorlást

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 közeg-ellenállási erő egyenesen arányos a sebesség négyzetével!



■ Az ejtőernyőzés élményét a legegyszerűbb tandemutasként kipróbálni

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

$$\text{András: } m_1 g = k \cdot v_1^2.$$

$$\text{Béla: } m_2 g = k \cdot v_2^2.$$

$$\text{Együtt: } (m_1 + m_2) g = k \cdot v_3^2.$$

Az arányossági tényező ugyanaz, mert egyforma ernyővel ugranak.

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

$$k \cdot v_1^2 + k \cdot v_2^2 = k \cdot v_3^2.$$

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

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

Hallottál róla?

Nagyon kis sebességek esetében (például, amikor a felkavart iszapos vízű Balatonban a homokszemcsék leülepednek) a közeg-ellenállási 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 közeg-ellenállási erő a sebesség magasabb hatványával (általában a köbével) arányos.

Hallottál róla?

A vitorlások közvetlenül széllel szemben nem tudnak haladni, azonban a széllel szemben lévő célt mégis el tudják érni. Ezt a technikát cirkálásnak vagy német eredetű szóval „krajcolás”-nak nevezik.

Ilyenkor cikcakkban negyedszéllel vitorláznak, vagyis időnként fordulással csapást váltanak. A modern vitorlás hajók legfeljebb 30°-ig képesek szél ellen haladni, így ha a cél felől fúj a szél, az közvetlenül nem érhető el, csak cirkálással, mégpedig jobbra-balra, fűrészfog-szerű irányváltoztatásokkal.



■ Cirkálás erős szélben

NE FELEDD!

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

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

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 közeg-ellenállási erő iránya ellentétes a test közeghez viszonyított sebességével, a nagysága gyorsan mozgó testeknél egyenesen arányos a sebesség négyzetével:

$$F_{\text{köz}} \sim v^2.$$

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 , mint a csúszási súrlódási erő.
 - A testek sokkal erővel mozgathatók el egymáson, ha közéjük görgőket teszünk.
 - Esős időben az út felületét borító vízréteg kerekek 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 mozgásához 36 N erő szükséges. Mekkora a tapadási és a csúszási súrlódási együttható értéke?
 - Miért szórnak télen a jeges járdára, útra homokot?
 - Az autóknak van nyári, illetve téli gumijuk. Járj utána, mi a különbség a két gumi anyaga és mintázata között! Melyik miért előnyös?
 - Gépek egymáshoz érintkező alkatrészeinél hogyan csökkenthető a súrlódás káros hatása?
 - Sorolj fel olyan jelenségeket, ahol kifejezetten hasznos a súrlódás, illetve a közegellenállás! Sorolj fel olyat is, ahol inkább a fenti hatások csökkentésére törekszünk!
 - Miért lehet egy nagyobb kerekű kerékpárral gyorsabban haladni?
 - Ejts le azonos magasságból egy ép és egy összegyűrt papírlapot! Írd le mindkét mozgást, és próbáld értelmezni is!
 - A felszerelésével együtt 80 kg-os ejtőernyős már egyenletesen ereszkedik. Mekkora a rá ható közeg-ellenállási erő nagysága és milyen az iránya?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

- 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-karbonát-porától a tenyered iszonyúan »csúszós« lesz. Csakhogy nem úgy, mint az izzadság, ami tapad és csúszik egyszerre, lenyúzza a bőrt. Csak az izmaidon múlik.”
Magyarázd meg a magnéziumpor hatását fizikai ismereteidre alapozva!
- 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 mozgás után? Mennyi utat tesz meg ezalatt?
- 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?
- Egymás mellől elejtünk egy kisebb és egy nagyobb üveg-golyót. Melyiknek lesz nagyobb az állandósult esési sebessége? Miért?
- 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 gumibroncs és az aszfalt közötti tapadási súrlódási együtthatót? Próbáld tájékozódni az internet segítségével!
- Alakítsunk ki minél lassabban, illetve minél gyorsabban eső struktúrát egy adott méretű papírlapból! Törekedjünk arra, hogy a papírlap függőleges egyenes mentén mozogjon!
- A ragadozó madarak gyakran úgy lesik a zsákmányt, hogy mozdulatlan szárnyakkal körbe-körbe siklanak. A talajtól mért magasságuk gyakorlatilag nem változik. Hogyan lehetséges ez?

10. | Vigyázz, kanyar!

A Forma-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 Forma-1-es pályák kanyarjaiban, amikor a versenyzők egyenletes körmozgást végeznek. Ilyenkor a sebesség nagysága állandó, de iránya folyamatosan változik, és a pálya kör.

Kerületi sebesség

Körmozgás esetén a test sebességét **kerületi sebességnek** nevezzük. Jele: v_{ker} .

Állandó nagyságú sebesség esetén: $v_{ker} = \frac{\text{befutott körív hossza}}{\text{eltelt idő}} = \frac{i}{t}$.

A körmozgást végző test sebességének nagysága lehet változó vagy állandó, azonban az irány pillanatról pillanatra folyamatosan változik. Ezért biztosak lehetünk abban, hogy időben változik a test sebességvektora, tehát **a körmozgást végző testnek van gyorsulása:**

$$\vec{\Delta v} \neq 0 \Rightarrow \frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t} \neq 0 \Rightarrow \vec{a} \neq 0.$$

Megmutatható, hogy az egyenletes körmozgást végző tömegpont gyorsulása a körpálya középpontja felé mutat, és ezért a neve **centripetális gyorsulás** (ugyanis a latin eredetű szó jelentése: centri = középpont, peta = tart valami felé). A nagyságát a következő módon számíthatjuk ki:

$$a_{cp} = \frac{v_{ker}^2}{R},$$

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!

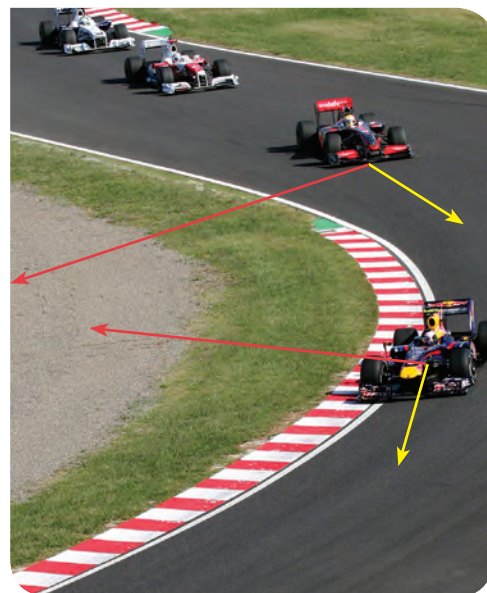
A **pályasugár** annak a körnek a sugara, amely mentén a körmozgás történik. Jele: R , mértékegysége méter (m).

A **periódusidő** vagy körülfordulási idő azt mutatja meg, hogy mennyi idő alatt tesz meg a test egy teljes kört. Jele: T , mértékegysége: másodperc (s).

A **fordulatszám** számértéke azt mutatja meg, hogy időegység alatt hány fordulatot tesz meg a test. Jele: f , mértékegysége $1/s$.

A periódusidő és a fordulatszám közötti kapcsolat: $T = \frac{1}{f}$.

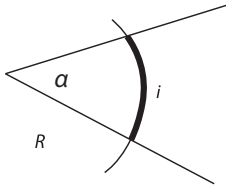
Amikor Dávid a parittyakövet forgatta, a parittyá zsinórával maga felé húzta a követ. Amikor a kalapácsvető forgatja a súlyt, még jobban látjuk, hogy nagy erővel húzza a golyót a pálya középpontja felé. Ha körhintán ülünk, akkor a ferdén álló lánc egyrészt felemel minket, másrészt el is forgat, húz a középpont felé. De mibe kapaszkodik a repülő, amikor kanyarodik? És mitől jár Földünk körül hónapról hónapra körbe-körbe a Hold?



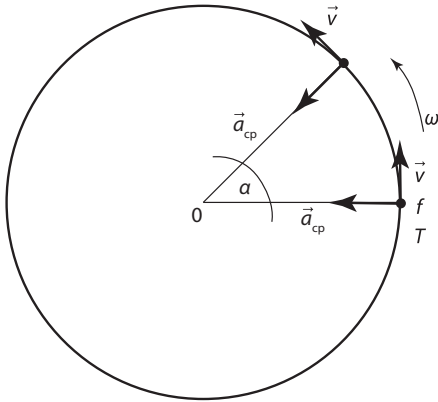
■ Járj utána, hány kanyar van a mogyoródi Forma-1-es pályán!

Hallottál róla?

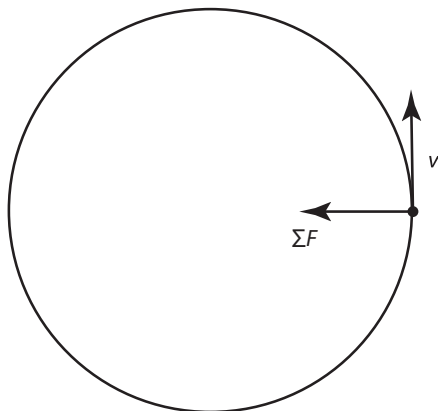
A gépkocsik műszerfalán gyakran leolvasható mondjuk a 3000-es fordulatszám. Mit jelent ez? Általában kis betűkkel még ezt a mértékegységet találjuk a fordulatszám méző műszeren: rpm, RPM, r/min vagy $r \cdot \text{min}^{-1}$. Ez a percenkénti fordulatszámot jelenti, hiszen az rpm a „revolutions per minute” angol kifejezés rövidítése.



■ 1 radián hány fok? 1 fok hány radián?



■ Az egyenletes körmozgás kinematikai jellemzői



■ Milyen mozgást végezne a test, ha a rá ható erők megszűnnének?

A tömegpont által a megfigyelés ideje alatt befutott körív (i) és a pályasugár (R) hányadosa adja az i körívhez tartozó középponti szöveget ívmértékben (radiánban), amit **szögelfordulásnak** nevezünk: $\alpha = \frac{i}{R}$.

A szögelfordulás mértékegysége: radián. 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).

A **szögsebesség** számértéke azt mutatja meg, hogy egységnyi idő alatt mekkora a test szögelfordulása. Jele: ω , mértékegysége 1/s.

Egyenletes körmozgás esetén a fenti definíciók alapján:

$$v_{\text{ker}} = \frac{2R\pi}{T} = 2R\pi f.$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f.$$

A fenti két sort összehasonlítva: $v_{\text{ker}} = \omega R$.

Ezek után a centripetális gyorsulás:

$$a_{\text{cp}} = \frac{v_{\text{ker}}^2}{R} = \omega^2 R = \omega \cdot v_{\text{ker}}.$$

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:

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}_{\text{cp}}.$$

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: Függőleges irányban nem gyorsul a test, ezért a függőleges irányú erők vektori összege nulla: $F_{\text{ny}} = mg$.

Vízszintes síkban egyenletes körmozgást végez a test. Ennek dinamikai feltétele:

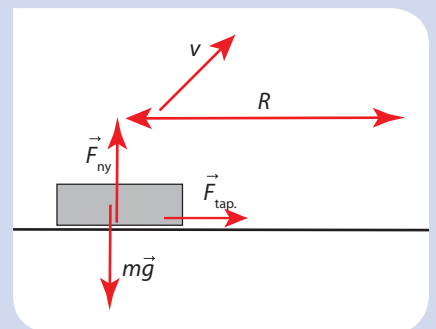
$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}_{\text{cp}}.$$

Vízszintes irányban az egyetlen erő a tapadási súrlódás, ez szolgáltatja az eredő

$$\text{erőt: } F_{\text{tap.}} = m \frac{v^2}{R}.$$

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

$$m \frac{v^2}{R} \leq \mu_0 mg \Rightarrow v \leq \sqrt{\mu_0 g R} = 31,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 113 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$



NE FELEDDI!

Az egyenletes 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 egyenletes körmozgás dinamikai feltétele: $\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}_{\text{cp}}$.

Tőled függ!

A legtöbb közlekedési baleset előzéskor, illetve kanyarban történik.

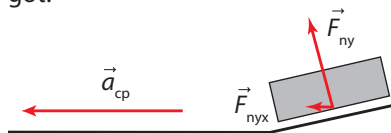
Nagyon fontos, hogy a kanyarba a megengedett vagy a közlekedési viszonyoknak megfelelő sebességgel érkezzen a járművünk.

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 egyenletes körmozgáshoz szükséges centripetális gyorsulást. (Természetesen ebbe a tapadási súrlódási erő is besegíthet.)

Autópályák erős 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 sínzál nyomóerőt fejt ki. Ez az erő biztosítja a kanyarodáshoz szükséges centripetális gyorsulást. A külső sínzál 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 Forma-1-es pilótának különösen a nyaka a versenyzés során?

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

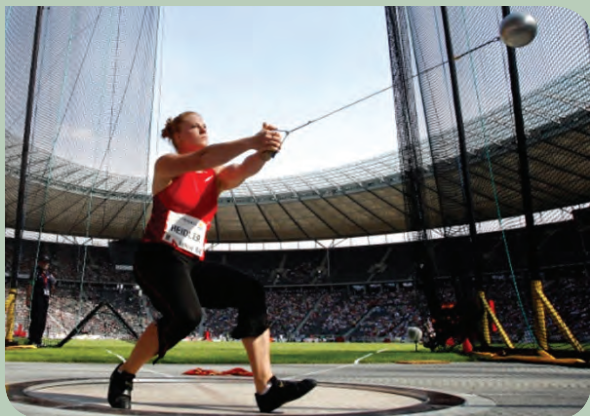
nagyobb, kisebb

- 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.
- Mekkora az Északi-sarkon, illetve az Egyenlítőn álló tárgyak kerületi sebessége? A Föld sugarát tekintsd 6370 km-nek.
 - Mekkora a nagy- és a kismutató szögsebességeinek aránya egy hagyományos „mutató” órában?
 - Egy traktor egyenletesen 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!
 - A vidámparkban az óriáskerék gondolája egyenletes 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 kerek

- alsó pontjának,
- tengelyének,
- 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 tanárainak 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 találkozására, még ha nem is olyan módon, ahogyan a tankönyvekből tanultam...

11. | Eső testek

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 súlyuktól függetlenül egyforma gyorsan esnek.



■ A legenda szerint Galilei a pisai ferde toronyból ejtett ki azonos méretű vas-, illetve fagolyót, és azok egyszerre értek a talajra. Ez így feltehetően nem igaz; az ejtési kísérleteket ugyan egy templomtoronyból végezték, de nem Galilei Pisában, hanem valószínűleg Simon Stevin a hollandiai Delft városában 1586-ban

Amióta sikerül egyre jobb vákuumot létrehozni, a kísérletek nagy pontossággal azt igazolják, hogy légüres térben minden test ugyanakkora gyorsulással esik. 1971-ben az Apolló-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 nagy fizikusokról gyakran keringenek ismert legendák a világban. Ilyen történet Newton és az alma, ami akkor is tanulságos, ha feltehetőleg nem is igaz. 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.



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

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?



■ 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.)

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.

Szabadesés

A testeknek azt a mozgását, amelyet csak a Föld vonzása okoz, **szabadesésnek** nevezzük. 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 súlyukhoz képest kicsik. 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

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

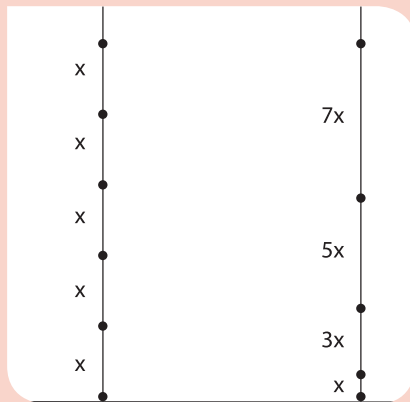
görbült pályán. Ha az elhajított testekre a levegő nem hat számottevő erővel, akkor bármilyen is az elhajított testek pályája, mozgásuk közben **minden pillanatban ugyanakkora a gyorsulásuk**, ami éppen **g** , a nehézségi gyorsulás.

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.

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!

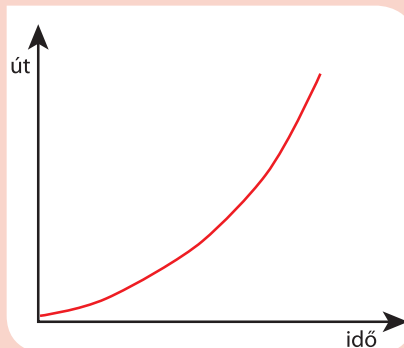
Az első esetben (a szomszédos golyók távolsága azonos): azt tapasztaljuk, hogy a koppanások egyre szaporábban követik egymást. Ennek az a magyarázata, hogy a szabadon eső test sebessége folyamatosan nő.

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 vizsgálatakor találoztunk a négyzetes úttörvényre.

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 $s \sim t^2$

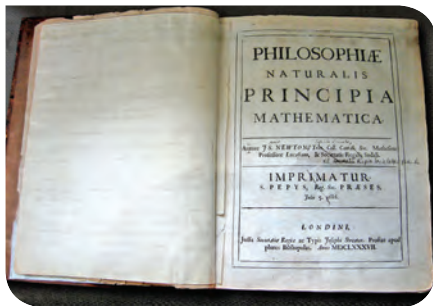
FIGYELD MEG!

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) $h = \frac{g}{2} t^2$
0,11	
0,13	
0,15	
0,17	
0,19	
0,20	
0,21	
0,22	
0,23	
0,24	
0,25	
0,26	
0,27	
0,28	

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 pálca alsó végénél helyezi el, és amikor észleli, hogy az eszközt elejtettük, neki meg kell fognia. Ahol megragadta a pálcát, ott olvashatjuk le a reakcióidejét.



■ Newton saját példánya a *Principiából*

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.

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 ezre-

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 ezreléssel kisebb a nehézségi gyorsulás, mint a földfelszínen. 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.

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:

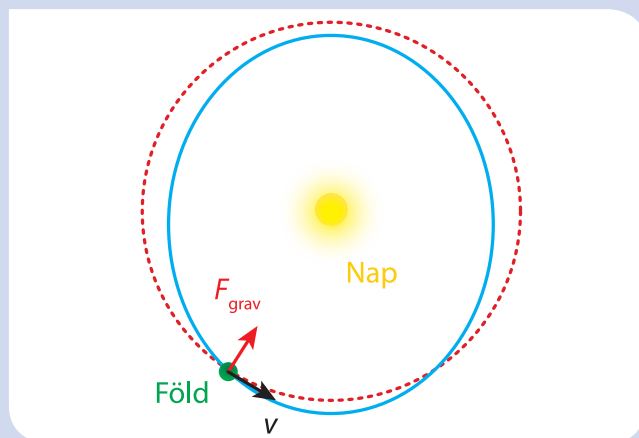
$$M = \frac{gR^2}{f} = \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (6,37 \cdot 10^6 \text{ m})^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg} \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}.$$

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

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Számoljuk ki a Nap tömegét!

Megoldás: Tudjuk, hogy a Föld a Nap körül kering. A tájékozottabbak azt is tudják, hogy a Föld ellipszispályán mozog, de ez az ellipszis csak igen kis mértékben lapult. A legkisebb Föld–Nap-távolság 147,1 millió km, a legnagyobb 152,1 millió km. A Föld mozgását közelíthetjük egy Nap körüli, $R = 150$ millió km sugarú egyenletes körmozgással.



■ A Föld ellipszispályán kering a Nap körül, azonban ellipszispályája igen csekély mértékben lapult (az ábra szándékosan túlzó), ezért jó közelítésként körnek tekinthető

Az egyenletes körmozgás oka az M tömegű Nap és az m tömegű Föld között ható vonzó gravitációs erő:

$$\Sigma F = F_{gr} = m \cdot a_{cp}$$

Használjuk fel a centripetális gyorsulásra vonatkozó összefüggést:

$$F_{gr} = m\omega^2 R.$$

$$f \frac{Mm}{R^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 R.$$

$$f \frac{M}{R^3} = \frac{4\pi^2}{T^2}.$$

$$M = \frac{4\pi^2 R^3}{f T^2}.$$

Minden adatot ismerünk.

A körpálya sugara $R = 1,5 \cdot 10^{11}$ m, a Föld keringési ideje $T = 1$ év $= 365,24 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$ s $\approx 3,16 \cdot 10^7$ s. Helyettesítsünk be:

$$M \approx \frac{4\pi^2 (1,5 \cdot 10^{11} \text{ m})^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot (3,16 \cdot 10^7 \text{ s})^2} \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}.$$

A Nap tömege kb. $2 \cdot 10^{30}$, egyharmad-milliószorosa a Föld tömegének.

lékes eltérést eredményez a nehézségi erő és a gravitációs erő között. Ezért jó közelítéssel a két erőt azonosnak tekinthetjük, vagyis felírhatjuk a következő összefüggéseket:

$$F_{gr} = mg.$$

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

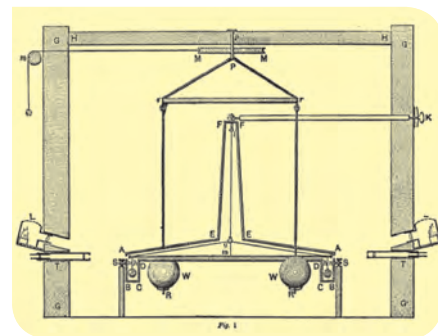
ahol M a Föld tömege, R pedig a sugara.

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.

Mi a vízszintes és mi a függőleges?

A nehézségi gyorsulás vektormennyiség, iránya éppen a függőleges irányt adja meg. Ezen a tényen alapul a függőőn, ami egy vékony fonálból és a végén egy kis nehezekből áll. Nyugalmi helyzetben a nehezekekre a nehézségi erő és a fonálerő hat, ezek eredője nulla. A fonálerő csak fonál irányú lehet, tehát a függőőn fonala kijelöli a függőleges irányt.

A vízszintes sík a függőleges egyenesre merőleges síkot jelenti. Ha egy nagyobb edénybe vizet töltünk, akkor a nyugalomban, egyensúlyban lévő vízfelszín megegyezik a vízszintes síkkal. Nagyobb tavak esetén már számottevő a földfelszín görbülete, ezért a vízszintes felszín nagy léptékeket tekintve követi a Föld görbületét. Azt mondhatjuk, hogy a vízszintes valóban a nyugvó víz szintje.



■ Az inga vázлата Cavendish könyvéből



■ Függőőn. Építkezések esetén hogyan használják a függőőnt?



■ Marsha Ivins űrhajós súlytalan hajkoronája

Súlytalanság

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 súlytalaná az esés közben, hanem az elhajított testek is, sőt azok is, melyek körbeesik a Földet, vagyis a kikapcsolt hajtóművű űrrakéták, mesterséges holdak is súlytalanok. 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.



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

Hallottál róla?

A súlytalanság vizsgálatához egy kabinra (vagy mérőkapszulára) 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 szokatlan, meghökkentő, mert természetes tapasztalatainkkal ellentétes. Inerciarendszerekből 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 szabad-esés. Japánban 4,5 s-os esési idejű ejtőtornyok épültek, a Brémai Egyetem ejtőtornyában kezdetben 4,74 s volt az esési idő,



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

majd a berendezést átalakították, beszereltek egy katapultot, ami ugyan lerövidítette a cső hosszát 13 méterrel, azonban a katapulttal fellövik a mérőkapszulát, így megkészszerzik a szabadesési időt, vagyis összesen 9 másodpercig tart a súlytalanság. Ezekon kívül még más országokban is van ejtőtornyok, 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

Hogyan volt régen?

A Galilei-féle ejtőzsinóron elhelyezett golyók távolságai a talajtól mérve: 1, 3, 5, ... egység. A padlóra eső golyók koppanásai egyenletesen követik egymást. Megállapíthatjuk, hogy a **szabadon eső** (egyenletesen változó mozgást végző) **tömegpont által egymást követő, egységnyi időköz alatt megtett utak aránya a páratlan számok arányával egyezik** meg.

$$s_1 : s_2 : s_3 : \dots : s_{2n-1} = 1 : 3 : 5 : \dots : (2n-1)$$

Adjuk össze a szabadon eső test által időegységenként megtett utakat!

A páratlan számok összege 1-től kezdve mindig négyzetszám:

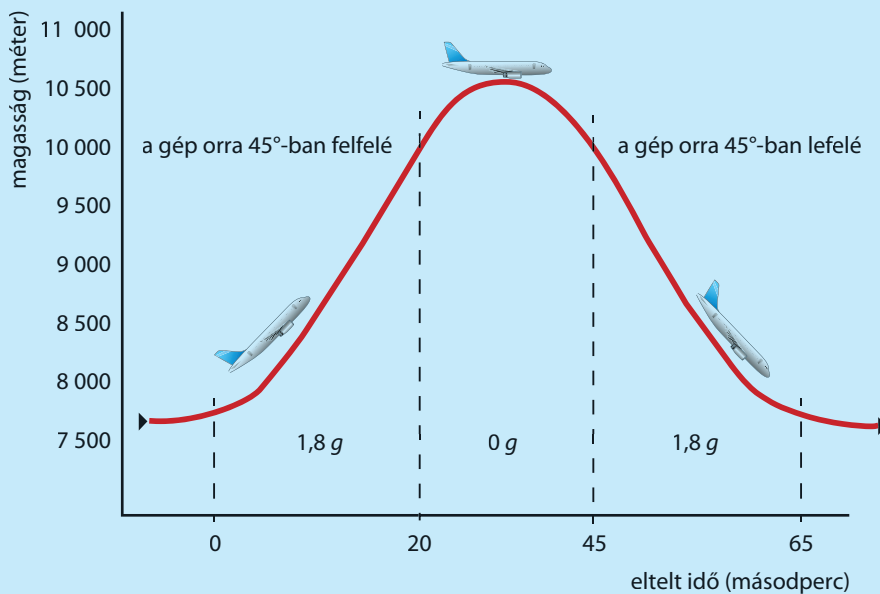
$$1 + 3 + 5 + 7 + \dots + (2n-1) = n^2.$$

A négyzetes úttörvény pontos kiméréséhez Galilei azt vizsgálta, hogy a lej-

tőn legördülő golyó egyenlő időkhöz tartozó útjai hogyan aránylanak egymáshoz. E célból a legördülő golyók útjába lanthúrokat feszített ki, melyeket az gyengéden megpendített. A kiváló zenei hallású Galilei nagy pontossággal tudta beállítani a húrokat úgy, hogy azok egyenlő időközönként pendüljenek. A húrok távolságát lemérve, a négyzetes úttörvényt tapasztalta.

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 .



■ Ilyen pályán repülnek a súlytalanságot létrehozó repülők

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 Apolló-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 négyórányi 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.

A súlytalanság leghosszabban a Föld körül keringő mesterséges holdakban, űrhajókban, a Nemzetközi Űrállomás belsejében jön létre. Legtöbbszörben láttunk már erről felvételeket, megcsodálhattuk a furcsa jelenségeket. Ezek közül kettőt 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!

NE FELEDD!

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

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

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

A Föld felszínén a nehézségi gyorsulás értéke a gravitációs állandón kívül lényegesen mértékben csak a Föld tömegétől és sugarától függ.

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:

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

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. 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!
3. 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 vákuumosztott ejtőcsövében?
4. Vázlatosan rajzold meg a magasugró sportoló gyorsulás-idő grafikonját! Hogyan módosulna ez a grafikon, ha az ugrás a Holdon történt volna?
5. A Föld kb. 81-szer nagyobb tömegű, mint a Hold. Melyik vonzza a másikat nagyobb erővel?
6. 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 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. Mekkora a nehézségi gyorsulás a Föld felszíne felett földugáryi 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. A NASA ohiói ejtőcsőében 5,17 másodpercig szabadon esnek a mérőkapuszulák, majd 65 g-vel lassulnak a fékező közegben.
 - a) Mekkora a mérőkapszula legnagyobb sebessége?
 - b) Mennyi a lassulási idő?

12. | 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:

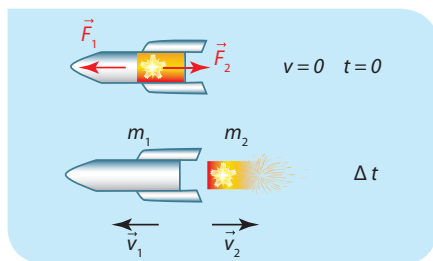
Az m_1 tömegű rakéta és az m_2 tömegű üzemanyag kezdetben áll. A kölcsönhatásuk következtében a rakéta \vec{v}_1 sebességgel elindul előre, az üzemanyag \vec{v}_2 sebességgel hátra.

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 hátraleki az üzemanyagot**, akkor **az üzemanyag előrehajtja a rakétát**.

A hajtómű és az üzemanyag közötti kölcsönhatás alapján az üzemanyagra ható, hátrafelé mutató erő nagysága megegyezik a rakétahajtóműre ható, előre felé mutató erő nagyságával.



- 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-veszte-

KÍSÉRLETEZZ!



- Léggömbbel hajtott játék rakéta

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

Komolyabb rakétát készíthetsz magad is! A rakétatestet felfüggeszthetjük egy hosszabb horgászszinorra két szemes csavar segítségével. A hajtómű szerepét egy patron valósítja meg, melyet a rakéta belsejében rögzítettünk úgy, hogy az elvékonyodó vége kilógjon a testből. Egyik kezünkkel a rakétát megmarkoljuk, és a másikban lévő hegyes árral a patron leforrasztott végét kilyukasztjuk. A sikeres lyukasztás után a rakétát elengedjük, és már száguld is. **A kísérlet nagyon balesetveszélyes, gondatlanságunk súlyos baleset okozója lehet, ezért ezt a kísérletet csak tanári jelenlét esetén hajtsd végre!**

Az Apollo-program, melynek fő célja az ember Holdra juttatása volt, negyven-ötven évvel ezelőtt, 1961 és 1972 között zajlott, és közel húszmilliárd 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.

ség 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

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

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 **lendülettételnek** 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 egyrangú Newton második törvényével, a dinamika alaptörvényével.

SZÁMOLJUK KI!

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

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

$$\sum l_{ü.e.} = l_{ü.u.}$$

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

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

$$v_k = \frac{M}{M + m} v = \frac{60 \text{ kg}}{60 \text{ kg} + 40 \text{ kg}} \cdot 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

András a kocsival 1 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 $F\Delta t$ erőlkése mellé találhatóunk egy másik testre (a kölcsönhatási partnerre) ható $-F\Delta t$ erőlkést. Ezek az erőlkések meg tudják változtatni a rendszeren belüli egyes testek lendületét, azonban a teljes rendszer lendülete nem változik, mert az összes erőlkéspár kiejti 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 összege nulla. 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:

$$I_1 + I_2 = I_1' + I_2',$$

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.

Rakéták a múltban és manapság

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 holdraszálláshoz 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.

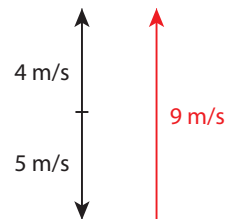
SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy nagyon pontos filmfelvétel képkockáit elemezve kiderült, hogy egy 5 kg tömegű gumilabda 5 m/s sebességgel ütközik a padlóra, 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!

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

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:

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

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.

Ez azt 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?

Az első rakétákat az ókori Kínában a már korábban is használt gyújtónyilakból fejlesztették ki. Egy korabeli kínai krónikás tuszajza örökítette meg a félelmetes fegyvert.

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:
 $\vec{l} = m\vec{v}$.

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: $\sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{l}}{\Delta t}$.

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 olyan 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

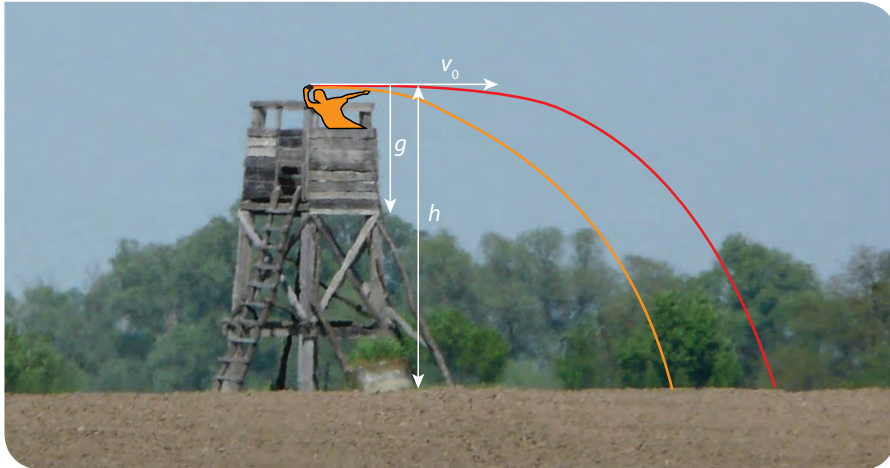
- Milyen állatok, járművek mozgását lehet a lendületmegmaradás törvényével magyarázni?
- Egy kezdetben 40 kg össztömegű, a kilövőállványon álló rakétából másodpercenként 25 dkg égéstermék áramlik ki a hajtóművéből 1500 m/s sebességgel.
 - Mekkora függőleges irányú tolóerőt fejt ki emiatt a kiáramló gáz a rakétatestre?
 - A hajtómű bekapcsolását követően mennyi idő múlva emelkedik meg a rakéta?
- Egy 7,5 kg tömegű puskával kilövünk egy 10 gramm tömegű löszert 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 rakétatechnikára?
- 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, tényleg nagy súlyú golyó van. Hogyan dobálja ki a gyerek 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 játékrakéta vízszintes kötélpályán függ, mozgását csak a sebesség négyzetével arányos közeg-ellenállási erő fékezi. Hajtóművét bekapcsolva a rakéta másodpercenként 6 gramm hajtóanyagot lövell ki önmagához képest 8 m/s sebességgel. A közeg-ellenállási erő nagysága 1 m/s sebességnél 0,008 N. Mekkora sebességet érhet el a rakéta?

13. | Műholdak

Milyen messze esik le a vízszintesen elhajított test?



■ Vízszintes hajítás a magasból

Mitől függ vajon, hogy a képen látható ember a vadászles h magasan lévő tejtéről milyen messze tud elhajítani egy kavicsot vízszintes kezdősebességgel? Ezt a mozgást nevezzük **vízszintes hajításnak**.

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:

$$t_{\text{esés}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

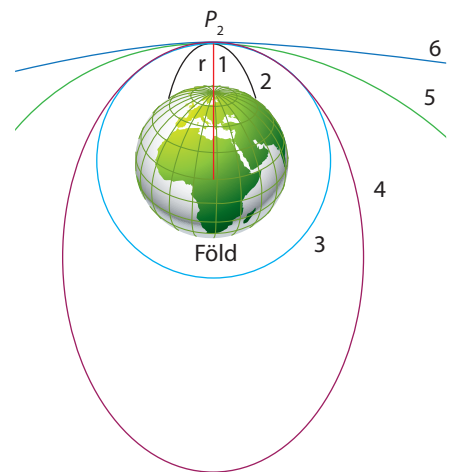
A vízszintes irányú sebesség-összetevő nem változik a hajítás során, ezért a vadászlestől való távolodást így számíthatjuk ki:

$$x = v_0 \cdot t_{\text{esés}} = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

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 elégett a Föld légkörében, így összesen 1061 napot töltött a Föld körül.



■ Vizsgáljuk meg, milyen pályán mozognak a földfelszín felett elhajított testek a hajítási sebesség függvényében:

- 1: $v = 0$, egyenes
- 2: $v < v_1$, ellipszis, a Föld középpontja a távolabbi fókuszpont
- 3: $v = v_1$, kör (speciális ellipszis)
- 4: $v_1 < v < v_{1r}$, ellipszis, a Föld középpontja a közelebbi fókuszpont
- 5: $v = v_{1r}$, parabola
- 6: $v > v_{1r}$, hiperbola

MŰHOLDAK KÖRÜLÖTTÜNK (Olvasmány)

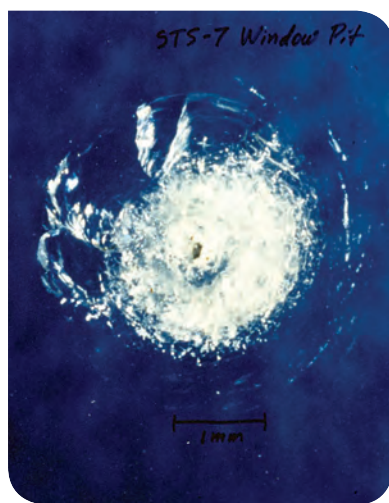
A II. világháborút követően a technika olyan nagymértékben fejlődött, hogy 200 km magassáig tudtak már hőmérsékletet és nyomást mérni rakéták segítségével. Az első eszköz (műhold), amit Föld körüli pályára állítottak, a Szputnyik-1 volt. A „szputnyik” szó jelentése útítárs, de talán helyesebb műholdnak 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 mást, 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 elindította 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 sugara mellett elhanyagolható.)

Az elhajtott kavics összetett mozgásának első másodpercét bontsuk két összetevőjére:

Először, mintha a g nehézségi gyorsulás nem hatna, a kavics a v_0 hajtás 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 veszünk figyelembe a hajtási 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 egymásutánjából tehető össze annak az elképzelt

kavicsnak a mozgása, amely a Földet megkerülve visszatér a hajtás kiindulási helyére.

A rajzon látható derékszögű háromszögre írjuk fel Pitagorasz-tételét:

$$(R + h)^2 = R^2 + x^2$$

$$x = \sqrt{(R + h)^2 - R^2} = \sqrt{2Rh + h^2} \approx \sqrt{2Rh} = \sqrt{2 \cdot 6,37 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot 4,9 \text{ m}} = 7900 \text{ m}.$$

$$v_0 = \frac{x}{t} = \frac{7900 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 7900 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

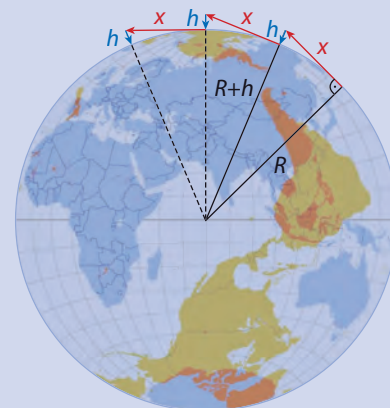
A legalább $7900 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7,9 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ vízszintes kezdősebességgel elhajtott kavics megkerüli a Földet.

Ezt a sebességet **első kozmikus sebesség**nek vagy körsebességnek nevezzük, amit így szoktunk jelölni: v_1 . Ezzel a sebességgel állítható földkörüli 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:

$$\Sigma F = ma_{\text{cp}}.$$



■ A Földet megkerülő kavics mozgása két egyenes szakasz egymás utáni ismétlődéséből rakható össze (a bejelölt szakaszok nem méretarányosak)

A centripetális gyorsulást biztosító erő gyakorlatilag az mg nehézségi erő (ami jó közelítéssel megegyezik a gravitációs erővel):

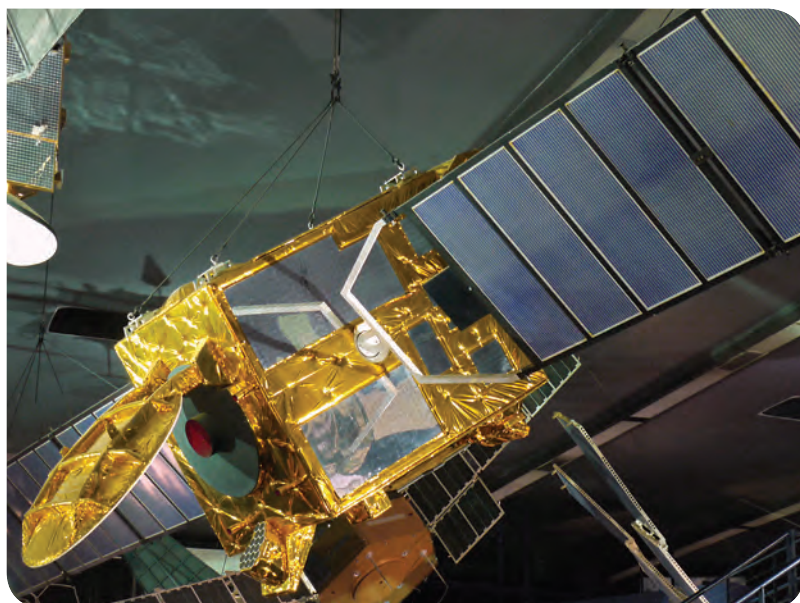
$$mg = m \frac{v^2}{R}, \quad f \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}.$$

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:

$$\Sigma F = ma_{cp}$$

$$f \frac{Mm}{(R+h)^2} = m\omega^2(R+h).$$

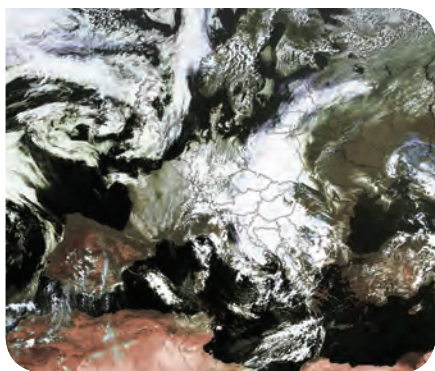
$$(R+h)^3 = \frac{fM}{\omega^2} = \frac{fM}{\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2} = \frac{T^2 fM}{4\pi^2}.$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{T^2 fM}{4\pi^2}} - R =$$

$$= \sqrt[3]{\frac{(24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s})^2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{4 \cdot \pi^2}} - 6,38 \cdot 10^6 \text{ m} \approx$$

$$\approx 3,58 \cdot 10^7 \text{ m} = 35\,800 \text{ km}.$$

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

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.

- kozmosz sebesség – a Föld felszínének, légkörének tartós elhagyása.
- kozmosz sebesség – a Naprendszer égitestei elérhetők.
- kozmosz sebesség – a Naprendszer elhagyása.

Mire jók a műholdak?

A Föld körül keringő műholdak sokasága segít minket a mindennapjainkban. Az 1960-as évektől terjedtek el a meteorológia 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 legismertebb 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 elhajítva, 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 sebesség**nek, amelynek a nagysága:

$$v_{III} = \sqrt{\frac{2fM}{R}},$$

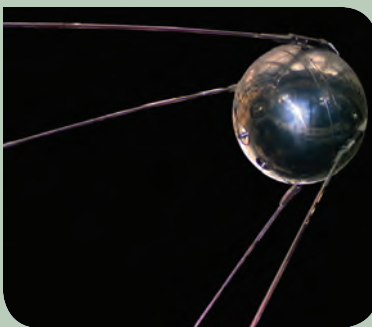
ahol most M a Nap tömegét, R a tömegközéppontjától mért távolságot jelöli. A Naptól a Föld távolságában levő pontban a harmadik kozmikus sebesség kb. 42 km/s. A Föld nagyjából 30 km/s sebességgel kering a Nap körül. Ezért a Földhöz képest „csak” 12 km/s előre mutató sebességet kell egy műholdnak adni, hogy örökre elhagyja a Naprendszert.

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 Merkúr, a tömege kb. 5700-szor nagyobb. Melyik bolygón nagyobb az első kozmikus sebesség? Hányszor nagyobb?
- Milyen a vízszintesen elhajított test pályájának alakja?
- A tengerszint felett magasabban keringő műhold kisebb sebességgel halad, mint az alacsonyabban keringő. Melyik műhold pályára állítása igényel több energiát? Miért?



Részleges holdfogyatkozás,

vagyis a Hold éppen a Föld árnyékkúpjában található. Ahhoz, hogy az árnyékban lévő rész is látszódjon, a képet túl kellett exponálni, ezért annyira fényes a megvilágított rész. Próbáljunk meg három kérdésre válaszolni: Miért íves a fényes és a sötét részt elválasztó vonal? Miért látszik úgy, mintha a megvilágított rész felett „légköre” lenne a Holdnak? Mitől kapja a sötét rész a vöröses fényét?



Könnyű kideríteni,

hogy milyen csillagképek rajzos ábrázolását látjuk ezen a csillagtérképen, ha rákeresünk az „Uránia tükre csillagászati atlasz” kifejezésre! De mielőtt ezt megtennénk, találgassunk!



Nem felhős

terület, hanem a Tejút az az embléma közepén átlósan húzódó fehér sáv, amit fényszennyezett területekről még tiszta égbolt esetén sem láthatunk. Mire lehet következtetni a képen látható sávból, ha már tudjuk, hogy ez a mi galaxisunk fénye?



MOZGÁSOK A NAPRENDSZERBEN



Földünk mely pontja

felett tartózkodott a műhold,
amikor ez a felvétel készült?

Próbáljunk meg minél
több földrajzi részletet felismerni
a képen!

14. | A Naprendszer modelljei

A bolygók meglehetősen bonyolult pályán mozognak a csillagháttérhez képest. Mivel a bolygók mozgásának az elmúlt évezredben az emberek különös jelentőséget tulajdonítottak saját sorsuk szempontjából, ezért központi kérdés volt a bolygók helyzetének előrejelzése. A valóságban a Naprendszer modelljének megalkotását nem csak a csillagászok (asztronómusok) tekintették feladatuknak, hanem a csillagjósok (asztrológusok) is.

Hogyan látjuk az égboltot?

Bár látszólag a Nap kel fel és nyugszik le, de tudjuk, hogy a Nap áll, csak a Föld tengely körüli forgása miatt tűnik úgy, mintha a Nap keringene az álló Föld körül. A bolygók a Nap körül keringenek, pályájukon a Nap gravitációs vonzása tartja őket.

Az égbolt megfigyelése során a következő alapvető tapasztalatokat szerezték az ókor tudósai:

- A Nap felkel és lenyugszik, vagyis egy nap alatt megkerüli a Földet. A napnyugták és napkelték helye és ideje folyamatosan változik az év során.
- Az éjszaka során a csillagok együtt mozognak az ég egy pontja (a Sarkcsillag) körül. Mindez olyan, mintha egy sötét kupola forogna fölöttünk, melyre világító lámpák (csillagok) vannak erősítve. Így az egymáshoz képest mozdulatlan csillagok csoportjait a könnyebb azonosíthatóság kedvéért csillagképekbe rendezték össze.
- Vannak olyan égitestek, melyek elmozdulnak ehhez az állandó csillagháttérhez képest, bolyonganak a csillagképek között. Ezeket nevezték bolygóknak.



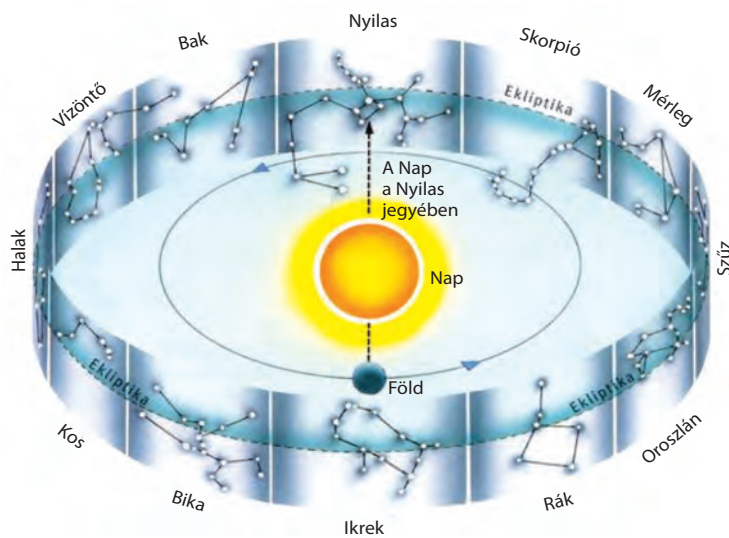
■ A Nagymedve csillagkép, melynek egy részét mi Göncölszekérnek hívjuk

Hallottál róla?

Az égen megfigyelhető csillagképek sosem azonosak azzal, amilyen csillagjegyet mutat a naptár. Az Ikrék csillagjegybe nyáron lehet beleszületni, miközben az Ikrék csillagkép télen látható.

A magyarázat az, hogy az Ikrék csillagjegyben születettek születésekor a Nap tartózkodott az Ikrék csillagképben, azaz az Ikrék csillagkép a Nap irányába esik, és így nyilván nem is látjuk a Nap fénye miatt. Az Ikrék csillagképet a Nyilas csillagjegyben születettek láthatják az égen születésnapjuk környékén éjszaka.

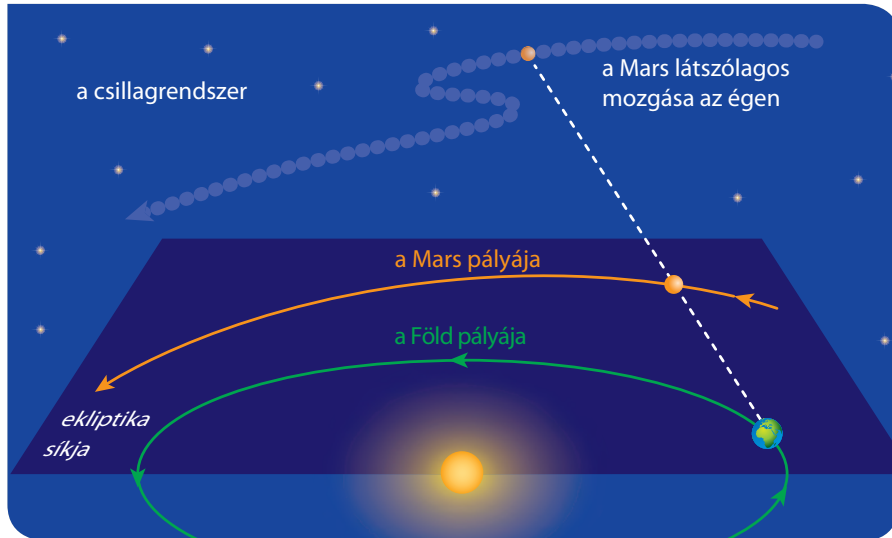
Az egyes csillagképek csillagai a legkülönbözőbb távolságra vannak tőlünk. Így csak a Földről nézve helyezkednek el egymáshoz képest úgy, ahogy leírjuk azokat.



■ A csillagjegyek elhelyezkedése az égen. A képen látható helyzethez képest mennyi idő múlva kerülünk az Ikrék jegyébe?

A bolygók mozgása a csillagháttérhez képest

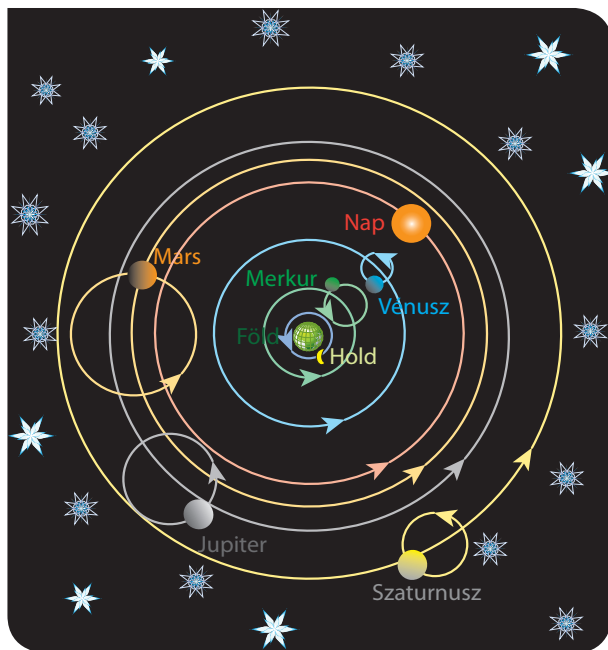
A bolygók a Földről nézve a csillagháttérhez képest nem egyenletes, egyirányú mozgást végeznek, hanem pályájukban hurkok jelentkeznek, azaz mozgásirányuk időnként megfordul. Ennek oka, hogy a Nap körül keringő Földről figyeljük meg a Földtől eltérő ütemben, de szintén a Nap körül keringő bolygókat.



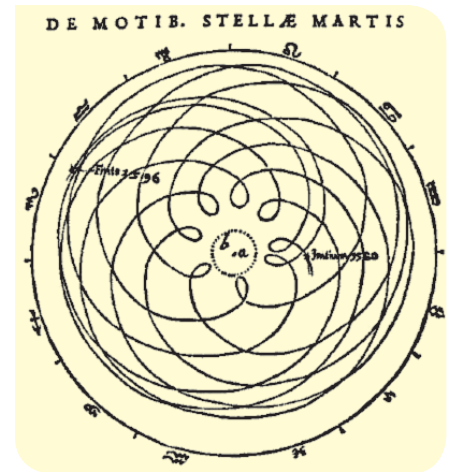
■ A Naprendszert leíró modelleknek ezt a sajátos mozgást is értelmeznie kellett

A Föld középpontú világbkép (geocentrikus modell)

Az arisztotelészi fizika egyik sarokköve a Föld középpontú világbkép. Ha közvetlen tapasztalatainkra támaszkodunk, könnyen érthető ennek a modellnek az elterjedése. Hiszen a Nap látszólag a Föld körül kering, az ég „kristálygömbje” egy Földhöz rögzített tengely körül forog, és a tárgyak mind a Föld felé esnek. A Föld középpontú világbkép szerint a világegyetem középpontjában a Föld van. A Föld körül kering a Nap és a bolygók. A bolygók hurokmozgását a Föld középpontú világbkép a következőképpen értelmezte: A bolygók olyan körpályán keringenek, melynek a középpontja végez körmozgást a Föld körül. A pályasugarak és a keringési idők megfelelő megválasztásával a mérési tapasztalatokkal közelítőleg egyező leírást kaptak.



■ A geocentrikus világbkép körei. Hogyan tudnak az égbolton a bolygók visszafelé haladni a geocentrikus modell alapján?



■ A Mars mozgása a geocentrikus világbkép alapján Kepler művében és a valóságban az égbolton. Hogyan készülhetett a hurkolt bolygómozgást mutató fénykép?

Töled függ!

Ma már nem tudjuk úgy élvezni az éjszakai égbolt látványát, mint évszázadokkal ezelőtt. Ugyanis egyre kiterjedtebb településeink közvilágítása elnyomja az égbolt természetes fényét. Ezt a jelenséget nevezik fényszennyezésnek. Minden év március utolsó szombatján, a Föld órája rendezvény keretében a Föld számos pontján 1 órára lekapcsolják a közvilágítást, hogy lássuk, milyen volt eleink éjszakája. Minél többen csatlakozunk az akcióhoz, annál szebb eget csodálhatunk meg. Más napokon pedig, ha szép csillagos eget szeretnél látni éjszaka, tiszta időben keress fényektől távoli helyet településed környékén. Hidd el, a látvány megéri!

Hogyan volt régen?

A középkorban az asztrológia (csillagokból való jóslás) és a csillagászat tudománya nem vált el élesen. A mind pontosabb Naprendszer-modellek célja a bolygók helyzetének előrejelzése volt, hiszen úgy vélték, hogy a bolygók helyzete befolyást gyakorol az emberek sorsára. A főkörökből és segédkörökből összerakott geocentrikus világképet újabb és újabb körökkel gyarapították, hogy a bolygók helyzetére vonatkozó jóslatok pontosabbá váljanak.



■ Ptolemaiosz (egy korai barokk művész ábrázolásában) és világképének vázlatja. Miért volt szükség a bolygópálya segédkörére, az úgynevezett epiciklusra?

Claudius Ptolemaiosz, aki 83–161 között élt, olyan bolygómodellt adott meg, melyben a bolygók főköreinek középpontja, (melyen a bolygókat is tartalmazó segédkörök középpontja futott), nem a Föld volt, hanem egy olyan pont, mely körül a Föld is keringett. Viszonylag egyszerű pályája a Földön kívül csak a Napnak volt. Ptolemaiosz elképzelése a XVI. századig tartotta magát, és bizonyult kellően pontosnak.

A Nap középpontú világkép (heliocentrikus modell)

Nikolausz Kopernikusz (1473–1543) lengyel kanonok nevéhez fűződik a Nap középpontú világkép kidolgozása. Ismét elővette az ókori görög filozófus, Arisztarkhosz régen elfeledett modelljét, és a világegyetem középpontjába a Napot helyezte. **A Nap középpontú világkép szerint a bolygók a Nap körül keringenek.** Az elmélet előnye egyszerűsége volt, hátránya, hogy mivel Kopernikusz körpályákat képzelt el, pontatlanabb volt, mint Ptolemaiosz modellje. Komoly nehézséget jelentett, hogy a Föld kikerült a világ középpontjából,

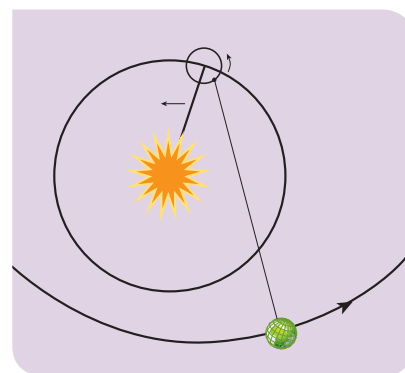


■ A heliocentrikus világkép, Kopernikusz korában a feltételezés teológiai (vallási alapú) ellenvetéseket váltott ki

Hallottál róla?

Kopernikusz a nagyobb pontosság érdekében maga is javított a modelljét, segédkörökkel egészítette ki, mely ettől mind bonyolultabbá vált, és eltűnt nagy előnye, ami ellensúlyozhatta volna pontatlanságát a modell egyszerűsége. Halálakor megjelent művében a Merkúr mozgásának pontos leírásához hét körre volt szüksége, a Vénuszéhoz ötre, a Föld mozgásához mindössze háromra. Egy Nap körül körpályán keringő pont volt annak a körnek a középpontja, melyen keringett a Földet tartalmazó kör középpontja. Ezeket a ptolemaioszi leírásból vett segédköröket epiciklusoknak, illetve többszörös epiciklusoknak nevezzük. Kopernikusz gondolatai azért terjedtek el igen lassan, mert munkája nehezen érthető volt. Még a betiltására is jó hetven évet kellett várni.

Az elkövetkező évszázadokban a tudós gondolkodók törekvése az volt, hogy ötvözzék az egyszerűséget a pontossággal, az új és gyorsan fejlődő tudomány friss szemléletét az egyház által megfogalmazott világnézeti elvárásokkal.



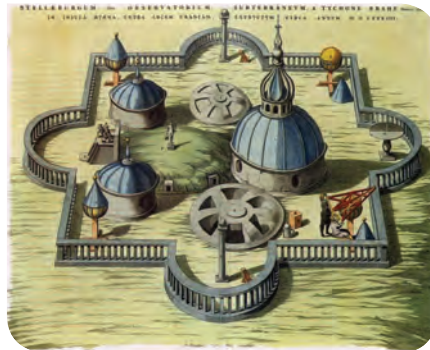
■ Kopernikusz Nap középpontú epiciklusai

2005-ben Fromborkban, abban a városban, ahol Kopernikusz elhunyt, a székesegyházban végzett ásatás során egy koponyára és néhány csontmaradványra bukkantak az antropológusok. A csontmaradványokból nyert DNS-t egy Kopernikusz által gyakran forgatott, 1518-as kiadású könyvben talált hajszál DNS-ével összevetve 2008-ra kiderült, hogy a koponya a nagy tudós földi maradványa. A koponya alapján rekonstruálták az idős Kopernikusz arcvonásait is. Keresd meg a képet az interneten (pl.: Copernic DNA)!

ami azt jelentette, hogy nem mi vagyunk a világ középpontja. Ez a tény nehezen feldolgozható a ma embere számára is. Kopernikusz korában a feltételezés teológiai (vallási alapú) ellenvetéseket váltott ki a nagy hatalmú egyház köreiben. Ennek tulajdonítható, hogy Kopernikusz elmélete csak 1543-ban jelent meg, néhány nappal halála előtt, így a kinyomtatott művet már nem olvashatta.

Egy Nap–Föld középpontú világkép – Tycho Brahe

Tycho Brahe dán csillagász 1546-ban született Dániában, és 1601-ben halt meg Csehországban. Túlságosan bonyolultnak érezte Kopernikusz modelljét, ugyanakkor elfogadta, hogy a bolygók a Nap körül keringenek. Meglátása szerint a bolygók ugyan a Nap körül keringenek, de a Nap a Föld körül. II. Frigyes dán király udvari csillagászként egy kis szigetet kapott csillagászati obszervatórium berendezésére. Az általa alapított Uranienborg a távcső feltalálása előtti időszak legnagyobb és legjobban felszerelt észlelőhelye volt. Tycho Brahe kiváló csillagász volt, komoly anyagi támogatás mellett, számos észlelő alkalmazásával gyűjtötte össze kora legpontosabb adatait a bolygók mozgásairól. Miután II. Frigyes meghalt, Tycho forrásai Uranienborg fenntartására elapadtak, és ő elfogadta II. Rudolf német-római császár és magyar király meghívását, egy Prága melletti kastélyba költözött, és ott hozott létre obszervatóriumot. Itt szegődött mellé Johannes Kepler, aki Tycho halála után a nagy csillagász féltve őrzött, évtizedekre visszanyúló megfigyelési adatait rendezte, majd ezekből a Naprendszer máig használatos modelljét alkotta meg.



■ Uranienborg

NE FELEDD!

A Nap, a csillagképek, a Hold és a bolygók látszólagos mozgását az éjszakai éggömbön sokféle modell alapján próbálták értelmezni az emberiség története során.

A középkor világképe szerint a bolygórendszer középpontjában a Föld van, és körülötte bonyolult körök fogaskerékrendszerének mozgásával lehet leírni a többi bolygó mozgását.

Kopernikusz Nap középpontú világképe egyszerűbb, de pontatlanabb megoldást javasolt a bolygók mozgásának leírására. A következő évszázadok megmutatták, hogy Kopernikusz Nap középpontú világképe a helyes.

Hallottál róla?

Tycho Brahe erőszakos, kötekedő ember volt. Orrának egy darabját egy párbajban elvesztette, ezért formára öntött borszinű, ezüst-arany-réz ötvözetből készült orrprotézist hordott. Halála körülményei máig tisztázatlanok. A prágai Tyn-templomban lévő maradványait 2010 végén exhumálták (kibontották a sírját, kivették földi maradványait, hajszálaiból, csontjaiból mintát vettek, majd öt nap múlva újratemették). Talán hamarosan kiderül, igaz-e, hogy higanymérgezésben halt meg, amit bajszának maradványait vizsgálva fogalmaztak meg 1901-ben. Vagy talán egyszerű vesekőproblémái miatt hunyt el? Megdölni látszik az a legenda, mely szerint halálát egy féktelen tivornya utáni húgyhólyagrepedés okozta, mert az udvari etikett nem engedte meg, hogy II. Rudolf előtt elhagyja a lakoma színterét.

NE HIBÁZZ!

A ptolemaioszi Föld középpontú bolygómodell pontosabban jóslta meg a bolygók jövőbeli helyzetét, mint a kopernikuszi Nap középpontú bolygómodell. Ezért volt kénytelen Kopernikusz továbbfejleszteni és közben „elbonyolítani” elképzelését. A tudománytól elvárjuk, hogy pontos jóslatokat adjon. Egy korszakalkotó új gondolat (a Nap középpontba helyezése) akkor érik igazán tudományos elméletté, ha a segítségével a korábbiaknál pontosabban tudjuk leírni a valóságot.



■ Tycho Brahe



■ Tycho rendszere

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Tájékozódj az interneten, mikor lehet megfigyelni a Marsot a tanév során!
2. Mihez képest, milyen értelemben bolyonganak a bolygók vagy bolyongók? Miért írnak le hurkokat a bolygók a csillagháttérhez képest a Földről nézve?
3. Mely égitestek nem írnak le hurkokat az égbolton a Földről nézve?
4. Miért mozdulnak el a csillagok az éjszaka során egy körív mentén a Sarkcsillaghoz képest?
5. Miért nem tudjuk megfigyelni a Jupiter elmozdulását a csillagokhoz képest egy éjszaka során?
6. Milyen csillagképek látszottak az égbolton születésedkor?
7. Milyen közvetlen tapasztalatok támasztották alá az arisztotelészi világmépet?
8. Keresd meg a Google-Föld program segítségével Uranienborgot, Tycho Brahe csillagvárosát és Fromborkot, ahol Kopernikusz sírja van!
9. Javasoljál csillagászati megfigyelésre alkalmas, fényszennyezésmentes területet lakóhelyed közelében!
10. Keresd az interneten Tycho Brahe és Kopernikusz munkáinak első kiadásairól készült képeket! Milyen nyelven íródtak ezek a munkák?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A csillagképek a múltban nem úgy néztek ki, ahogy ma látjuk azokat. Milyen okokra vezethető vissza a jelenség?
2. Hogyan magyarázta Ptolemaiosz Föld középpontú világmépe a bolygók látszólagos hurokmozgását? Hogyan oldja fel azt a problémát Kopernikusz modellje? Miért kellett Kopernikusznak „elbonyolítani” a modelljét?
3. A csillagkép a csillagok egy csoportjának látványa az égbolton. Ez a látvány azért különös, mert az idő különböző mélységeiből közvetít egyszerre információt. Mit jelenthet ez a mondat? Hogyan függ össze az állítás a fény véges sebességével?
4. Keresd meg az alábbi csillagképeket az égbolton: Cassiopeia, Nagy Göncöl, Orion, Lant, Ikrék. (A tájékozódásban segíthet például a Google-Sky vagy a Stellarium program.) A felsoroltak közül melyik inkább téli, és melyik inkább nyári csillagkép az északi félgömbön? Melyik figyelhető meg minden évszakban és miért?
5. Nézz utána, hogy születésed napján melyik csillagképben tartózkodott a Mars, a Jupiter, a Vénusz, a Nap!
6. Mi a magyarázata a Nap mozgásának az égbolton? Hogyan mozog az égen a Nap télen és nyáron?
7. Miért éppen az állatövi csillagképeket használták az asztrológusok? Miért nem született senki például a Cassiopeia csillagképben?
8. Tycho Brahe orvosa Jeszenszky János (Johannes Jesenius) volt, akit több nemzet tekint saját polgárának, akár magyarnak is tarthatjuk. Nézz utána kalandos életének, írd belőle rövid összefoglalót! Hol van Jeszenszky János sírja?
9. Gyűjts képeket az interneten azokról a műszerekről, melyeket Tycho Brahe használt Uranienborgban! Miért nem használtak távcsöveket? Hogyan figyelték meg a bolygókat, milyen adataikat rögzítették a bolygótáblázatokban?

15. | Kepler törvényei

Kepler első törvénye

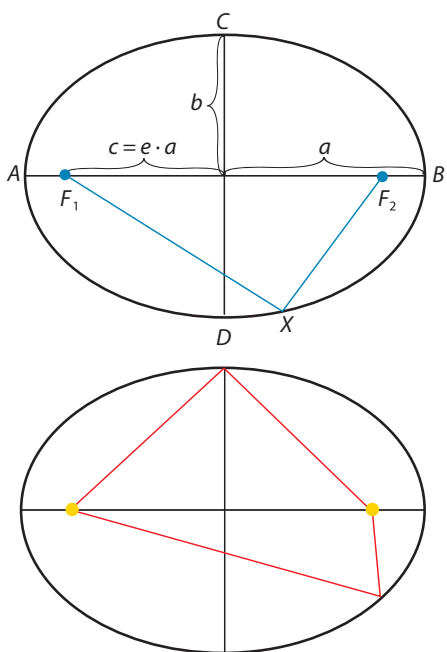
A Nap középpontú világtkép gondolata a lengyel Kopernikustól származott. Kopernikusz kör alakú bolygópályákat tételezett fel a Nap körül. Az így kialakított modell azonban olyan pontatlanul írta le a bolygók helyzetét a valósághoz képest, hogy a Nap körül szabályos körök mentén keringő bolygók modellje alapján a bolygók várható pozícióira pontos jóslásokat nem lehetett készíteni. Johannes Kepler a XVII. század első évtizedében hosszas szellemi vívódás után arra a következtetésre jutott, hogy a bolygópályák ellipszisek. Bár nemrégiben a földrajz foglalkozott a Kepler-törvényekkel, hasznos lesz ezeket fizikából is megtanulni. **Kepler első törvénye kimondja, hogy a bolygók ellipszispályán keringenek a Nap körül, a Nap az ellipszis egyik fókuszában helyezkedik el.**



■ Johannes Kepler (1571–1630)

A XVII. századig tartotta magát az elképzelés, hogy a bolygópályák csak körök lehetnek, vagyis a bolygók mozgását leíró modell legyen mégoly bonyolult, csak körök rendszeréből állhat. Az isteni szabályosság, tökéletesség megnyilvánulásáról a bolygók mozgásának leírásában Kepler is meg volt győződve, azonban Tycho Brahe megfigyeléseit elemezve rájött arra, hogy Isten a bolygók mozgásának titkát trükkösebben rejtette el az avatatlanok szeme elől. Kepler meglehetősen büszke volt arra, hogy az isteni trükköt neki sikerült kifürkésznie.

Az ellipszis tulajdonságai



■ Az ellipszis nevezetes pontjai és méretei (az alsó ábra azt szemlélteti, hogyan rajzolhatunk adott hosszúságú zsinórral ellipszist)

Az ellipszis azon pontok halmaza a síkban, melyek két ponttól (a fókuszpontoktól vagy más néven a gyújtópontoktól) vett távolságösszege állandó. Az ábrán látható az ellipszis nagytengelye ($2a$) és kistengelye ($2b$). A fókuszpontok és az ellipszis középpontjának távolságát c -vel jelöljük, $c = e \cdot a$, ahol e az ellipszis úgynevezett excentricitása, melynek értéke nulla és 1 közé esik. Ha $e = 0$, akkor kört kapunk, ami olyan speciális ellipszisnek tekinthető, melynek két fókusza egybeesik. Minél nagyobb e értéke, annál elnyújtottabb az ellipszis. Az ellipszis definíciója alapján látszik, hogy bármely tetszőleges X pontjára fennáll a következő összefüggés: $F_1X + XF_2 = 2a$.

Könnyen rajzolhatunk ellipszist két rajzszög, egy zsinór és egy ceruza segítségével. A rajzszögeket leszúrjuk a fókuszpontokba, a zsinórt lazán a rajzszögekhez csomózzuk. A ceruza hegyével megfeszítjük a zsinórt és úgy rajzolunk vele, hogy a háromszöget alkotó zsinór mindig feszes maradjon. Ekkor a két fókuszponttól húzható sugár összege (a zsinór hossza) állandó marad, így a rajzolt görbe valóban ellipszis lesz.

Hallottál róla?

Tycho Brahe évtizedekre visszamenő mérési eredményeit a halálos ágyán Keplerre hagyta, rábízta a bolygópályák titkainak megfejtését. A táblázatok lehetőséget adtak Keplernek arra, hogy saját észlelés nélkül elemezze a bolygópályákat. Ezek a számítások vezettek el a Kepler-törvényekig.

Az adatokat tartalmazó könyvet csak élete vége felé, 1627-ben jelentette meg Kepler *Rudolf-táblák* címmel, mert a művet II. Rudolf császárnak akarta ajánlani. A kiadás azért késett sokat, mert a könyv eladási hasznából Brahe utódai is részesülni akartak. A pereskedést hosszas csatározás után Kepler nyerte meg, azonban közben II. Rudolf meghalt. A császár halála miatt a könyvet végül is az új császárnak, II. Ferdinándnak dedikálta Kepler, azonban a mű címe *Rudolf-táblák* maradt. A kiadás jelentős anyagi sikert hozott Keplernek. A *Rudolf-táblák* azért kelt el nagy példányszámban, mert belőle csillagjósolás céljából nagy pontossággal előre is ki lehetett olvasni a csillagok és a bolygók állását.

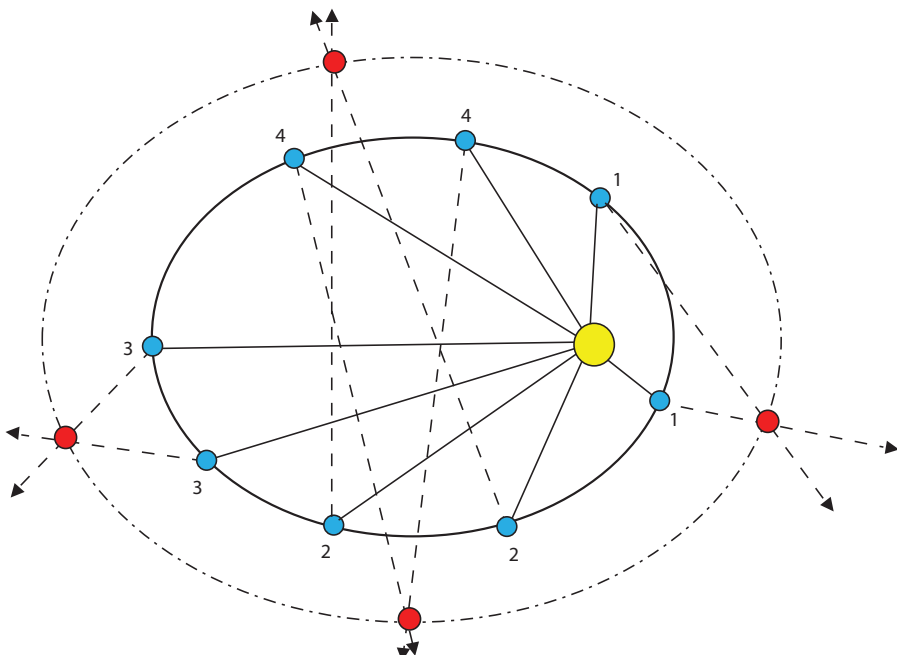
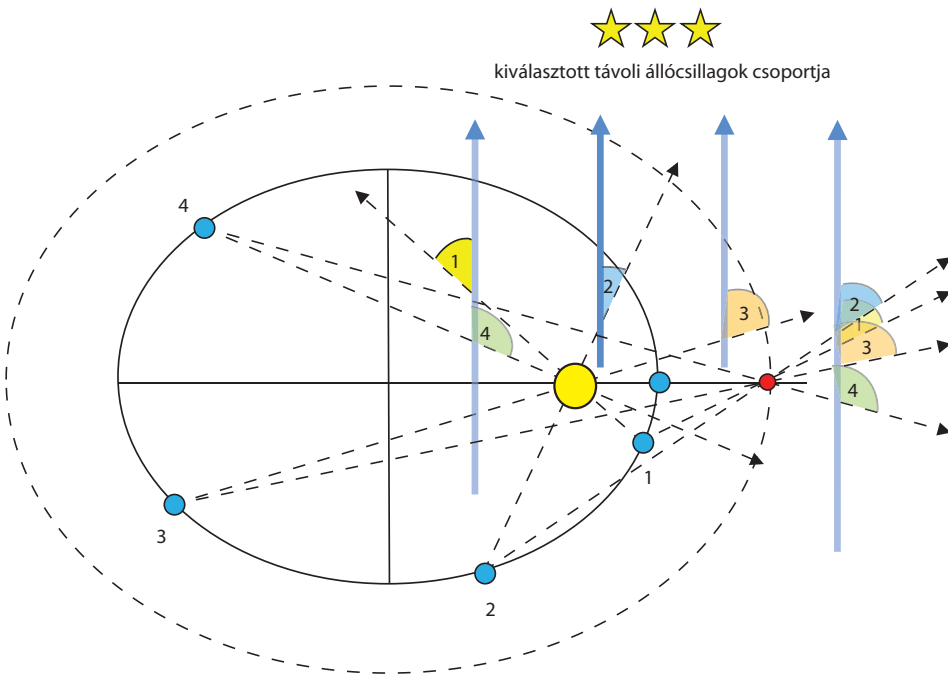


■ A Kepler által kiadott *Rudolf-táblák* első lapján négy nagy csillagász látható: Hipparkhosz, Ptolemaiosz, Kopernikusz és Tycho Brahe

Hogyan határozta meg Kepler a Föld pályáját?

Kepler egy olyan múltbéli együttállásból indult ki, amikor a Nap, a Föld és a Mars egy egyenes mentén helyezkedett el. Tudta, hogy a Mars keringési ideje 687 földi nap. Táblázatból kikereste, hogy 687 nap múlva a távoli állócsillagokhoz képest merre esik a Nap, illetve a Föld. A két irányból meghatározta a földpálya egy pontját, majd az eljárást többször megismételte. Számításai során a Tycho Brahe által összegyűjtött adatokat használta.

Az első ábrán az összetartozó számok jelentik az egyes szerkesztési lépéseket. A Mars pályáját nem ismerjük, azt szaggatottal jelöltük. A Föld pályáját



■ A két ábra a Föld és a Mars pályájának meghatározását szemlélteti

a szerkesztés rajzolja ki. A szerkesztés nem adta meg a bolygópályák abszolút méreteit, csak egymáshoz viszonyított arányát.

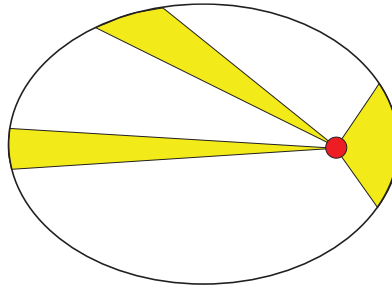
A Föld pályájának ismeretében megszerkeszthető a Mars pályája is (második ábra).

Kepler második törvénye

Kepler második törvénye kimondja, hogy a bolygót a Nappal összekötő egyenes (vezéregyenes) azonos idők alatt azonos területet sűrol (a területi sebesség állandó).

Ennek értelmében a bolygó napközelen nagyobb sebességgel, naptávolban kisebb sebességgel mozog. Ezt az állítást szemlélteti az ábra.

Ha például a bolygó napközelen, mondjuk, ötször közelebb van a Naphoz, mint naptávolban, akkor napközelen a bolygó ötször gyorsabban mozog, mint naptávolban. Kepler második törvénye, a többi Kepler-törvényhez hasonlóan nemcsak a bolygókra, hanem a Nap körül keringő többi égitestre, például az üstökösökre is igaz.



■ Kepler második törvényét szemléltető ábra

Kepler harmadik törvénye

Kepler harmadik törvénye a Nap körül keringő égitestek keringési idejét és távolságát hasonlítja össze. A törvény kimondja, hogy egy bolygó átlagosan minél messzebb van a Naptól, annál hosszabb a keringési ideje. Számszerűen ezt az összefüggést két bolygó összehasonlítva így írhatjuk fel:

$$\frac{R_1^3}{R_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2},$$

ahol R -rel a központi csillagtól vett átlagos távolságot, T -vel a keringési időt jelöltük. Ezt másképp úgy fogalmazhatjuk meg, hogy **a Naprendszerben a bolygók keringési ideje négyzetének és a Naptól mért átlagos távolság köbének hányadosa állandó.**

SZÁMOLD KI!

A Mars átlagos távolsága a Naptól kb. 230 millió kilométer. Hány földi év és a keringési ideje?

A Jupiter a Napot 11,86 földi év alatt kerüli meg. Mekkora az átlagos távolsága a Naptól?

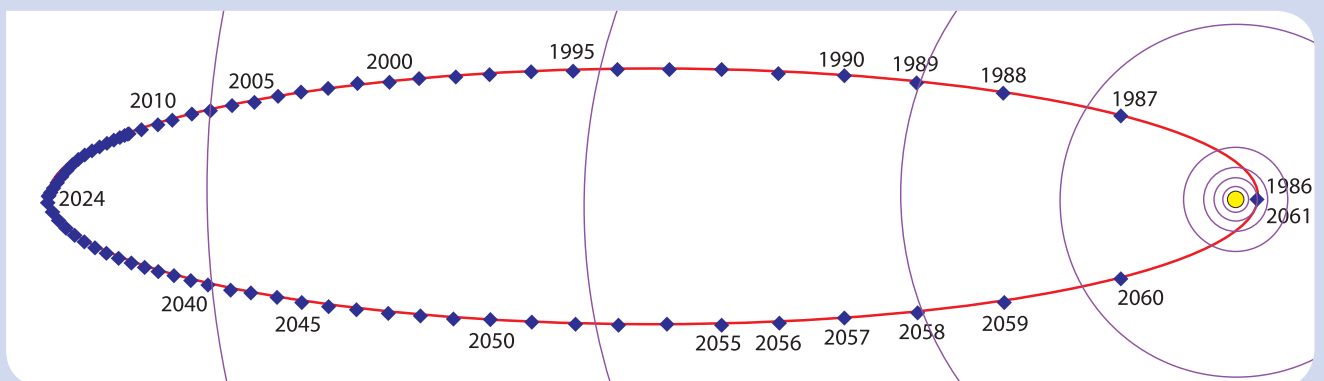
Hallottál róla?

A Kepler-törvények általunk tárgyalt változata nem veszi figyelembe, hogy a Napra is hat a bolygók gravitációja, így az nem lehetne nyugalomban. Mivel a Nap tömege sokkal nagyobb, mint a bolygóké, ez a közelítés megengedhető.

A Kepler-törvények nemcsak a Nap körül keringő égitestekre érvényesek, hanem általános érvényűek. Magyarozatuk Newton általános tömegvonzási törvényében rejlik. Mikor Kepler felismerte a bolygók mozgásának összefüggéseit, Newton még meg sem született. Newton az általános tömegvonzás törvényének felismeréséhez éppen Kepler törvényei vezették. Kepler számára nyilvánvaló volt, hogy a bolygók pályán tartásáért a Nap vonzása a felelős.

Elképzelése szerint a Nap és bolygók közötti mágneses vonzás adhatja azt az erőt, mely a bolygókat a Nap környezetében tartja.

SZÁMOLD KI!

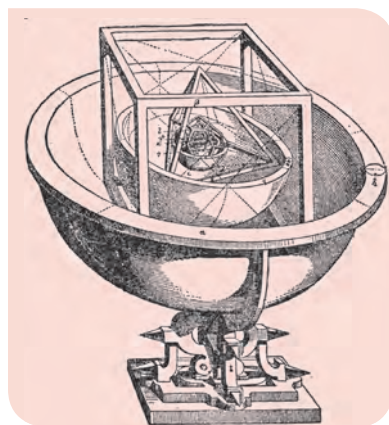


■ A Halley-üstökös pályáját bemutató ábra

Az ábra alapján határozd meg, hogy mekkora a Halley-üstökös keringési ideje! Mennyi idő alatt ér az üstökös pályája legtávolabbi pontjától Föld felé vezető útjának feléig?

Mit gondoltak régen?

Kepler sokáig nem gondolt arra, hogy a bolygók mozgására vonatkozó modelljét megfigyelésekre kell alapoznia. Úgy vélte ugyanis, hogy a bolygók mozgásában a világ harmóniája nyilvánul meg, és ezt csak elmélyült gondolkodással lehet felismerni. Első bolygómodelljében az égitestek Nap körüli pályáikat kristályszférákra rögzítve rötták. Kepler lekottázta a szférák zenéjét, és a szabályos testek segítségével meghatározta a szférák távolságát.



■ Kepler szférái

NE FELEDD!

A bolygók ellipszispályán keringenek a Nap körül. A Nap a pálya egyik fókuszában található. A bolygók nem egyenletesen mozognak, napközben nagyobb a sebességük, naptávolban pedig kisebb. A bolygók keringési idejét Naptól vett átlagos távolságuk határozza meg. Átlagosan minél messzebb kering egy bolygó a Naptól, annál hosszabb a keringési ideje. A Kepler-törvények nemcsak a Napra és bolygóira érvényesek, hanem általános érvényűek.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen a bolygópályák alakja?
2. Mikor nagyobb a Halley-üstökös sebessége, ha szabad szemmel látható, vagy amikor szabad szemmel nem látható?
3. Érvényesek-e egy Föld körül keringő műhold mozgására Kepler törvényei?
4. A Merkúrnak vagy a Vénusznak nagyobb a keringési ideje?
5. Rajzolj ellipszist cérna, zsinag segítségével, a tankönyvben magadott módon!
6. Milyen szempontból tekinthető különleges ellipszisnek a kör?
7. Hogyan érvényesül Kepler második törvénye egy körpályán keringő mesterséges holdra?
8. Mi lehet a tudománytörténeti magyarázata annak, hogy Kepler a szabályos testek által kijelölt bolygószférák gondolatától eljutott az ellipszis alakú bolygópályák gondolatáig?
9. Keresd meg az interneten, hogy mekkora a Hold átlagos távolsága a Föld középpontjától, s mekkora az átlagos keringési sebessége! Hány kilométerrel van közelebb a Hold a Földhöz, ha hozzá legközelebb tartózkodik, mint amikor a Hold és Föld távolsága maximális?
10. A napi sajtóban nagyjából 14 havonta szuperholdról beszélnek. Mikor van szuperhold?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mutasd be a Halley-üstökös mozgását leíró ábra alapján Kepler első és második törvényét!
2. Ahogy tankönyvünk 3. leckéjében olvashattuk, a Föld felszíne felett 20 200 km-es magasságban keringő műholdak keringési ideje 12 óra. Kepler harmadik törvénye segítségével számold ki, mennyi idő alatt kerüli meg a Földet a Hubble űrtávcső, ami 560 km magasan kering a Föld felett! Ne feledd, Kepler harmadik törvénye a keringési időre és a pálya sugarára vonatkozik!
3. Kepler harmadik törvénye alapján bizonyítsd be, hogy a Naptól távolabbi bolygók pályamenti sebessége kisebb, mint a Naphoz közelebbi bolygóké!
4. Fejezd ki az ellipszis kis- és nagytengelyének arányát az ellipszis excentricitása (e) segítségével! Használd az ellipszis definícióját, a tankönyv jelöléseit és a Pitagorasz-tételt.
5. Hogyan változik az ellipszis fókuszpontjainak távolsága (excentricitása), ha az ellipszis lapultabb?
6. Mit állíthatunk a kör mint ellipszis nagytengelyéről, kistengelyéről és excentricitásáról?
7. Egy testet a Föld felszínéről úgy lövünk fel függőlegesen, hogy a felszíntől 1 000 000 km-re emelkedik, majd visszaesik. Becsüld meg, mennyi ideig tartott az útja! Használd Kepler harmadik törvényét! A test pályáját tekintsd végtelenül lapult ellipszisnek, és használd a 20 200 km magasan keringő GPS-műholdak keringési adatait! A levegő ellenállásától és a Föld egyéb mozgásaitól tekintsünk el.

16. | A Föld, a Hold és a Nap mérése

Mit tudunk a Földről?

Földrajzból már megtanultuk, hogy a Föld a Naprendszer harmadik bolygója, a Naphoz kellően közel, hogy energiája táplálja a földi életet, de elég távol tőle, hogy csillagunk ne égessen fel minket. **Bolygónk közelítőleg 365,24 nap alatt tesz egy fordulatot a Nap körül.** Így egy év 365 napig tart, és az ennél kissé nagyobb keringési idő miatt négyévenként egy szökőévet iktatunk be, amely a 29 napos február révén 366 napos. A Föld forgási periódusa 1 nap, amit 24 órára bontunk. **1 nap idő telik el a Nap két egymást követő delelése között.** Deleléskor van a Nap legmagasabban az égbolton. A Föld tengelye ferde, és keringése során a tengely keringési síkkal bezárt szöge (23°) lényegében nem változik. (Egy év alatt észrevehetetlen a változás.) Ennek következtében a napsugarak félevenként hol az egyik, hol a másik félgömb felületét éri nagyobb szögben. Ez az eltérés, vagyis az egységnyi felületre jutó energia különbsége okozza az évszakok váltakozását.

A Föld a gravitációs vonzás következtében közelítőleg gömb alakú.

A gömb pontjait, a városok, hegyek, folyók helyzetét, a hosszúsági és szélességi körök rendszerének segítségével határozzuk meg. A leghosszabb szélességi kör az Egyenlítő, erre merőlegesek a hosszúsági körök. A hosszúsági és szélességi körök fokhálózatot adnak, és a helyeket a Föld gömbjén ezekkel a fokokkal határozhatjuk meg.

Honnan tudható, hogy a Föld gömbölyű?

Manapság már bárki körbeutazhatja a Földet vagy megtekintheti az űrből készült képét. A Föld alakjára legegyszerűbb közvetlen bizonyítékot a holdfogyatkozás adhat. Mivel a Föld árnyékának pereme a Holdon kör alakú, a Föld gömbölyű.

Mekkora a Föld kerülete?

A hellén Eratoszthenész a következő módszert alkalmazta a Kr. e. III. században a Föld sugarának megmérése:

A nyári napforduló idején (június 21.) a Ráktérítő közelében fekvő Asszuán városában a déli nap nem vet árnyékot, pont felülről süt, azaz a legmélyebb kút aljára is lehatol. Eratoszthenész megmérte ekkor Alexandriában egy pözna árnyékát, és ebből meghatározta a Nap beesésének szögét. Úgy találta, hogy ez $7,2^\circ$ -kal tér el a függőlegestől. Asszuán és Alexandria nagyjából azonos hosszúsági körön helyezkedik el, így távolságuk ismeretében a Föld kerülete meghatározhatóvá vált.

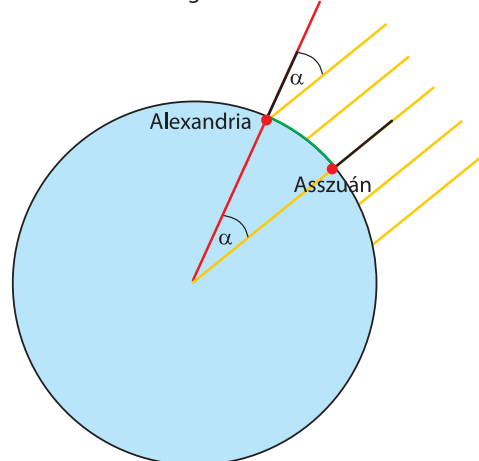
$$\frac{\text{A két város távolsága}}{\text{A Föld kerülete}} = \frac{\text{a mért } \alpha \text{ szög}}{360^\circ}$$

Eratoszthenész 5000 stadionnak becsülte a két város távolságát, így a Föld kerülete 250 000 stadionnak adódott. A mérés pontosságát erősen befolyásolja, hogy nehezen eldönthető, mekkora lehetett a stadion mértékegység. Ebben az időben többféle stadion egység is létezett. A 185 méteres olümpiai stadion

Évszázadok óta az emberiség alapvető törekvése, hogy megmérje bolygónkat, meghatározza a Nap és a Hold távolságát, ismerje a Föld és a Hold keringési idejét, forgási periódusát. A cél megvalósítása érdekében számos ötletes eljárás született.



■ Holdfogyatkozáskor a Föld árnyékának széle közelítőleg kör



■ Eratoszthenész Pentatlosz Föld-méremési módszerének elvi vázlata

KÍSÉRLETEZZ!

A Föld kerületét magad is meghatározhatod Eratoszthenész módszerével. Fizikatanárod vagy szüleid segítségével az interneten keresztül keress valakit, aki tőled eltérő szélességi körön él, és részt venne a mérésedben. Határozd meg egy atlasz vagy a Google Earth program segítségével a két szélességi kör távolságát egy tetszés szerinti hosszúsági kör mentén.

Mindketten mérjétek meg például egy 1 méteres rúd árnyékának hosszát, amikor a Nap legmagasabban jár, és számítsátok ki a napsugarak hajlásszögét! Ha azonos féltéken laktok, a Föld kerületét a következő eljárással kaphatjátok meg:

A két város szélességi köreinek távolsága úgy aránylik a Föld kerületéhez, mint a mért szögek különbsége a 360°-hoz.



■ Rajzos segítség a Föld méretének meghatározásához

hosszegységet használva 15%-kal túlmérte a Föld kerületét, de a 157 méteres egyiptomi stadion egységet alkalmazva majdnem pontos értéket (2%-kal kevesebbet) kapott.

SZÁMOLD KI!

Mekkorának adódik a Föld kerülete az olümpiai, illetve az egyiptomi stadion egységet használva?

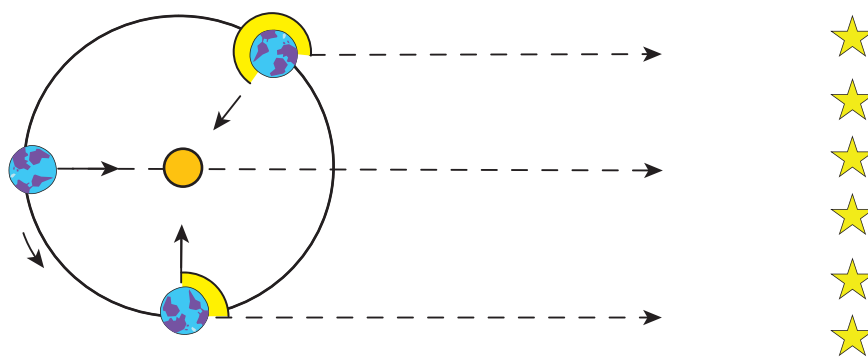
Mennyi idő alatt fordul meg a Föld a tengelye körül?

A Föld tengely körüli forgásának periódusideje már korántsem olyan egyszerűen meghatározható. Felmerül ugyanis a kérdés, mikor beszélhetünk egy tengely körüli teljes elfordulásról. A Nap két delelése közötti időt egy földi napnak, átlagosan 24 órának tekintjük. Csakhogy a delelő Napot a Föld pályájának kismértékben eltérő pontjából figyelhetjük meg két egymást követő napon.



24 óra alatt a Föld a távoli állócsillagokhoz képest egy kicsivel több mint egy fordulatot tesz meg, Nap körüli pályáján való előrehaladása miatt. Az ábra ezt az eltérést negyedévre és kb. 8 hónapra vetítve mutatja.

Az ábrából megállapítható, hogy a Föld tengely körüli forgásának periódusa a végtelen távoli állócsillagokhoz (állni látszó csillagokhoz) képest kevesebb mint 24 óra. A pontos érték 23 óra 56 perc 4,1 másodperc. Miközben a Föld a Naphoz képest 365,24 fordulatot tesz, addig a távoli állócsillagokhoz képest a fordulatok száma ennél eggyel több.



■ Kétféleképpen is értelmezhetjük a Föld egy teljes fordulatát (az állócsillagokhoz képest vagy a Nap deleléséhez képest)

SZÁMOLD KI!

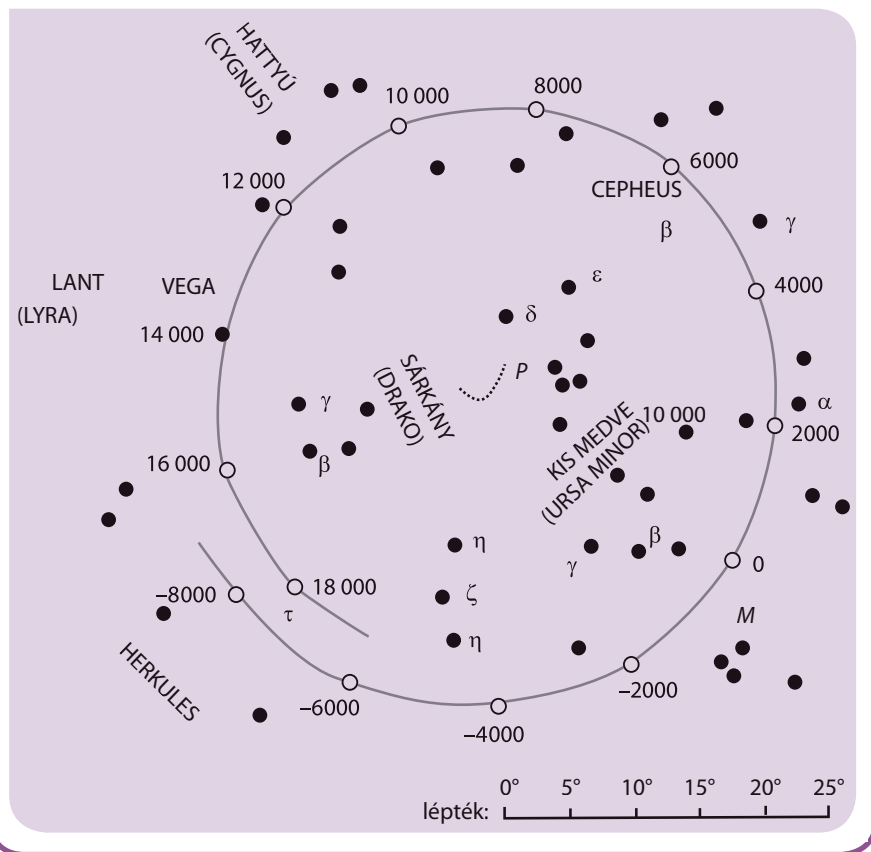
A Föld egyenlítője kb. 40 000 km. Mekkora egy egyenlítői pont sebessége a Föld tengelyéhez képest?

A Föld közel körpályán kering a Nap körül, melynek sugara kb. 150 millió kilométer (1 csillagászati egység = 1 CSE). Mekkora a Föld Nap körüli átlagsebessége?

Ezt úgy is megfogalmazhatjuk, hogy a Földnek az állócsillagokhoz képest naponta $360^\circ/365,24 \text{ nap} \approx 1^\circ$ -kal kell kevesebbet forognia a teljes fordulat megtételéhez. Tehát a Föld forgásideje az állócsillagokhoz képest: $(360/361) \cdot 24 \text{ óra} = 23,93 \text{ óra} \approx 23 \text{ óra } 56 \text{ perc}$.

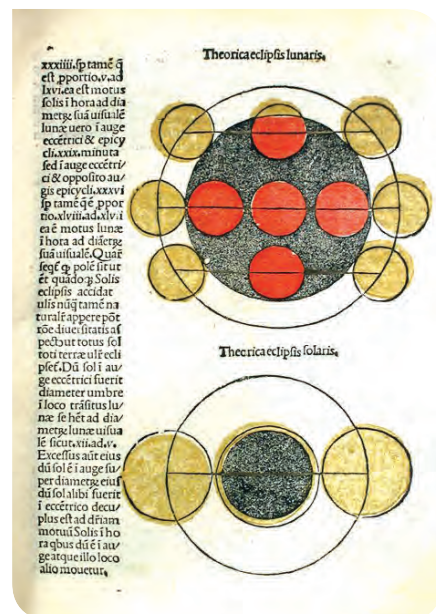
Hallottál róla?

A Föld tengelye jelenleg a Sarkcsillag irányába mutat. De ez nem volt mindig így, és nem is marad így örökre. A Föld tengelyének billegése (tudományos nevén precessziója) miatt a tengely iránya 26 000 éves periódusidővel változik. A rajz a tengely irányának változását mutatja Kr. e. 8000 és Kr. u. 18 000 között.

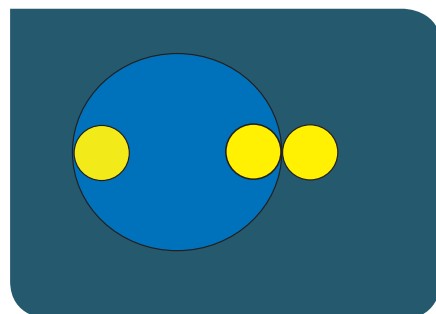


SZÁMOLD KI!

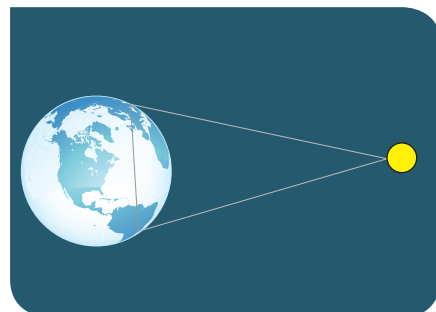
13000 év múlva a Föld tengelye nem a Sarkcsillag felé fog mutatni, hanem ettől 46°-ban (2·23°) eltérő irányba. Ha a naptárunk nem venné figyelembe a földtengely irányváltozását, milyen évszak lesz Magyarországon 13000 év múlva februárban? Válaszodat indokold!



■ Holdfogyatkozás Sacrobosco 1491-ben megjelent könyvéből



■ Holdfogyatkozás: a Hold „áthalad” a Föld árnyékkúpján



■ A Hold távolsága elvileg háromszögeléssel meghatározható

A Hold méretének meghatározása

Amikor a Hold a Föld árnyékának közepén halad át, akkor tart a holdfogyatkozás a leghosszabb ideig. Ilyenkor a teljes idő, attól kezdve, hogy a Hold eléri a Föld árnyékkúpját, addig, amíg a Holdat egészen eltakarja a Föld, körülbelül 50 perc. A Hold a földárnyék másik oldalára körülbelül 200 perc alatt ér. Így (amennyiben feltételezzük, hogy a Nap olyan messze van, hogy sugarai lényegében párhuzamosak) a Föld árnyéka négyszerese a Hold méretének ($200 : 50 = 4$), azaz a Föld sugara a Hold sugarának négyszerese. Ezt a számítást már Eratoszthenész is elvégezte, vagyis az ember már több mint 2200 éve tudja, hogy mekkora a Hold.

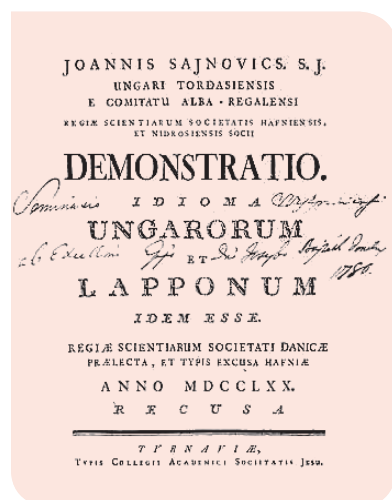
A Hold távolságának meghatározása

Az első méréseket a görögök végezték háromszögeléssel. Ennek lényege az volt, hogy a Hold távolságát abból a szögtérésből számították ki, melyből a Hold két egymástól ismert távolságra lévő földi pontból látszott. Pontos eredményt a Hold nagy távolsága és a mérési eszközök kezdetlegessége miatt nem kaptak.

Hogyan volt régen?

A Nap és a Föld távolságának pontos meghatározása érdekében a XVII–XVIII. században a Vénusz bolygó átvonulását figyelték meg a Nap előtt. Egy ilyen megfigyelő expedícióra indult a magyar Hell Miksa és Sajnovics János a jelenleg Norvégiában található Vardö szigetére. A Vénusz Nap előtti átvonulása 1769. június 3-án történt. A Vénusz átvonulásának idejéből és egyéb csillagászati mérésekből meghatározták a Nap–Föld-távolságot. A kapott eredmény 151,2 millió kilométernek adódott, ami csak kismértékben tér el a ma ismert átlagértéktől (149,6 millió kilométer), és az adott kor legpontosabb mérési eredménye volt. Az expedíció több mint két évet vett igénybe (1768. április 28–1770. augusztus 12.), és ezalatt volt lehetsége Sajnovics Jánosnak a környező lapp népek nyelvét tanulmányozni. Ennek eredményeként született meg a finnugor nyelvrokonság elméletét alátámasztó munkája, mellyel Sajnovics János megalapozta az összehasonlító nyelvészetet.

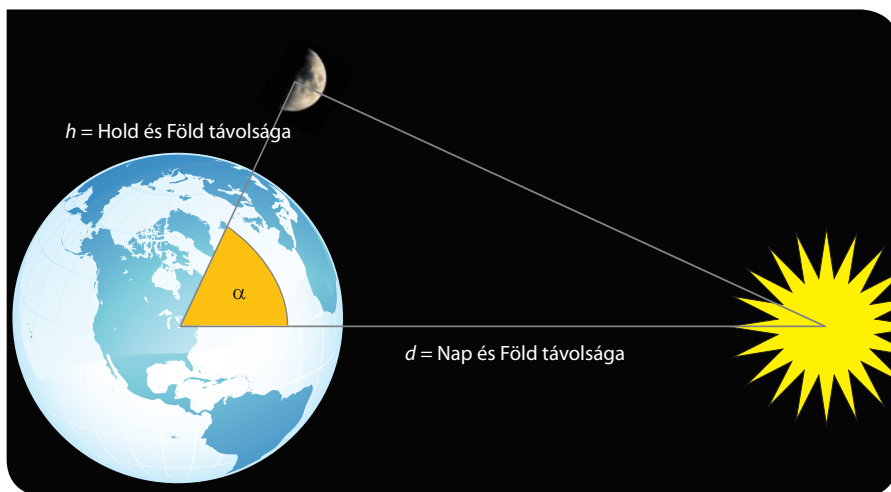
A két legutóbbi Vénusz-átvonulás 2004-ben és 2012-ben volt, a következő kettő viszont a nagyon távoli jövőben lesz, 2117-ben és 2125-ben.



■ Sajnovics János könyve a lappokról. Ez a mű alapozta meg a finnugor nyelvrokonság tényét

A Nap és a Hold távolságának aránya

A Nap–Föld-távolság, valamint a Föld–Hold-távolság arányát már az ókori görög filozófusok is ismerték. Arisztarkhosz (Kr. e. 320–250) helyesen ismerte fel a holdfázisok okát, és így az alábbi mérést tervezte meg:



■ Arisztarkhosz mérési elve

Arisztarkhosz a derékszögű háromszög α szögét 87° -nak mérte, s így a Nap–Föld-távolságot mindössze hússzor tartotta nagyobbak, mint a Föld–Hold-távolságot. A pontos szög $89,95^\circ$, és a távolságok aránya több mint négyszázszoros. A Nap–Föld-távolság közel 150 millió kilométer.

A Nap átmérője

Egyszerű szögméréssel, de akár a mégoly ritka teljes napfogyatkozás megfigyelésével is felismerhetjük, hogy a Nap és a Hold látszólagos átmérője a Földről nézve lényegében azonos. Ebből következik, hogy a Nap átmérője annyiszor nagyobb a Hold átmérőjénél, ahányszor messzebb van a Nap a Holdnál.

SZÁMOLD KI!

A leckében megismert adatok alapján határozd meg a Nap átmérőjét számítással!

Miért érezzük melegebbnek a Napot délben, mint délután?

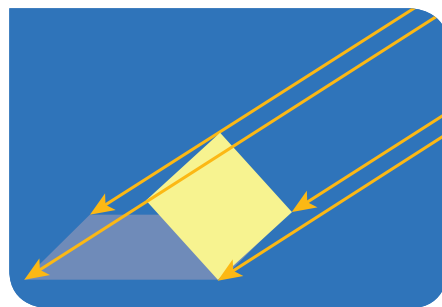
Ha a Nap laposabban süt, ugyanaz az energiamennyiség nagyobb felületen oszlik el. Ezt a legkönnyebben úgy értheted meg, ha megfigyeled a napsugarakra merőlegesen tartott papírlap árnyékát. Egy felületre sűrűlőva beeső napsugárzás alig ad át valamennyi energiát, viszont merőleges beeséskor maximális energiát kap a felület. Ezt a hatást csökkenti a légkör energiaelnyelése. Mivel délután a laposabban beeső sugarak vastagabb légrétegen haladnak át, még merőleges beesés esetén is kevésbé melegít a Nap délután, mint délben.

SZÁMOLD KI!

Mennyi idő alatt ér a fény a Napból a Földre, ha a fény sebessége $300\,000\text{ km/s}$?

Tőled függ!

A Nap megfigyelésekor nagyon kell vigyázni arra, hogy ne nézz közvetlenül a Napba. A napfogyatkozást NEM lehet kormozott üveggel megfigyelni, hanem megfelelő védőszemüvegre van szükség, amit távcsöboltokban lehet beszerezni. Egyébként az ember könnyen úgy járhat, mint Petőfi Sándor, aki 1842-ben, pápai diákként szabad szemmel figyelte meg a teljes napfogyatkozást, és majdnem szeme világának elvesztésével fizetett vigyázatlanságáért.



Adott felületen a napsugárzás által leadott energia nagysága függ a beesés szögétől

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Miből következtethetünk arra, hogy a Föld gömbölyű?
2. Milyen messze van Magyarország az Északi sarktól a Föld felszínén haladva?
3. Mekkora sebességgel mozog a Hold a Földhöz képest földkörüli keringése során?
4. Vajon milyen évszakban lehet éjféλι napot látni az északi sarkkörön túl?
5. Melyik városon halad keresztül a nulla hosszúsági kör?
6. Vardö szigete, a Hell-Sajnovics-expedíció színtere az északi szélesség 70°-a felett helyezkedik el. Miért ide mentek kutatóink megfigyelni az ekkor egyébként Európából megfigyelhetetlen jelenséget? Nézz utána, milyen napszakban lehetett a Vénusz átvonulás Vardö szigetén!
7. Keress az interneten szabálytalan alakú égitesteket! Mi lehet az oka szabálytalan alakjuknak?
8. A Mars két holdja a Phobos és a Deimos. Keresd meg a képüket az interneten, és helyezd el azokat méretarányosan Magyarország térképén!
9. Keresd meg Alexandriát és Asszuánt a Google-Earth program segítségével vagy más módon! Tényleg közel azonos hosszúsági körön fekszenek?
10. Lehet-e Magyarországon közvetlenül fejünk felett a Nap? Válaszodat indokold!

SZÁMOLD KI!

Mérés alapján becsüld meg, hogy körülbelül mekkora szögben kell sütnie a Napnak ahhoz, hogy fele akkora legyen a felületegységre jutó energiája, mint amikor közvetlenül a fejünk felett van! (A légkör energiaelnyelésétől tekintsünk el!)

Gondold meg!

Milyen kapcsolata van az előző mérésnek az évszakok váltakozásához?

A Mars tengelye ferde, akárcsak a Földé. Vajon vannak a Marson évszakok?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Nézz utána, mikor voltak és mikor lesznek Földről megfigyelhető Vénusz-átvonulások!
2. Mi a magyarázata annak, hogy a Föld keringési ideje egy távoli állócsillaghoz képest más, mint a Naphoz képest? Értelmezd a különbség mértékét! Mennyi idő alatt tesz meg a Föld 365,24 fordulatot a tengelye körül a távoli állócsillagokhoz képest?
3. A Merkúr Nap körüli keringési ideje 88 földi nap. A tengely körüli forgásának periódusideje a távoli állócsillagokhoz képest kb. 59 földi nap. Körülbelül hány merkúri nap lesz egy merkúri év?
4. A Föld egy év alatt nagyon sokszor megfordul a tengelye körül. A Merkúr sokkal ritkábban. Mi a következménye a hőmérsékletviszonyok, az időjárás szempontjából, ha egy bolygó éve kevés bolygónapból áll, azaz egy keringés ideje alatt kevés tengelykörüli forgás zajlik le?
5. Ha a Föld és a Vénusz pontosan ugyanabban a síkban keringene a Nap körül, milyen gyakran kerülne a Vénusz a Nap és a Föld közé? (A Vénusz keringési idejét az interneten megtalálhatod.)
6. Földtörténelmi korokkal ezelőtt a földi nap hossza rövidebb volt, mint ma. A Föld keringését az apály-dagály jelenséghez köthető belső súrlódás lassítja. Hány napig tartott egy év 400 millió évvel ezelőtt, amikor egy nap hossza 21,8 óra volt, feltételezve, hogy az év hossza nem változott? Hány óra volt ekkor a Föld tengely körüli forgásának periódusa a távoli állócsillagokhoz képest?

NE FELEDD!

A Föld közelítőleg négyszer akkora átmérőjű, mint a Hold.

A Nap közelítőleg 150 millió kilométerre van a Földtől.

A Föld-Hold-távolság ennek kb. 400-ad része.

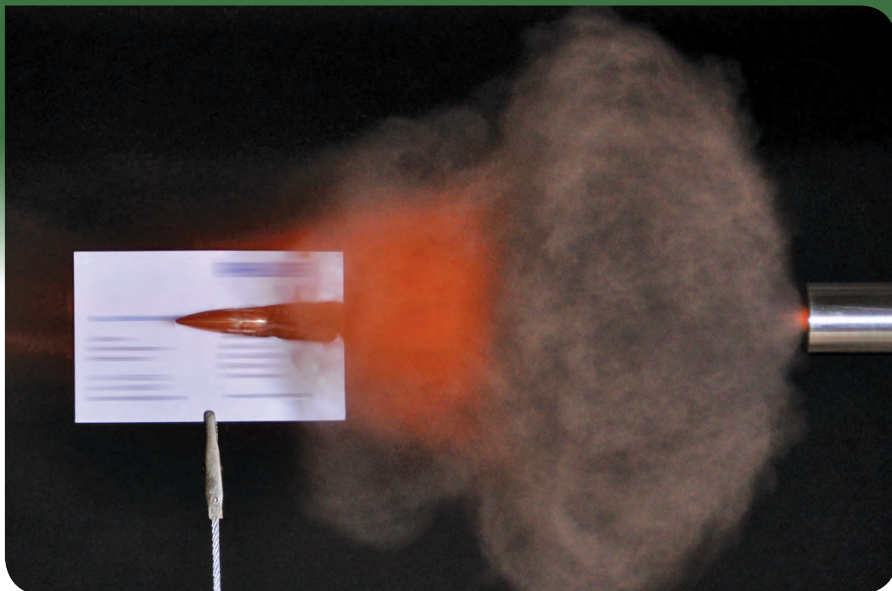
A Föld Egyenlítője kb. 40 000 km. A Föld átlagos sugara 6371 km.

A Föld keringési ideje 365,24 nap, forgási periódusa a Naphoz képest 1 nap. Mivel az év hossza nem fejezhető ki egész számú nappal, szökőéveket kell naptárunkba illeszteni.

A tengelyferdeség következménye az évszakok váltakozása.

Első ránézésre nehéz

megmondani, hogy mi van a képen, figyelmes szemmel azonban kitalálható. Keressünk néhány különös jelenséget, melyeket hosszabb megfigyeléssel fedezhetünk fel, és próbáljunk magyarázatot is találni rájuk!



A Popular Science

magazin 1872 óta jelenik meg havonta. A képen az 1920 októberi szám címlapja látható. Érdekes az interneten rákeresni az újság 2014 májusi számának címlapjára, melyen majdnem ugyanez a kép található. Vajon, mi az ennyire érdekes a két címlapon látható szerkezetben?



Milyen előnyökkel

és milyen hátrányokkal jár, ha a teherhordásnak ezt a módját választjuk?



A NAGY TELJESÍTMÉNY TITKA: GYORSAN ÉS SOKAT



*Miért visel feszes,
széles övet a képen látható
extrém nagy erőfeszítést kifejtő
sportoló?
Miért törekszik arra, hogy az
adott távot a lehető
leggyorsabban teljesítse?*

17. | 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



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

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: $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 1 \text{ joule}$, 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. Ezt 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 emelés-

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 ugyanezt az eredményt kapjuk akkor is, ha az állandó erőt az elmozdulás erővel párhuzamos összetevőjével szorozzuk össze.

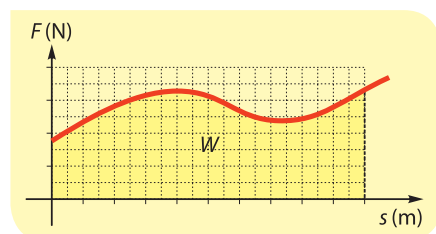
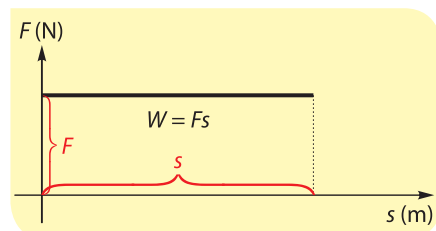
Ugyan a mechanikai munkát a fenti módon fogalmazzuk meg, azért nem kell azt gondolnod, hogy a házi feladatod elkészítése, az iskolatászkád cipelése nem jelent hétköznapi értelemben komoly munkát. Izmaink megfeszülése, az agyunkban történő anyagcsere-folyamatok kémiai energiát igényelnek, amit fáradtsággként, éhségként érzékelünk. Ezek a folyamatok nehezebben jellemezhetők mérhető fizikai fogalmakkal, azonban például ha izmainkat mozdulatlanul megfeszítjük, akkor is apró elmozdulások történnek az izomszövetekben, mert állandóan váltakoznak a megfeszített és az elernyesztett izomkötegek. Tehát itt is felfedezhetjük az erő és az elmozdulás szorzataként jellemzett mechanikai munkát.

hez. Az emelőerő egyirányú az 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 egyenes mentén, és az erő mutasson az elmozdulás irányába. Ábrázoljuk az F erőt az s elmozdulás függvényében:



Megállapíthatjuk, hogy esetünkben az állandó nagyságú erő munkája megegyezik az erő-elmozdulás grafikonon látható téglalap területének számértékével. Ezt a felismerést úgy tehetjük általánosabbá, ha kimondjuk, hogy változó nagyságú erő esetén is az erő-elmozdulás grafikonon a görbe alatti terület megfeleltethető a munkavégzés számértékének.

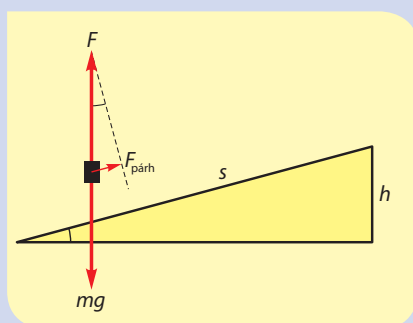
Általánosan igaz, hogy változó nagyságú erő munkája egyenlő az erő-elmozdulás grafikon alatti terület számértékével, ha az erő és az elmozdulás egyirányú.



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

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:

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

Gondolkozhatunk 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 ívvel jelölt 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:

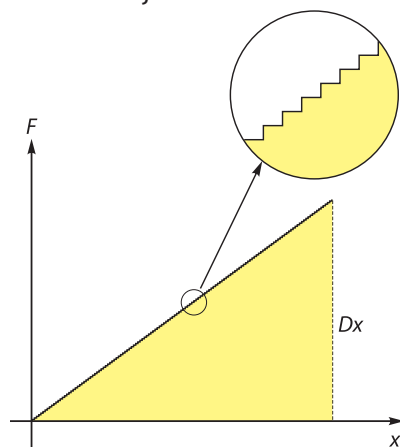
$$W = F_{\text{párh}} \cdot s = (25 \text{ N}) \cdot (8 \text{ m}) = 200 \text{ J}.$$

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 .

Hallottál róla?

A rugó megnyújtásához szükséges munkát a következő módszerrel is kiszámíthatjuk.



Az erő-megnyúlás grafikonon az origóból induló szakaszt helyettesíthetjük egy olyan sokszorosán törött lépcsős szakasszal, mely nagyon kicsi vízszintes és függőleges szakaszokból áll. A vízszintes szakaszok alatti téglalapok területeinek összege a végzett munkát adja. Ha a felosztás nagyon finom, akkor a rengeteg apró téglalap összege jó közelítéssel megegyezik az origóból induló szakasz alatti derékszögű háromszög területével, ami a végzett munkát adja.

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.

Az eredő erő munkája

Vizsgáljunk egy testet, amely nyugalmi állapotból indul, és a testre állandó nagyságú és irányú eredő erő hat. Ebben az esetben a test a ΣF eredő erő hatására $a = \frac{\Sigma F}{m}$ gyorsulással mozog. Határozzuk meg az eredő erő munkáját s úton:



$$W_{\Sigma F} = (\Sigma F)s.$$

Az eredő erő helyére a $\Sigma F = ma$ összefüggést írhatjuk, az s elmozdulást pedig az átlagsebességgel fejezhetjük ki, ami esetünkben a test végsebességének a fele:

$$s = v_{\text{ált}} t = \frac{v}{2} t.$$

A fentieket beírva az eredő erő munkavégzésének képletébe, az összefüggés a következőképpen alakul:

SZÁMOLJUK KI!

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

Megoldás: A rugóállandó:

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

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:

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

$$W_{\Sigma F} = (\Sigma F)s = (ma) \cdot \left(\frac{v}{2}t\right) = m \cdot \frac{v}{2} \cdot (at).$$

Az utolsó tag zárójelében a gyorsulás és az eltelt idő szorzata a test végsebességét adja meg a mozgás t idejének a végén ($v = at$). Ha ezt is beírjuk a munka képletébe, akkor eljutottunk a végeredményig:

$$W_{\Sigma F} = (\Sigma F)s = (ma) \cdot \left(\frac{v}{2}t\right) = m \cdot \frac{v}{2} \cdot (at) = m \cdot \frac{v}{2} \cdot (v) = \frac{1}{2}mv^2.$$

Az állandó nagyságú és irányú **eredő erő munkája**, mialatt egy m tömegű testet álló helyzetből v sebességre gyorsít:

$$W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}mv^2.$$

Általánosságban megmutatható, hogy az m tömegű testre ható eredő erő munkája, miközben a test sebessége a kezdeti v_0 sebességről v sebességre változik, a következő összefüggéssel adható meg:



$$W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2.$$

Ezt az összefüggést munkatételnek hívjuk. Az eredő erő munkája pozitív, ha a test sebessége növekszik, negatív, ha a test sebessége csökken, illetve nulla is lehet, ha nem változik a sebesség nagysága (bár az iránya akár változhat is).

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 munka mértékegysége származtatott:

$$[P] = \frac{[W]}{[t]} = \frac{\text{J}}{\text{s}},$$

melyet önálló névvel is nevezünk: W (watt), a skót felvilágosító, James Watt tiszteletére.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy puskával 8 g tömegű lövedéket lövünk ki 345 m/s torkolati sebességgel. Mekkora munkát végzett a lövedéken a rá ható eredő erő?

Megoldás: Alkalmazzuk az eredő erő munkájára megtanult összefüggést:

$$W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,008 \text{ kg} \cdot \left(345 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 476,1 \text{ J}.$$

Megjegyezzük, hogy a fenti összefüggés akkor is érvényes, ha a mozgás során változik az eredő erő.

MÉRD MEG! SZÁMOLD KI!

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

NE FELEDD!

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

A változó nagyságú erő munkája egyenlő az erő-elmozdulás grafikon alatti terület számértékével.

Nevezetes munkák:

Emelési munka: $W_{\text{emelési}} = mgh$.

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

Eredő erő munkája: $W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}mv^2$ (ha a kezdősebesség nulla).

Eredő erő munkája: $W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ (ha a kezdősebesség nem nulla).

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

Mit gondoltak régen?

A gépkocsijuk teljesítményét az emberek még manapság is lóerőben (LE) szokták tudni. Ez a régi-módi mértékegység James Watt, a korszerű gőzgép megalkotójának ötletén alapszik. Azt hasonlította össze, hogy a gőzgépével hányszor nagyobb mennyiségű szén emelhető ki, mint a hagyományos, bányalovakkal történő felszínre juttatás esetén. Watt egy bányában azt vizsgálta meg, hogy egy póni egy perc alatt mekkora mennyiségű szenet juttat a felszínre. Úgy becsülte, hogy egy átlagos ló a póninál másfélszer nagyobb teljesítményre képes, és ez vezetett el nála a lóerő mértékéhez.



Mivel a súlyt fontokban, az emelési magasságot lábban mérték, így Watt az átlagos lovak teljesítményére $1 \text{ LE} = 33\,000 \text{ lábfont/perc}$ 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 lóerőben egyharmadával nagyobb a kilowattértéknél, ezért a gyártók szeretik feltüntetni a lóerőt is, hogy még vonzóbbá tegyék a terméküket.



Hallottál róla?

Minden évben megrendezik az Empire State Building, New York sokáig legmagasabb felhőkarcolójának előcsarnokából a 86. emeleten lévő kilátóteraszáig tartó lépcsőházi futóversenyt. A legjobb futók az 1576 lépcsőfokon kb. 10 perc alatt futnak fel.

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 visszük fel az emeletre? Miért?
- Egy 5 kg tömegű testet lassan, egyenletesen, $0,5$ méter mélyre süllyesztünk. Mekkora munkát végzünk? Mekkora munkát végez a nehézségi erő?
- Függőlegesen felfelé hajítunk egy kavicsot. Hogyan változik a kavics sebessége, illetve mozgási energiája a mozgása során? Mikor végez a kavics 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 magasán lévő bányakijáráthoz 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

- $2,5 \text{ N}$ vízszintes erővel húzunk az asztallapon egy $0,5 \text{ kg}$ 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 húzóerő teljesítménye?
- Mi igényel több munkát: álló helyzetből 2 kg tömegű testet 4 m/s sebességre, vagy 8 kg tömegű testet 2 m/s sebességre gyorsítani?
- 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 elmozdulása függvényében! Mennyi munkát végzünk?
- Az Empire State Building egy lépcsőfokának magassága 16 cm . A Hallottál róla? keret adatainak segítségével számold ki a legjobb futók teljesítményét!

18. | Energia

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 ΣF eredő erő hatására álló helyzetből v sebességre gyorsul. Eközben az eredő erő $W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}mv^2$ munkát végez a testen, ahogy ezt a munkáról tanultak során beláttuk. 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

A munkáról tanultak során megemlítettük, hogy munkatételnek nevezük azt a matematikai összefüggést, amellyel az eredő erő munkája kifejezhető:

$$W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2.$$

Vegyük észre, hogy az összefüggés jobb oldalán két mozgási energia különbsége található. A munkatételben a test két állapotát hasonlítjuk össze.

Kezdetben, a kiindulási állapotban a test mozgási energiája: $\frac{1}{2}mv_0^2$. Az állapotváltozás végén, a végállapotban a test mozgási energiája $\frac{1}{2}mv^2$. A végső

és a kezdeti mozgási energia különbsége a mozgási energia megváltozása (a fizikában a megváltozásokat Δ -val szoktuk jelölni):

$$\Delta E_{\text{mozg}} = E_m - E_{m0} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2.$$

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 élenkítő 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.

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?

SZÁMOLD KI!



Mekkora egy 650 kg tömegű, 300 km/h sebességű versenyautó mozgási energiája?

Megállapíthatjuk, hogy a **munkatétel** szerint a **testre ható eredő erő munkája megegyezik a test mozgási energiájának megváltozásával**:

$$W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = E_m - E_{m0} = \Delta E_{\text{mozg}},$$

amit **röviden így írhatunk fel**: $W_{\Sigma F} = \Delta E_{\text{mozg}}$.

A mozgási energia megváltozása lehet pozitív, lehet negatív, sőt lehet nulla is, attól függően, hogy a testre ható eredő erő munkája pozitív, negatív vagy nulla.

A munkatételben a mozgási energia megváltozását nemcsak az eredő erő munkájával fejezhetjük ki, hanem a munkatételt megfogalmazhatjuk így is: **A testre ható összes erő munkáinak előjeles összege a test mozgási energiájának megváltozásával egyenlő**. Ha a testre több erő hat, akkor lehetséges, hogy lesznek olyan erők, melyek munkája pozitív, lehetnek olyanok, melyek munkája negatív, sőt olyanok is lehetnek, melyek munkavégzése nulla.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy 100 g tömegű játék autót $v_0 = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ -ről $v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ sebességre gyorsítunk az asztalon. Mennyi munkát végez eközben az eredő erő? A kezünk által az autóra kifejtett erő munkája több ennél, ugyanannyi vagy kevesebb?

Megoldás: A munka tárgyalásakor megtanultuk, hogy az eredő erő munkáját a következő módon fejezhetjük ki:

$$W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2.$$

Helyettesítsük be a megadott adatokat ebbe az összefüggésbe:

$$W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}m(v^2 - v_0^2) = \frac{1}{2} \cdot 0,1 \text{ kg} \cdot \left(\left(4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 - \left(2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right) = 0,6 \text{ J}.$$

Az autó felgyorsítása közben számos erő hat az autóra. Az asztalon felgyorsított autó elmozdulása vízszintes síkban történik, ezért az autóra ható függőleges erők munkája mind nulla. Az összes autóra ható erő közül azok munkája nem nulla, melyeknek van elmozdulásirányú vagy azzal ellentétes összetevője. A kezünk által az autóra ható erőn kívül ilyen még a súrlódási erő, ami az elmozdulással ellentétes irányú. Ez azt jelenti, hogy a súrlódási erő munkája negatív, vagyis a kezünk által az autóra kifejtett erő munkája kissé nagyobb, mint az eredő erő munkája, a két munkavégzés különbsége a súrlódási erő munkájával egyezik meg.

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!)

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 felemelt testek helyzeti (magassági vagy potenciális) energiával

rendelkeznek, ami 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 tekintjük 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.

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.

Hallottál róla?

A 2004. évi XXIV. törvény alapján lőfegyver: a tűzfegyver, 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.



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?

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 léteznek.)

Az energia mértékegysége megegyezik a munkáéval: $[E] = \text{J}$ (joule).

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.



■ A legjobb férfi teniszesezők több mint 240 km/h sebességgel szerválnak

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Nevez meg a hétköznapi életből olyan tárgyakat, jelenségeket, amelyek működésében fontos szerepet játszanak a mechanikai energiafajták!
2. Becsüld meg, mekkora mozgási energiája lehet egy jól elrúgott 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 közeg-ellenállási erő?
8. Lehet-e negatív értékű egy test mozgási energiája, egy test magassági helyzeti energiája, egy rugó rugalmas energiája?

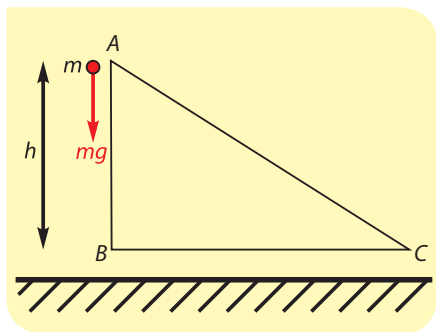
ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

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 közeg-ellenállási 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?

19. | Alakítsuk át az energiát!

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 erő testen 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:

$$W_{ABC} = W_{AB} = W_{BC} = mgh + 0 = mgh.$$

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 :

$$W_{AC} = mg \cdot AC_{\text{parh}} = mg \cdot AB = mgh.$$

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 munkája lesz az előző ellentettje: $-mgh$. Ekkor is érvényes, hogy a munkavégzés független az úttól.

Vegyük észre, hogy a nehézségi erő teljes munkája egy körfolyamat közben mindig nulla, bármilyen úton is mozog a test. Ez azért van így, mert a körfolyamat egy odaútra és egy visszaútra bontható. De a körutazást fordítva is megtehetjük, ekkor a visszaútból lesz odaút, az odaútból pedig visszaút. Közben a nehézségi erő iránya nem változik, azonban az elmozdulás ellentétes lesz, tehát a munkavégzés (-1) -szeresére változik.

Azonban nem minden erő esetében teljesül, hogy körfolyamat közben a munkavégzése nulla. Vízszintes felületen, tetszőleges pályán csúsztassunk végig egy testet úgy, hogy jussunk vissza a kiindulási pontba. Vizsgáljuk meg a csúszási súrlódási erő munkáját! A csúszási súrlódási erő mindig ellentétes a test sebességével, vagyis a test pillanatnyi elmozdulásával. Ezért a körfolyamat bármely kicsiny szakaszában a csúszási súrlódási erő munkája negatív,

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!



■ Hogyan változik a síugró mechanikai energiája, miközben lecsúszik a magas sísáncról?

Hallottál róla?

Azokat az erőket, melyek munkája független az úttól, vagyis a munkájuk számértékét az út kezdő- és végpontja egyértelműen meghatározza, **konzervatív erőknek** nevezzük. Konzervatív erő a nehézségi erő, a gravitációs erő, a rugóerő, és majd később látni fogjuk, hogy az elektrosztatikus erő is. Potenciális (helyzeti) energiát csak konzervatív erőkhez tudunk rendelni.

Nem konzervatív erő a súrlódási, a gördülő ellenállási és a közegellenállási erő.

A konzervatív erő kifejezés abból származik, hogy a konzervatív erők ellenében végzett munka visszanyerhető, a külső erő munkája ilyen értelemben „nemvész el”, hanem megmarad, konzerválódik. A befektetett munka által a rendszernek munkavégző képessége lesz, tehát a rendszer energiát képes tárolni. Általánosan igaz, hogy minden egyes konzervatív erőhöz tartozik valamilyen potenciális energia. A nehézségi erőhöz a test helyzetéből adódó mgh magassági helyzeti energia rendelhető, a rugóerőhöz pedig a rugó deformációjából származó $\frac{1}{2}Dx^2$ rugalmassági energia.

Általánosságban mindkét energiát potenciális energiának hívjuk. A potenciális szó azt fejezi ki, hogy a rendszer a helyzetéből adódóan képes munkavégzésre.



■ A jégkorongra ható erők közül melyik konzervatív, melyik nem?

tehát az egész körfolyamatra is negatív. Ebből az is következik, hogy **a csúszási súrlódási erő munkája nem független az úttól**. Ugyanígy nem független az úttól a gördülési ellenállási erő és a közegellenállási erő munkája sem.

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. Összegejtjük 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.

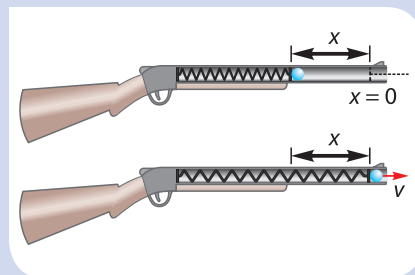
SZÁMOLJUK KI!

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:

- 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:

$$E_{\text{hely}} + E_{\text{rug}} + E_{\text{mozg}} = \text{állandó}.$$



■ Rugós játékpuska, mellyel könnyű műanyag golyót lehetünk ki

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 puskacső 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 energiátokat:

$$0 + \frac{1}{2}Dx^2 + 0 = 0 + 0 + \frac{1}{2}mv^2.$$

$$v = x\sqrt{\frac{D}{m}} = 0,2 \text{ m} \sqrt{\frac{4 \text{ N/m}}{0,005 \text{ kg}}} \approx 5,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

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 figyelniünk, 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 energiátokat, figyelembe véve, hogy $h = x$ (vagyis $mgh = mgx$):

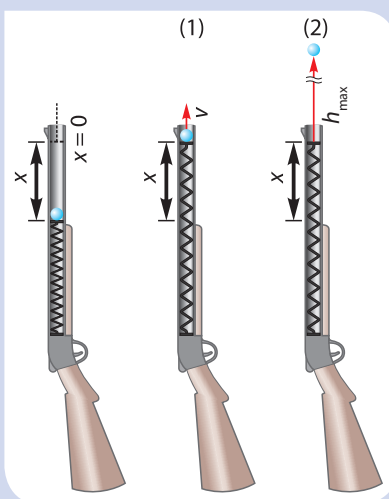
$$0 + \frac{1}{2}Dx^2 + 0 = mgx + 0 + \frac{1}{2}mv^2,$$

$$v = \sqrt{\frac{Dx^2}{m} - 2gx} = \sqrt{\frac{(4 \text{ N/m}) \cdot (0,2 \text{ m})^2}{0,005 \text{ kg}} - 2 \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (0,2 \text{ m})} = 5,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

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. Érdekes 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 puskacső esetén a lövedék energiájának összehasonlítási állapotai

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 tűnhet el.

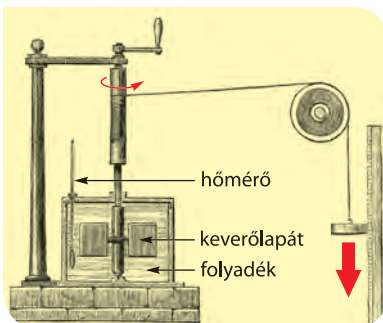
A mechanikai energiák csak akkor maradnak meg, ha nem történik valamilyen olyan folyamat, ami másféle energiák megjelenésével jár. Legtöbbször a csúszási súrlódás, illetve a közegellenállás képes arra, hogy hőtermelés révén olyan folyamatok játszódjanak le, melyek kezdetén és végén a rendszer mechanikai 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 vennünk.

Mit gondoltak régen?

James Prescott Joule (1818–1889) angol fizikus egyik kutatási területe a munka, az energia és a hő természete, valamint ezek egymásba alakulásának törvényszerűsége volt. Hosszas kutatás után megalkotott egy eszközt (Joule-készülék), amivel az akkori szóhasználat szerint a „hő mechanikai egyenértéke” mérhető. A készülékben egy huzal végére erősített süllyedő súly forgásba hoz egy tengelyt. A tengelyre lapátok vannak erősítve, melyekkel egy tartályban lévő víz lehet keverni.

Megmutatta, hogy a test süllyedés közben bekövetkező **helyzeti-energia-változása** egyenlő azzal a hővel, amire a víz a lapáttal való súrlódás közben tesz szert. Joule úgy alkotta meg a készülékét, hogy a lapátok nagy súrlódással, pontosabban közegellenállással mozogtak. Ezért a készüléket meghajtó súly egyenletesen mozog lefelé, mozgási energiája nem változik, helyzeti energiája csökken. A helyzetienergia-változás nem alakul át másféle mechanikai energiává, hanem az áramló víz termikus energiáját (más néven belső energiáját) növeli. Ezt Joule úgy tudta megmérni, hogy érzékeny hőmérővel észlelte a víz keverés miatti felmelegedését.



■ A Joule-készülék vázlatja

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 lövedéssel, 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?

Vízérművekben a duzzasztott folyóvíz felgyorsulva lezúdul, megforgatja a turbinalapátokat. A víz helyzetienergia-változása biztosítja a turbinákba kerülő víz hatalmas mozgási energiáját. A turbinából lelassulva, kisebb mozgási energiával kerül ki a víz. Ezért tudja az állandó fordulaton működő turbina meghajtani az áramfejlesztő generátorokat. A vízérmű végső soron a víz helyzeti energiáját alakítja elektromossá.



A víztorny tárolójába elektromos energiát felhasználva pumpálják fel a vizet. Ha valamiért le kell ereszteni a víztorny vizét, akkor alul nagy sebességgel, nagy mozgási energiával ömlik ki a víz.

A szivattyús energiatároló vízérművek 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.



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 erőknél nevezünk. 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 erőterben egy test mechanikai energiája nem változik:

$$E_{\text{hely}} + E_{\text{rug}} + E_{\text{mozg}} = \text{állandó.}$$

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.

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 löszeres 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 hajított 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.

Próbáljuk meg kitalálni,

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



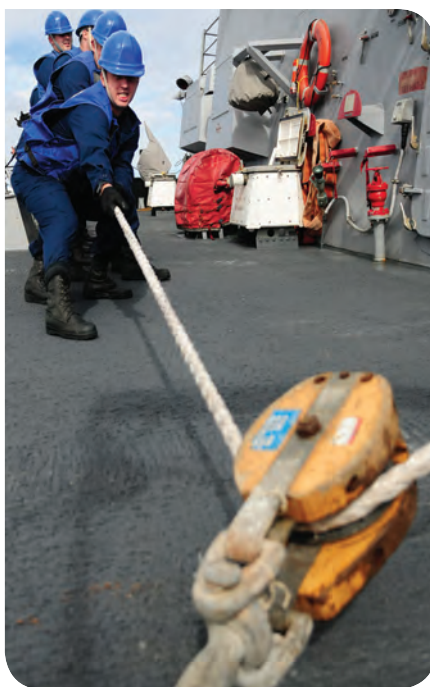
Hol van a deszkán lévő ember

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



A kötélnagy erőt fejt ki

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



EGYSZERŰ GÉPEK A MINDENNAPOKBAN



A régi tanyavilágban

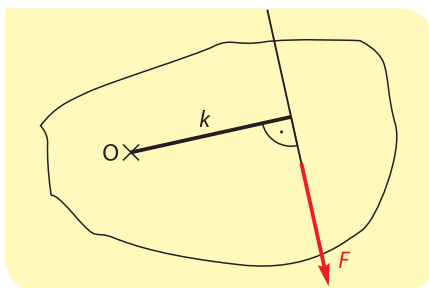
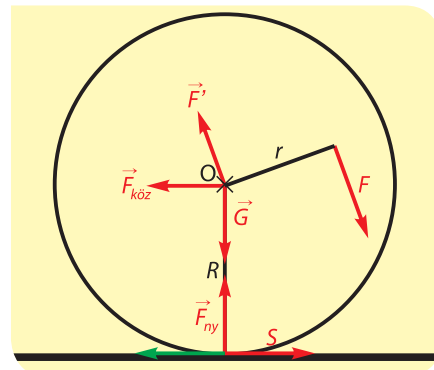
a gémeskút nemcsak arra szolgált, hogy viszonylag könnyen lehessen vizet húzni a kútból, hanem jelzéseket, üzeneteket is lehetett vele közvetíteni a távolba, mert a kút állása messziről is látszott. Próbáljuk meg kitalálni, hogyan működhetett a gémeskútkód, majd nézzünk utána, hogy mit mond erről a kommunikációról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

20. | Motorok nyomatéka

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

Az erő forgató hatása

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



Az erő hatásvonalának a forgástengelytől mért távolsága az erő **erőkarja**, amit általában k -val jelölünk. Az erő és az erőkar szorzata a **forgatónyomaték**, ami az erő forgató hatását fejezi ki:

Forgatónyomaték = (erő) \cdot (erőkar).

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

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

Ha egyenletesen halad a jármű, akkor a meghajtott kereke is egyenletesen forog. Ehhez az kell, hogy két ellentétes hatású forgatónyomaték hasson rá, melyek kiegyenlítik egymás hatását. Ha a meghajtott kerék sugara háromszor akkora, mint a pedálkar hossza, akkor lényegében háromszor akkora erővel kell a pedált lefelé taposnunk, mint amekkora az előremutató tapadási súrlódási erő, ami viszont azért kell, hogy a légellenállást legyőzzük.

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



■ A velocipéd és feltalálója, Ernest Michaux

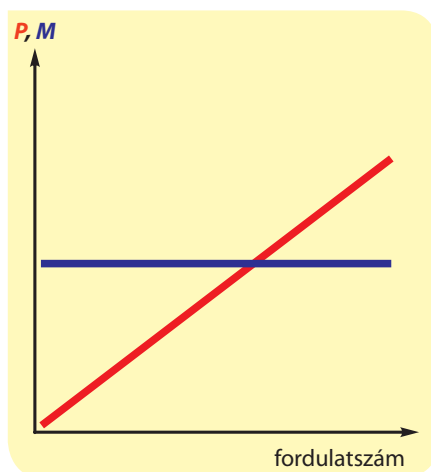
Ideális motorok

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

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

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

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



■ Ideális motor forgatónyomatékának és teljesítményének fordulatszámfüggése

Hallottál róla?

A technika nyelvezetében gyakran egyszerűen nyomatéknak rövidítik a forgatónyomatékokot. Így amikor azt mondják, hogy nagy nyomatékú autó, akkor ez egyszerűen azt jelenti, hogy az autó erős, vagyis a motorja nagy forgatónyomaték kifejtésére képes.



JÁRJ UTÁNA!

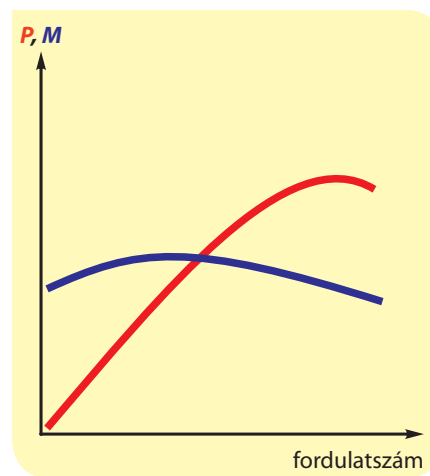
Az interneten járj utána, hogy a kedvenc autódnak mekkora a maximális teljesítménye, legnagyobb forgatónyomatéka, fogyasztása!

VALÓDI MOTOROK (Olvasmány)

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

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

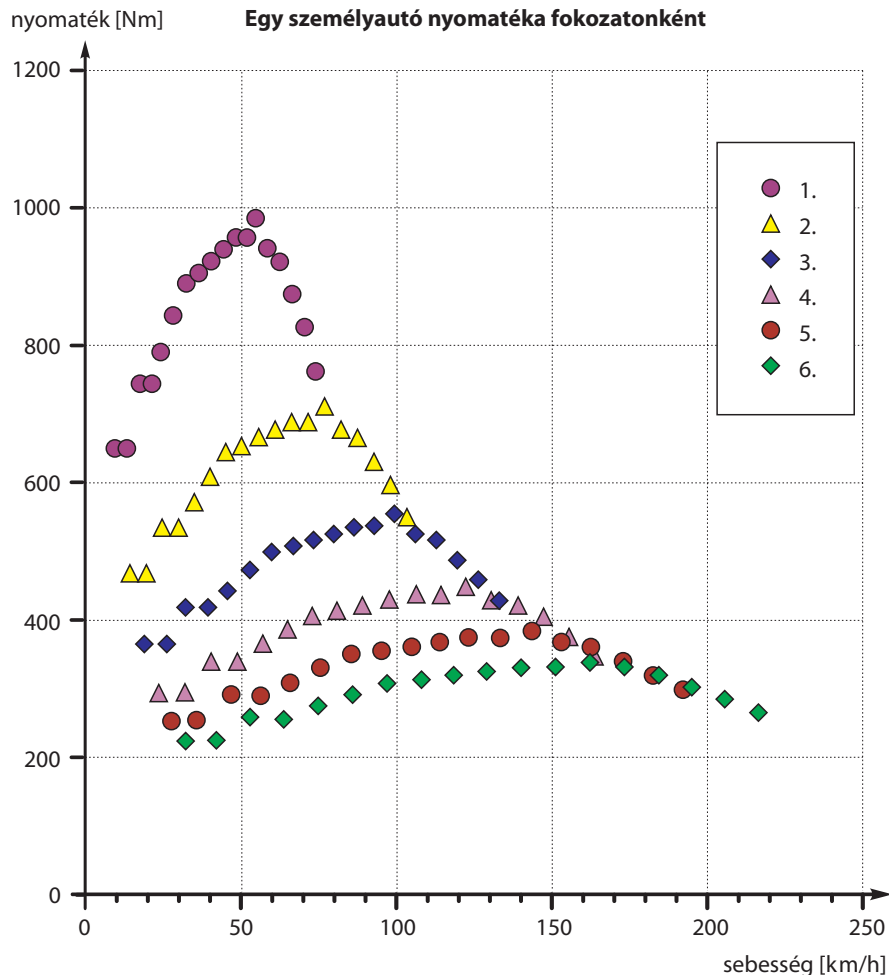
A nyomaték a motortól a meghajtott kerékig többféle fogaskerekes áttétellel juthat el. Ezeket a lehetőségeket nevezzük sebességfokozatoknak. A következő oldali ábrán látható jellegzőgörbék azt mutatják, hogy az egyes sebességfokozatokban hogyan függ a nyomaték a sebességtől.



■ Valódi motor forgatónyomatékának és teljesítményének fordulatszámfüggése

Tőled függ!

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



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

Mit olvashatunk le ezekről a jelleggörbékről?

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



SZÁMOLJUK KI!

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

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

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

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

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

A légellenállási erő ellenében végzett munka:

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

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

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

A hatásfok

A hatásfok egy 0 és 1 közötti arányszám, mely megmutatja, hogy a befektetett munka (energia) hányadrésze lesz a hasznos munkavégzés.

A hatásfok jele: η (éta).

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

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

Tőled függ!



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

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

Hallottál róla?

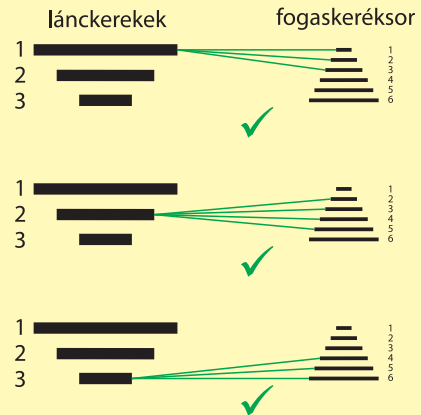
A Formula-1-es versenyautók magas, 7-8 ezer fordulat/perc fordulatszámra működnek optimálisan, szemben a személygépkocsik 3 ezer fordulat/perc optimális fordulatszámával. A versenyző pilóták nem sebességváltó kar, hanem a kormányon elhelyezett gomb segítségével tudnak magasabb vagy alacsonyabb fokozatba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



Tőled függ!

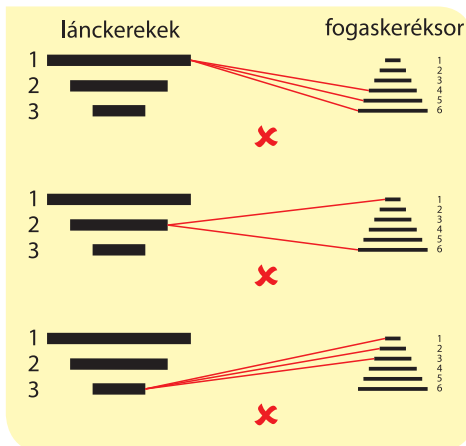
A kerékpár ülése alatt lévő tengelyen több, különböző méretű lánckereket, a hátsó tengelyen pedig fogaskeréksort találunk. A lánckereket a hajtókar és a pedál segítségével hajtjuk, a forgatónyomatékok a lánc juttatja el a hátsó kerékhez. A kerékpározást megkönnyíti a váltó használata. A láncot egy kisebb lánckerékre mozgatva a pedálozás könnyebbé válik (lefelé váltás). A láncot egy nagyobb lánckerékre váltva a pedálozás nehezebbé válik (felfelé váltás). A hátsó keréknél fordított a helyzet. A legnagyobb (hátsó) fogaskerék és a legkisebb (első) lánckerék együttes használata a legmeredekebb emelkedőkhöz alkalmas. A legkisebb hátsó és legnagyobb első kombináció pedig a legnagyobb sebességhez.

Hová válthatsz a folyamatos haladásnál?



EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

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



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

Hallottál róla?

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



NE FELEDD!

Az erők forgató hatását a forgatónyomaték jellemzi:

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

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

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

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

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

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

Pályakép

Név: **ATTILA**

Végzettség:

villamosmérnök, mérnök tanár,
 műanyag-feldolgozó szakmérnök

Jelenlegi beosztás:

üzemvezető

Felvételi/érettségi tárgyak:

matematika, fizika

Sziasztok!

Kisiskolás korom óta a reál tantárgyak felé húzott a szívem, ennek is köszönhető, hogy műszaki pályát választottam hivatásomnak! Viszsaemlékezve már gyermekként folyamatosan kérdezgettem édesapámat, hogy:

„Apa, a szánkó miért csak a havon csúszik?”

„A hinta miért áll meg, hogyha egyszer meglökted?”

„Ha hideg van, miért fagy meg a víz?”

és sorolhatnám...

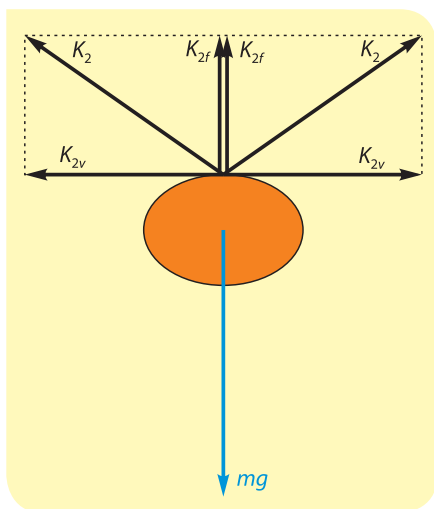
A szüleim minden kérdésemre igyekeztek válaszolni, de ahogy telt, múlt az idő, a korábbi kérdéseimre más perspektívából is kaptam válaszokat, mindezt a fizikának és a fizikatanárainak

köszönhettem! Visszagondolva is nagyon jó emlékeim vannak a fizikaórákról (legyen az kinematika, dinamika, elektromosság, munka, energia és így tovább), hiszen egy olyan tantárgyról beszélünk, amelyet nagyon színessé, változatosá lehetett tenni, hála a jó előadásmódoknak, a végelethetetlen kísérleteknek a tanórákon, akár a tanítás után is, vagy „lopva 5 percet” a tanáraink szünetéből...

Korábbi és jelenlegi munkahelyemen is nagyon sok hasznát veszem, hogy „annak idején” igen sok hasznos dolgot elsajátítottam a fizikaórákon, illetve a kísérleteknek hála, rengeteg tapasztalatot szereztem már fiatalkoromban is, amiket a mindennapi életben fel tudok használni.

21. | Az egyensúly feltétele

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



Pontszerű test egyensúlya

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

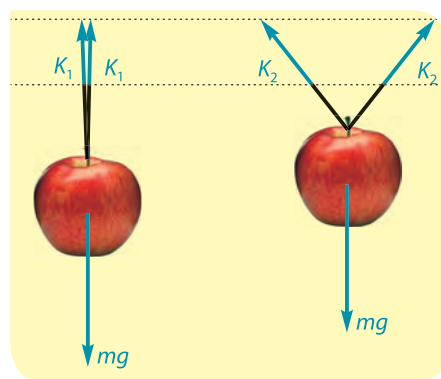
A vizsgált testre az mg nehézségi erő és a két fonálban fellépő K fonálerő hat. Szimmetrikus elrendezés esetén a fonálerők egyforma nagyok. Amikor a fonalak párhuzamosak, az ábrán látható két K_1 fonálerő felfelé, az mg nehézségi erő lefelé mutat.

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

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

$$2 \cdot K_1 - mg = 0,$$

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



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

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

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

SZÁMOLD KI!

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

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

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

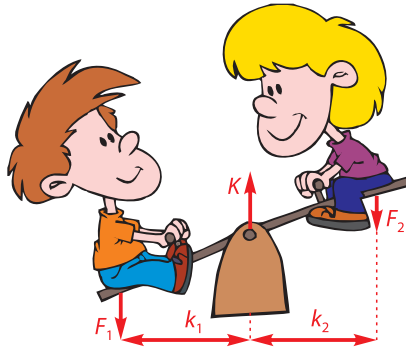
$$\Sigma \vec{F} = 0.$$

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

Merev test egyensúlya

A mérleghinta kedvelt játék. Vizsgáljuk meg egyensúlyának feltételeit. A hintára három erő hat: a gyerekek által kifejtett F_1 és F_2 , valamint a tengelynél fellépő K kényszererő. Ezek eredője nulla kell hogy legyen, hiszen a hinta egyensúlyban (nyugatlomban) van, nem gyorsul.

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



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

$$M_1 = M_2,$$

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

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

A merev testek egyensúlyának feltételei:

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

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

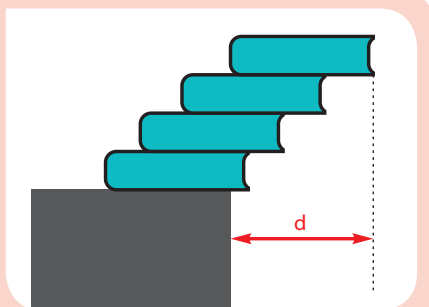
NE HIBÁZZ!

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

KÍSÉRLETEZZ!

Négy azonos méretű könyvet helyez el egymáson a képen látható módon az asztal szélén.

El lehet úgy helyezni őket, hogy a legfelső könyv teljes egészében az asztalra lógjon? Megfigyelési tapasztalatodat ellenőrizd számítással is!



SZÁMOLD KI!

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

NE HIBÁZZ!

Az erőkar a forgástengely és az erő hatásvonalának távolsága.

Hallottál róla?

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



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

SZÁMOLJUK KI!

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

Megoldás: A létrára három erő hat:

- az mg nehézségi erő függőlegesen lefelé mutat,
- a fal által kifejtett F_1 nyomóerő vízszintes, hiszen a fal súrlódásmentes,
- a padló által kifejtett F_2 erő. Ezt az erőt vízszintes és függőleges összetevőkre bonthatjuk; a függőleges összetevője a padló által kifejtett nyomóerő, a vízszintes összetevője pedig a fal felé mutató tapadási súrlódási erő, ami megakadályozza a létra elcsúszását.

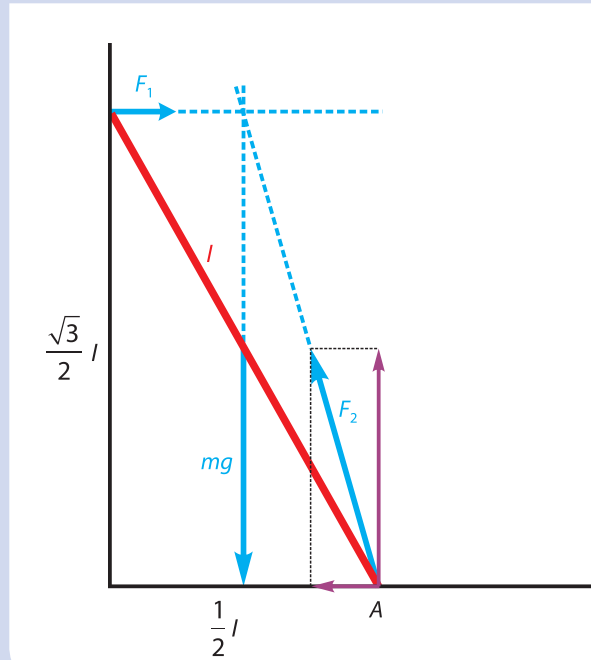
Az erők összegének nullának kell lenni. Ezért a padló nyomóereje egyenlő nagyságú a nehézségi erővel, továbbá a fal nyomóereje megegyezik a tapadási súrlódási erő nagyságával.

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

$$\Sigma M = 0 \text{ (A)}.$$

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

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



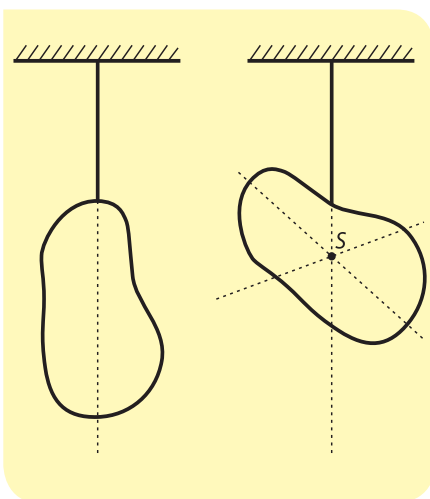
$$F_1 = \frac{1}{2\sqrt{3}} \cdot mg = \frac{\sqrt{3}}{6} \cdot mg = \frac{\sqrt{3}}{6} \cdot 10 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 28,9 \text{ N}.$$

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

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

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

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



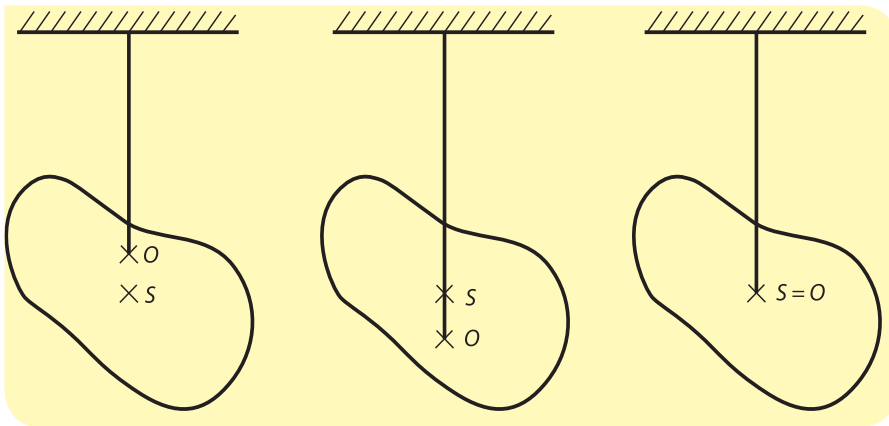
Egyensúlyi helyzetek

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

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

KÍSÉRLETEZZ!

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

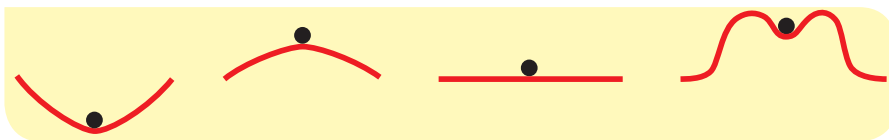


Stabil (biztos): ha a test visszatér eredeti helyzetébe. A felfüggesztett, stabil egyensúlyi helyzetben lévő test súlypontja legyen a felfüggesztési pont alatt. Ha a testet ebből a helyzetéből egy picit kitérítjük, akkor a rá ható nehézségi erőnek a felfüggesztési pontra vonatkoztatott forgatónyomatéka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

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

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

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



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

Hallottál róla?

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

KÍSÉRLETEZZ!

Hozz létre te is egyensúlyi helyzetet a képen látható módon két villával és fogvájókkal! Tudsz még másféle hasonlóan érdekes konstrukciót létrehozni?



NE FELEDD!

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

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

Merev test egyensúlyának feltételei:

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

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

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

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

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

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

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

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

22. | Többet ésszel, mint erővel

Emelők vizsgálata

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

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



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

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

Az erők egyensúlyára vonatkozó feltételből ez következik:

$$mg = F + K.$$

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

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

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

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

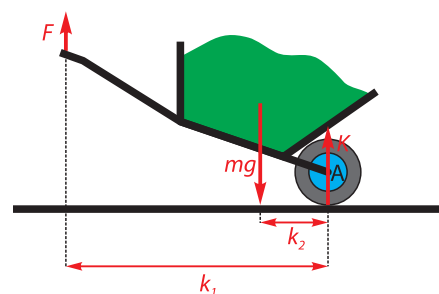
Mivel a k_2 láthatóan kisebb k_1 -nél, így a rakomány mg súlyánál annyszor kisebb F erőt kell kifejtenünk, ahányszor a k_1 erőkar hosszabb a k_2 teherkarnál.

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

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

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

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



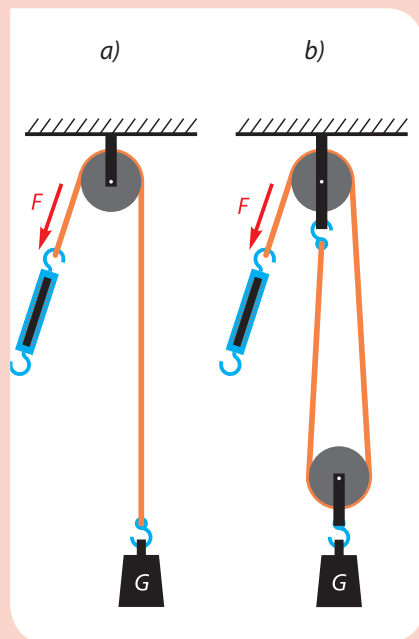
■ Diótörő



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

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

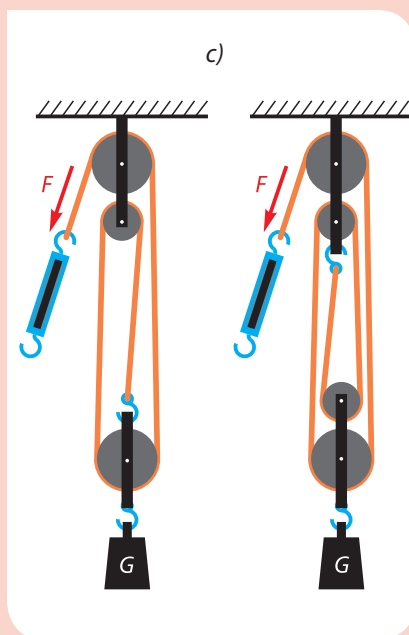
KÍSÉRLETEZZ!



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

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

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



Mit gondoltak régen?

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

Kiseb erővel, ugyanakkora munkával

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

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



■ Evezőlapát

A lejtő vizsgálata

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

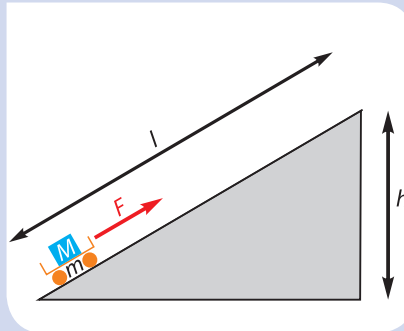
A lejtőn hosszabb úton juttatjuk fel a testet a magasba, mintha egyszerűen felemelnénk. Mivel a hasznos munka mindkét esetben ugyanakkora, így a lejtő segítségével a testet a súlyánál kisebb erővel tudjuk felfelé mozgatni ($F < mg$, mert $h < l$). A lejtőrendszerű gépek a **lejtő**, az **ék** és a **csavar**.



SZÁMOLJUK KI!

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

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



■ A lejtőn a láda súlyánál kisebb erő elegendő a láda feltolásához

$$W_F = \Delta E_{\text{helyez}}$$

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

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

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

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

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

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



LIFT CORRECTLY



↳ THIS WAY... NOT THIS ↴

■ Nehéz tárgyak helyes és helytelen emelése

Tőled függ!

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

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

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

A gerincünket egyenesen tartva, térdünket behajtvva nyúljunk le a felemelendő tárggyért!

Gondold meg!

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

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

Ugyanez érvényesül az egyoldalú emelő, mint például a talicska használatakor. Nemcsak a hasznos terhet kell megemelnünk, hanem az emelőt is, mégis sokkal könnyebb az emelés. Ha mondjuk, vízszintes úton toljuk a talicskát, akkor annyi munkát kell végeznünk, amennyit

a talicskára ható gördülési ellenállás megkövetel. Ha ezzel szemben kézben szállítjuk a terhet, akkor fizikai értelemben nincs munkavégzésünk. Mégis érdemes talicskát használni, mert a hosszabban, nagyon erősen megfeszített izmaink miatt biológiailag viszonylag hamar kifáradunk.

Azt mondjuk, hogy az állócsiga használatakor csak az erő iránya változik (számunkra kedvezőbb lesz), azonban sem az erő nagysága, sem a munkavégzésünk nem változik. Ez fizikai értelemben igaz is, de biológiailag vannak esetek, amikor más a helyzet. Ha például a malterrel teli vödört egyszer kézzel visszük fel az épülő ház tetőterébe a földszintről, máskor meg a tetőgerendához rögzített állócsiga segítségével, akkor fizikai értelemben lényegében ugyanakkora a munkavégzésünk a vödörön (bár a csiga kicsiny súrlódását is le kell győznünk, de ez általában elhanyagolható). Biológiailag viszont nagy a különbség, mert a kézi szállításkor a saját testünket is fel kell emelnünk, ami jelentősen több energiába kerül, mint a teli vödör felvitele, állócsiga esetén viszont mi lent maradhatunk a földszinten, saját testünket nem kell felemelnünk.



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

Hallottál róla?

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

A magas hegyekre vezető utakat szerpentinnek (kanyargós útnak) építik meg. Így könnyebb rajtuk felmenni, sőt közönséges gépkocsival csak így lehet átjutni a hegyi hágókon. Gyakran előfordul, hogy meredek emelkedőkön akár egyes sebességfokozatba is vissza kell kapcsolnunk, mert így képes az autó motorja maximális forgatónyomatot kifejteni. Hosszabb úton és

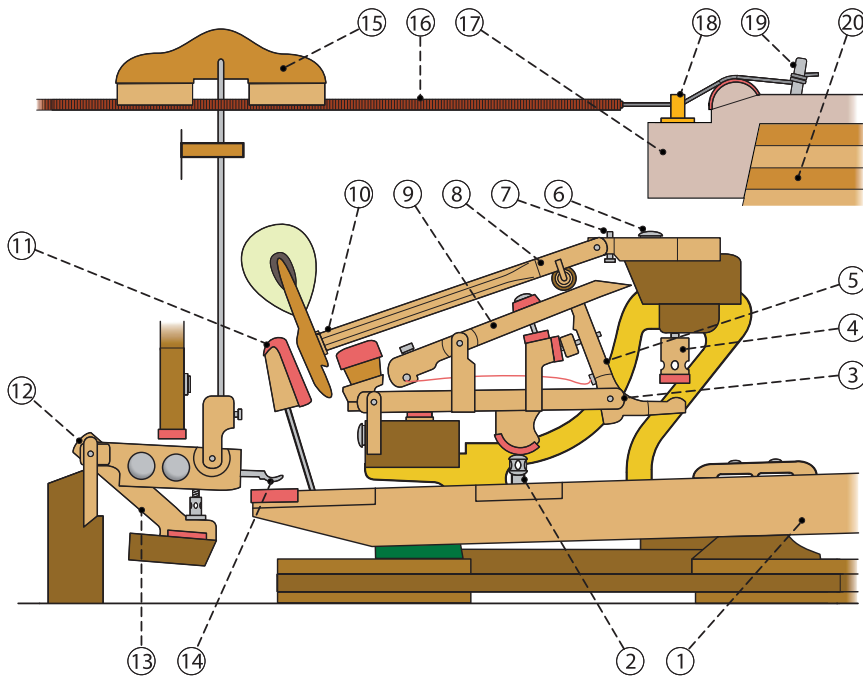


sokkal lassabban tudnak a járművek a szerpentineken haladni, ezért a legforgalmasabb helyeken alagutakat építenek a hegyekben, ezek kialakítása viszont igen drága.

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

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

Hallottál róla?



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

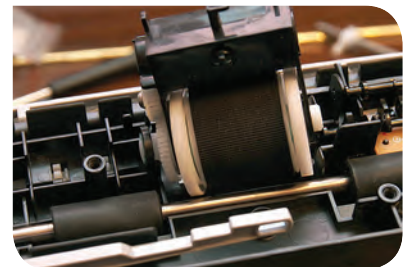
■ A modern angol mechanikus zongora billentyűjének mechanikája

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

Gondold meg!

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

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



NE FELEDD!

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

A merev testek egyensúlyának feltételei az egyszerű gépekre is érvényesek:

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

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

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

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

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

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



5. A szerpentinút milyen egyszerű gépnek tekinthető?
6. Nézz körül otthon, milyen egyszerű gépek vannak a lakásotokban!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Julcsi egy igen könnyű talicskával szeretne eltolni 40 kg tömegű homokot. Egy 10 kg tömegű testet képes a két kezével kényelmesen megemelni. A talicska rakfelülete kb. téglatest alakú, melynek hosszabb oldala ugyanolyan hosszú, mint a talicska nyele. El tudja-e tolni Julcsi a talicskát a 40 kg homokkal?
2. A 121. oldalon lévő fotón egy diótörőt látsz. Vonalzóval mért adatok alapján adj becslést arra vonatkozóan, hogy a diótörő mint egyszerű gép hányszorosára növeli az általad kifejtett erőt!
3. A csónakban lévő evezők hossza 180 cm, a lapátrész hossza 45 cm, a csónak villája 60 cm-re van az evező végétől. Végezz becslést arra vonatkozóan, hogy az evező mint egyszerű gép hogyan változtatja meg az általad kifejtett erőt!
4. Egy 0,5 kg tömegű mozgó csigán 5 kg tömegű test függ. Mekkora erővel tudjuk lassan, egyenletesen 2 m magasra emelni? Mennyi munkát végzünk eközben?
5. Tervezz meg egy olyan csigasort, amivel egy 200 kg tömegű alkatrészt fel tudnál emelni úgy, hogy 500 N nagyságú erőnél nem kell többet kifejtened!
6. A kedvelt mecseki kerékpárút emelkedő része Pécs határában, a tengerszint felett 257 m magasan kezdődik, és 5600 méter út megtétele után, a 464 méter magasságban lévő Remete-réten ér véget. A kerékpáros és a kerékpár együttes tömege 80 kg. Az út meredekségét tekintsük állandónak. A kerékpáros az utat 25 perc alatt teszi meg. Legalább mekkora erő hat az útburkolat és a kerekek között?

REZGÉSEK, HULLÁMOK



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?

23. | Hogyan mérjük időt?

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 rezgési energiát a mutató mozgásának ritmusát, az ehhez szükséges energiát egy elektromos telep biztosítja.

Az atomóra a benne tárolt atomok két jól meghatározott állapota 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 fel-le ugrálás ütemével egyezik meg. A céziumatomok legkülső elektronjának „hintáztatását” végző mikrohullám rezgési üteme adja az atomórák órajelet, 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 középídot (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.

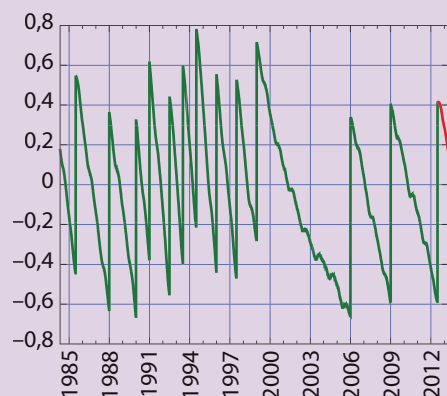
Ahogy erről már tanultunk, a GPS (Global Positioning System) helymeghatározó rendszer rendkívül pontos időmérésen alapszik. A rendszer 24 műholdja a Föld körül kering, és folyamatosan két különböző frekvencián meghatározott kódokat sugároznak. Az állandó frekvencia és a pontos kódok előállítására minden 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!

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 nagyvá 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 másodpercgységekben. A függőleges ugrások mutatják a szökőmásodpercek beiktatását. Legközelebb mikor várható szökőmásodperc beiktatása? Mikor gyorsult valamiképp a Föld forgása?



SZÁMOLJUK KI!

Feladat: A körhintán ülő gyermek percenként 10 fordulatot tesz meg a 12 méter átmérőjű körpályán. Mekkora a gyermek

- fordulatszáma,
- periódusideje,
- szögsebessége,
- sebessége,
- gyorsulása?



■ 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:

$$f = \frac{\text{fordulatok száma}}{\text{eltelt idő}} = \frac{10}{60 \text{ s}} = \frac{1}{6} \text{ s} \approx 0,17 \text{ Hz.}$$

- b) Az egyenletes körmozgás periódusideje (keringési ideje) egy teljes kör megtételéhez szükséges időtartam, a frekvencia reciproka:

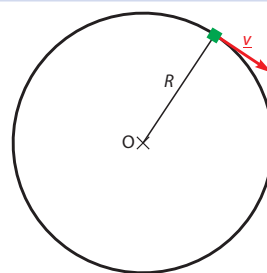
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{1}{6 \text{ s}}} = 6 \text{ s.}$$

- 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:

$$v_{\text{ker}} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi \cdot f \cdot r = \omega \cdot r = 1,05 \frac{1}{\text{s}} \cdot 6 \text{ m} = 6,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$



- e) Az egyenletes körmozgás kerületi sebességének iránya minden pillanatban változik, ezért felelős a centripetális gyorsulás, ami a kör középpontja felé mutat:

$$a_{\text{cp}} = \frac{v_k^2}{R} = \omega^2 \cdot R = v_k \cdot \omega = 6,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,05 \frac{1}{\text{s}} \approx 6,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

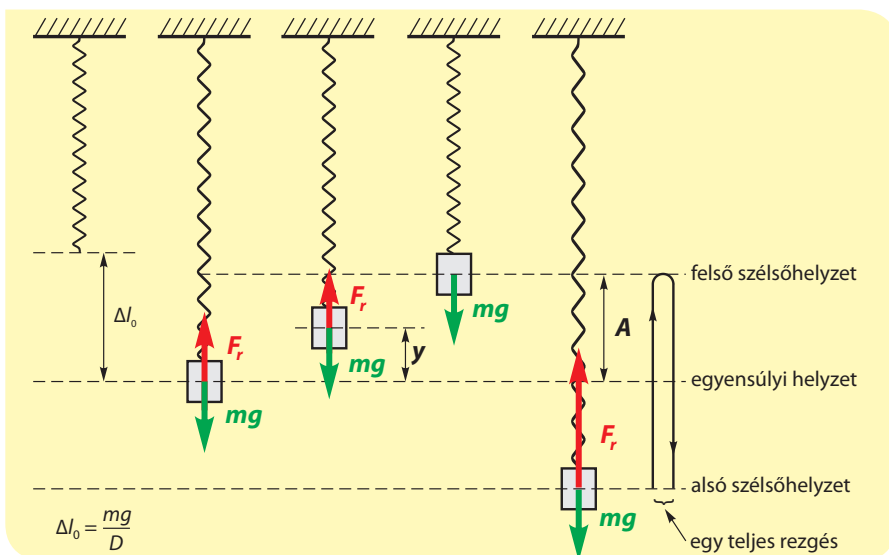
A rezgőmozgás

Egy rugó felső végét rögzítsük, majd az alsó végére akasszunk 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** végez.

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).

A test pillanatnyi helyének az egyensúlyi helyzettől mért távolsága a **kitérés**, ami előjeles skalár érték. Jele: y , mértékegysége méter (m).



A legnagyobb kitérést, vagyis az egyensúlyi helyzettől 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:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}},$$

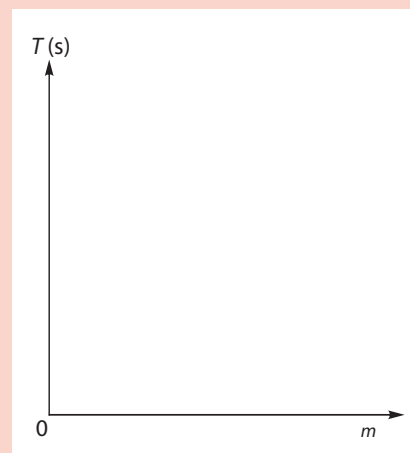
ahol D a rugó már korábban megismert rugóállandója.

A $T - \sqrt{m}$ grafikon segítségével meghatározhatjuk egy ismeretlen test tömegét is. Akasszunk például egy kódarabot a rugóra, majd mérjük meg a rezgésidejét! A grafikon alapján keressük meg a kapott rezgésidőhöz tartozó \sqrt{m} értéket, majd ennek négyzetét véve a kódarab m tömege is meghatározható.

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!

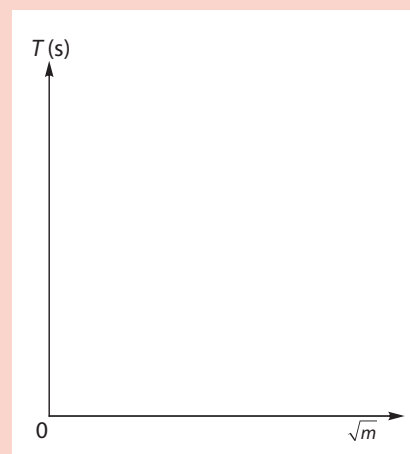
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
	mérés						
m (5 dkg)	2	3	4	5	6	7	8
10 T (s)							
T (s)							



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 illeszhető.

Hallottál róla?

Amikor a rugó végére akasztunk egy testet, és a test megnyújtja a rugót, akkor ez a tömegvonzás miatt történik, 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 munkásságát 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 mérőeszközt, hanem a nehézségi gyorsulás helyi változásait 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 pisai dóm bronzcsillárja

Az ingamozgás

Galilei a pisai dómban ülve gyakran látta egy hosszú kötélen 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 fonálinga egy **teljes lengésének** nevezzük az ingamozgás azon szakaszát, mely során a test kétszer fut végig a fonálinga által bejárt köríven. Egy teljes lengés ideje a **lengésidő**. 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 függőleges feljebb 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:

$$T_l = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Vegyük észre, hogy sem a rugóra akasztott test rezgésidejének

$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$ összefüggése, sem a fonálinga lengésidejének előző képlete

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!

SZÁMOLD KI!

Mekkora az 1 méter hosszú matematikai ingának (kis kitérésű fonálingának) a lengésideje a Földön? És a Holdon?

az amplitúdó lehet az ingatest maximális kitérése a pályája körívén, 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 lengésidőt (tíz-húsz lengés együttes idejéből már meglehetősen kis mérési hibával). A lengésidő képletéből kifejezhetjük a g nehézségi gyorsulást:

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l}{T^2}.$$

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.

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 másodpercmutatós órák csak száz évvel később jelentek meg. Ezek voltak az első ingaórák.

1980 óta hazánkban is alkalmazzák a nyári időszámítást. Minden év utolsó márciusi 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 emberek ébrenléti idejével. Ennek ellenére még mindig viszonylag jelentős villamosenergia-megtakarítást eredményez, hogy rövidebb ideig kell az épületeinkben világítanunk.

Az ősrobbanás elmélete alapján a világmindenség kb. $4,3 \cdot 10^{17}$ másodpercnyi idő, 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.

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 körülfordulásához Párizsban 32,7 óra szükséges. Az Egyenlítőn nem figyelhető meg ez a jelenség. (A közbűlső helyeken a lengési sík forgási sebessége a szélességi körtől függ.)

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 l hossza és az adott helyre jellemző g nehézségi gyorsulás határozza meg: $T_l = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Keress az emlékeid között olyan élethelyzeteket, amikor az idő „gyorsan” elszállt, illetve csak „lassan” ván-szorgott!
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 elfért rajta. ... A bolygó évről évre gyorsabban forgott, a parancs viszont maradt a régi.
– És most, hogy percnként fordul egyet a tengelye körül, nincs egy másodpercnyi nyugalom! Percenként oltok meg gyújtók.
– Figyelj csak ide... Tudok egy módot rá, hogy pihen-hess, 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, amelyben „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 lengés-időre vonatkozó összefüggés és a mért adatok alapján számold ki a g nehézségi gyorsulás értékét! Több fonál-hossz 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 hosszirányába mentén 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 nevez-zük, amelynek fél lengésideje 1 másodperc. Mekkora a hossza? Mekkora az 1 méter hosszú fonálinga fél lengésideje?
4. A Nemzetközi Űrállomáson, a súlytalanság állapotá-ban a testek súlya hagyományosan nem mérhető. Hú-zó-nyomó rugóra rögzítünk egy 5 dkg-os testet, majd rezgésbe hozzuk. 10 teljes rezgés idejét 14 másod-percnek 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 drót-szálon lengő vasgolyó lengési síkja elfordul a Földhöz képest. A valóságban a lengési sík nem változik, ha-nem a Föld fordul el az inga alatt. Óránként hány teljes lengést végez a vasgolyó?
6. Gondolatban elviszünk a Földről a Nemzetközi Űr-állomásra, illetve a Holdra egy fonálingát és egy ru-gót, amelynek az egyik végéhez egy test van erősítve. Mindkét eszközzel egy-egy periodikus mozgást vizs-gálhatunk. Hogyan változik a lengés, illetve a rezgés Földön mért periódusideje az Űrállomáson, illetve a Holdon?

24. | Rezonanciakatasztrófák

Csillapított 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. Akárhogyan indítjuk is el a rendszert, akármilyen kezdeti amplitúdót alkalmazunk, azt figyelhetjük meg, hogy a rezgés amplitúdója fokozatosan csökken. Ezt úgy fogalmazhatjuk meg, hogy a rezgés **csillapodik**. Egyes trükkökkel, például azzal, ha a rezgő rendszer körül légüres teret hozunk létre, a csillapítás mértékét jelentősen csökkenthetjük. Azt mondhatjuk, hogy ezekben az esetekben 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:

$$E_{\text{teljes}} = E_{\text{mozg.}} + E_{\text{hely.}} + E_{\text{rug.}} = \frac{1}{2}mv^2 + mgh + \frac{1}{2}Dy^2 = \text{állandó.}$$

A mozgási energia a rezgés két szélsőhelyzetében nulla, mert ott egy pillanatra a mozgásirányváltáskor megáll a test. A legnagyobb mozgási energiája akkor van a testnek, amikor éppen az egyensúlyi helyzetben halad át, ott a legnagyobb a sebessége. A magassági helyzeti energia felfelé mozogva növekszik, lefelé haladva csökken.

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 ener-

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. Kisebb-nagyobb 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, ami azóta is áll, nem kezd lengésekbe a szél hatására. Vajon miért?



■ A Tacoma-híd katasztrófája



■ A Tacoma-híd napjainkban

MÉRD MEG!

A függőlegesen felfüggesztett rugó végére egy fonál segítségével kössünk egy alumíniumtestet! A testet merítsük mézbe vagy glicerinbe (ezekben a sűrű, nagy belső sűrűségű 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. (Túlcillapított rezgés.)

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 változatlanak tűnik. Miért kell az apának mégis időről időre energiát adnia?
- Milyen ütemben érdemes az apukának a hintát löknie?



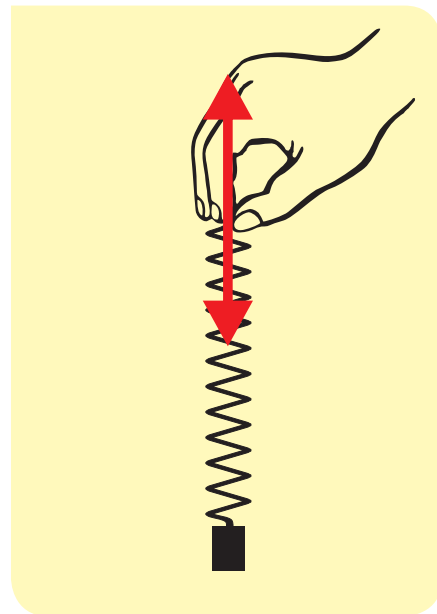
giája folyamatosan csökken. A rezgés energiája szétszóródik (idegen szóval disszipálódik) a környezetbe. Az ilyen mozgást **csillapított szabad rezgésnek** nevezzük. Megállapíthatjuk, hogy minden hosszú időre magára hagyott rezgő rendszer csillapodó. Ez azzal jár, hogy a rezgő test amplitúdója fokozatosan 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 közeg-ellenállási erő a sebességgel egyenesen arányos, és a test sebességével ellentétes irányú. Ha a test gyorsabban mozog, a közeg-ellenállási erő akkor is a sebességgel ellentétes irányú, azonban ilyenkor már a sebesség négyzetével arányos nagyságú.

Ha a csillapítás nem kivételesen nagy, akkor ugyanazon rendszer csillapítatlan és a csillapított szabad rezgéseinek rezgésidője, 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. A szabad rezgések frekvenciáját nevezzük a rendszer **sajátfrekvenciájának**. A sajátfrekvenciát f_0 -val jelöljük.

A kényszerrezgés

Sokszor az a célunk, hogy a rezgő (lengő) rendszer energiája változatlan maradjon. Ilyenkor a környezetbe szétszóródó 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.



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 mozgása 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.

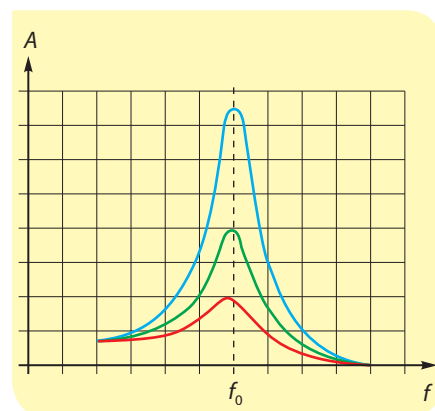
A hintázó gyerek is akkor repül a legmagasabbra, ha a szülő a hintázó gyerek sajátfrekvenciájának ütemében lökdösi a hintát. Tehát éppen olyan időközönként kell meglöknünk a hintát, mint az ingamozgás lengési ideje. Ha mindig ugyanannyira lökjük meg a hintát, akkor állandósult állapot alakul ki. Felmerülhet 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.

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.

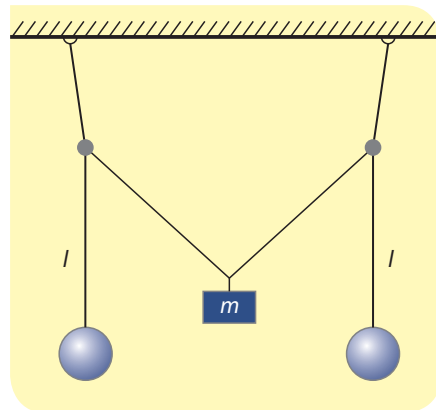
Csatolt rezgések

A kényszerrezgések érdekes speciális esetének tekinthetők az úgynevezett **csatolt rezgések**. A jelenséget például úgy hozhatjuk létre, ha két felfüggesztett, azonos hosszúságú fonálinga között egy nehezebb 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.



■ 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

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.

Hallottál róla?

Járművek haladásakor fontos, hogy az út egyenetlenségei okozta rázkódást csillapítsuk. Ezért a járműveinknek rugózniuk kell. Azonban nagyon kellemetlen lenne, ha a járművek hosszasan rezegnének minden úthiba hatására.



■ Lengéscsillapító. Miért nehéz igazán jó lengéscsillapítót készíteni?

Ezért a rugózást úgynevezett lengéscsillapítással együtt alkalmazzák a járművekben. Ez azt jelenti, hogy a rugózó szerkezetekbe tudatosan erős csillapítást építenek be. A lengéscsillapítók 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 nevezték 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 kedvükre

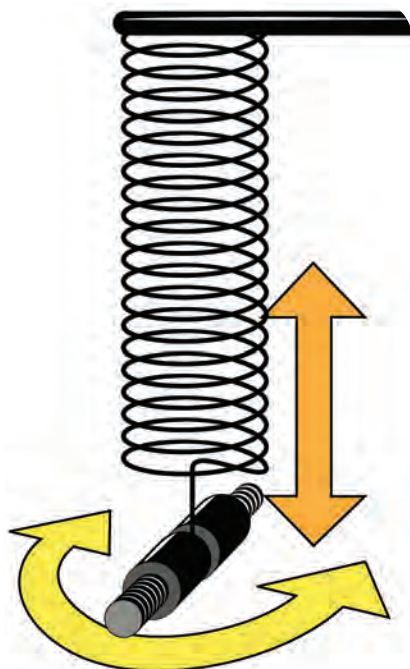


■ Mi a közös a három képen látható jelenségben?

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 létrehozhatasz 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?

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 csavarrugóból 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 órásműhelyek 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 tapssal 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 ösztönei tettségnyilvánítás hajtotta, hanem pusztán a megfelelő hangerő elérése.

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 legalsó 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 legalsó pontjába!)
- A rugó alsó végére egy 5 dkg -os súlyt akasztunk. A rugó másik végét lassan megemeljük, majd függőleges egyenes mentén periodikusan mozgatjuk. A mozgás frekvenciáját nagyon lassan növeljük. Amikor a frekvencia 2 Hz lesz, a test leesik a rugóról. Mekkora a rugó rugóállandója?
- Egy rugón függő játékgurát függőleges rezgésbe hozunk egy bizonyos legnagyobb kitéréssel. Egy másik alkalommal kétszer akkora legnagyobb kitéréssel mozog a játékgura.
 - A második mozgás létrehozatala hányszor több energiát igényelt, mint az első?
 - A második alkalommal hányszor nagyobb a játékgura 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 rezgőképes rendszer?
- Járj utána az interneten, hogy mit nevezünk kelta könek! 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 Olá-t (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

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 tegeye 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. 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.

Ugyanilyen hullámokat kelthetünk egy hosszabb méretű spirálrugó (Slinky) segítségével is. A rugót fektessünk 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 hossziránya mentén, 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 menetei a rugó hossz tengelyére merőlegesen mozdulnak 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.

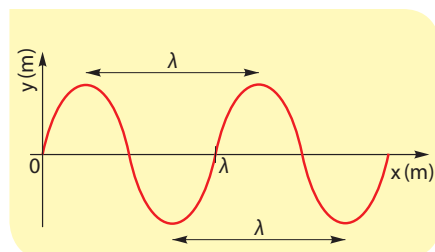
A mechanikai hullámokon belül megkülönböztetjük a **lökéshullámokat** és a **haladó hullámokat**. Lökéshullám keletkezésekor a kiindulópontból rövid idő alatt jelentős mennyiségű energia áramlik ki, melyet a későbbiekben nem pótlunk, így egyetlen jel fut végig a közegen. A **mechanikai haladó hullámok** előállításakor a hullámforrásból kiáramló energiát folyamatosan pótoljuk, vagyis a hullámforrás folyamatosan működik.

A mechanikai haladó hullámok jellemzői

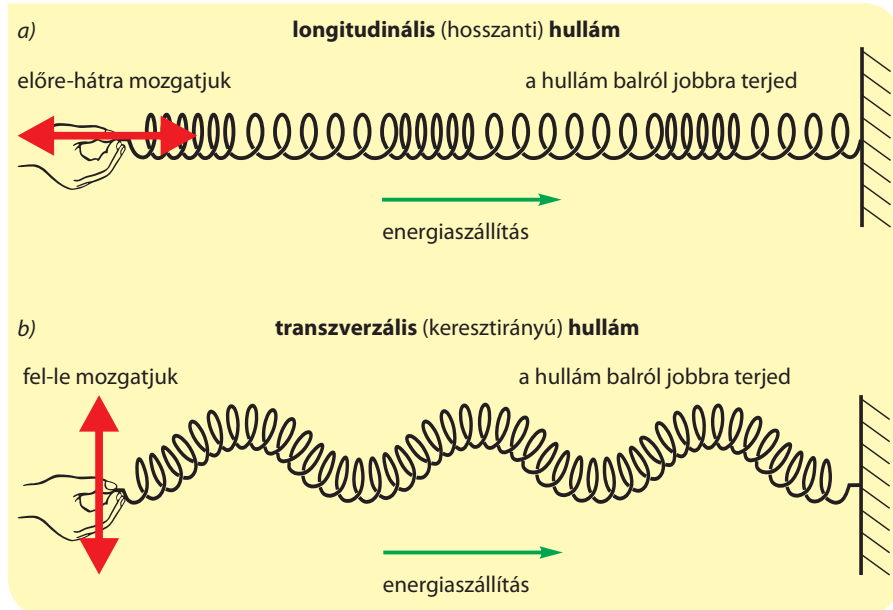
A hullámtér pontjai, vagyis a mechanikai haladó hullámot szállító közeg részecskéi rezgőmozgást végeznek T periódusidővel. Ha lerajzoljuk a hullámot, amint azt az ábra is mutatja, akkor megfigyelhetjük, hogy a hullámalak térben ismétlődik, vagyis **a hullám nemcsak időben, hanem térben is periodikus**. 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) egynemű közegben viszont egyenesen halad állandó sebességgel. A hullám haladását a **terjedési sebességgel** jellemezzük. A terjedési sebesség jele: c , mértékegysége: m/s.



■ A hullámhossz meghatározása a hullámkép alapján.



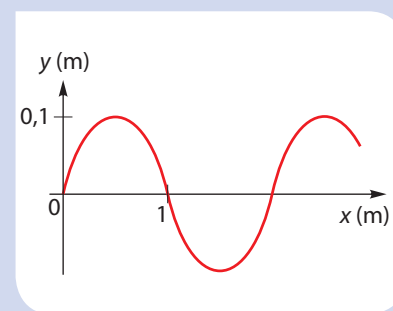
■ Hosszú csavarrugóban terjedő longitudinális (hosszanti) és transzverzális (keresztirányú) hullám

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:

$$c = \lambda \cdot f = (2 \text{ m}) \cdot (5 \text{ Hz}) = \\ = (2 \text{ m}) \cdot \left(5 \frac{1}{\text{s}}\right) = 10 \text{ m/s.}$$

A hullám T periódusidő alatt λ hullámhossznyi 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:

$$c = \lambda \cdot f.$$

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 hordozóközegre.

NE HIBÁZZ!

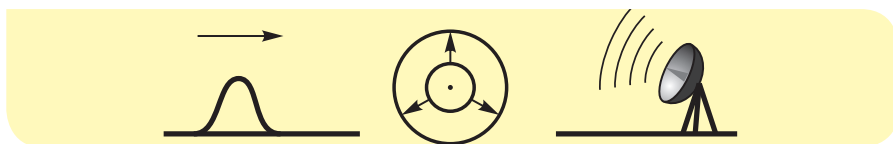
A hullámban a részecskék nem mozognak tartósan egy irányban. Haladó hullámokban a rezgési állapot, illetve a hullám által szállított energia terjed, a közeg helyben marad.

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.

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 ejtett kavics, a dobverő felületi hullámokat kelt a dob kifeszített membránjában. A gyorsan egymásnak csapott tenyerünk (a taps) a levegő sűrűsödés-ritkulását indítja el, ez a lökéshullám térben terjed. A hullámok csoportosíthatók a hordozó közeg kiterjedése szerint.



A vonal menti, a felületi és a térbeli hullámok egy-, két-, illetve háromdimenzióban terjednek

Ennek alapján léteznek:

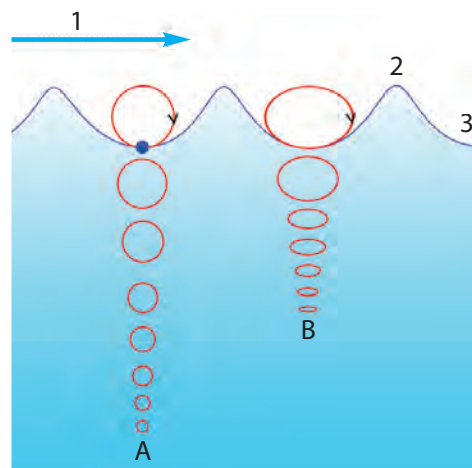
- vonal menti,
- felületi,
- térbeli hullámok.

Gondold meg!

A tavak, tengerek felületén a szél hatására kialakuló vízhullámokról könnyen azt hihetjük, hogy ezek transzverzális, vagyis keresztirányú hullámok. Azonban a víz 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 egyenes körmozgást végeznek, amint ez az ábra bal oldali részén látható. Ha a víz sekély, akkor a körmozgás lapultabb ellipsziszzerű 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

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Keress az interneten olyan filmet, ami stadionban kialakuló mexikói hullámot mutat! Végezz becslést a hullám terjedési sebességére!
2. Járj utána (akár az interneten), hogyan függ a víz hullám 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 jobbján álló társa kezét, és innentől akinek megszorítja valaki a bal kezét, az megszorítja a jobbján álló kezét. Jellemezd az így létrejövő hullámot! Lökéshullám vagy haladó hullám? Transzverzális vagy longitudinális hullám? Esetleg nem is lehet ezt egyszerűen eldönteni?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Egy kilátótorony 45 méter magasan lévő teraszáról kiejtünk egy kavicsot. Mennyi idő múlva halljuk meg a kavics földet érésekor 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 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 m, hullámhossza 0,5 m. Kitérés-hely koordináta-rendszerben készítsd el vázlatosan a hullám „pillanatfelvételt”!
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?

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 hullámtér kiterjedés alapján: vonal menti, felületi, térbeli hullámok.
- a hullám terjedési irányához képest a közeg részecskéinek elmozdulási iránya szerint: transzverzális, longitudinális hullámok.

26. | Földrengések

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.



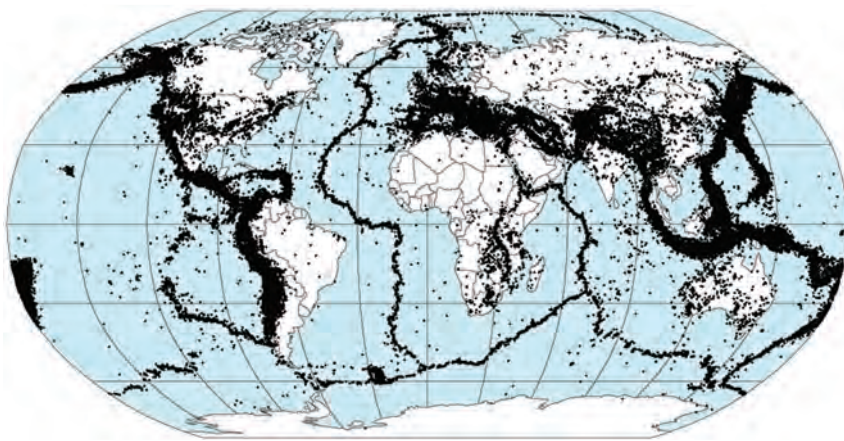
■ Namazu

Földrengések keletkezése

A Föld felszínének egy részén bekövetkező hirtelen mozgást és ennek térbeli tovatérését 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 létrejöttékor 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) hullámnak** nevezzük. A primer hullám longitudinális, folyadékban és szilárd anyagban is terjed. A hullámban a részecskék mozgásiránya megegyezik a hullám haladási irányával, összehúzódsági és kitérési szakaszok követik egymást.

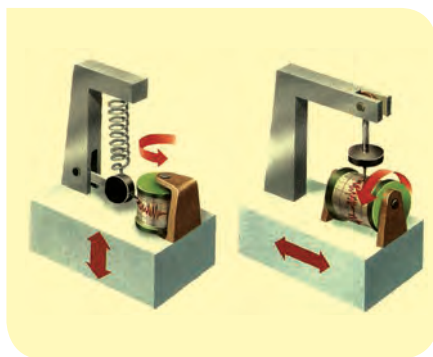
Az elsődleges hullámot kissé lemaradva követi az **s (szekunder, másodlagos) hullám**. A szekunder hullám transzverzális hullám, csak szilárd anyagban figyelhető meg. Ebben a hullámban a részecskék mozgásiránya merőleges a hullám haladási irányára. Mivel a térhullámok a Föld belsejében terjednek, és a különböző sűrűségű anyagokban különböző sebességgel haladnak, felhasználhatóak arra, hogy segítséggükkel 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 mozdulnak el. Ezért az L-hullámok transzverzálisak.

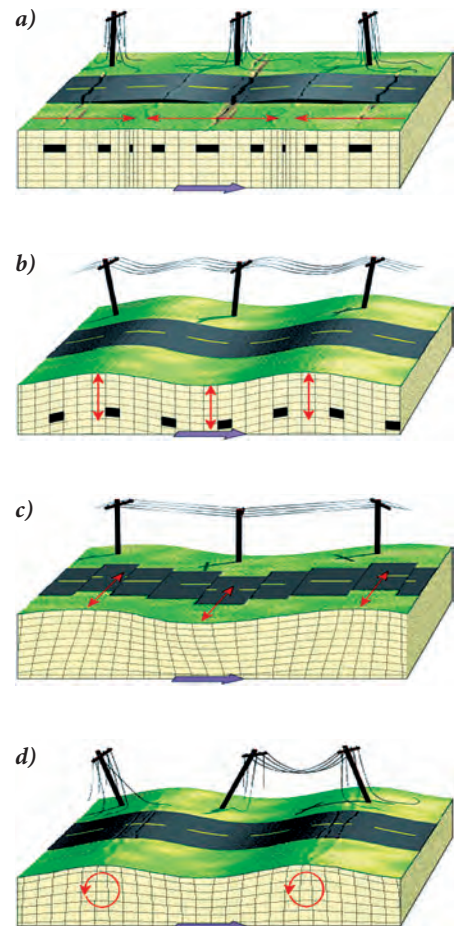
A felületi hullámok másik fajtáját Lord Rayleigh fedezte fel 1885-ben, és róla **R-hullámok**nak nevezték el. Ezek hasonlóak a vízhullámokhoz, kissé lassabbak az L-hullámoknál, de még így is nagyjából tízszer gyorsabbak a hang levegőbeli terjedésénél, vagyis nagyjából $3 \text{ km/s} \approx 10\,000 \text{ km/h}$ 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

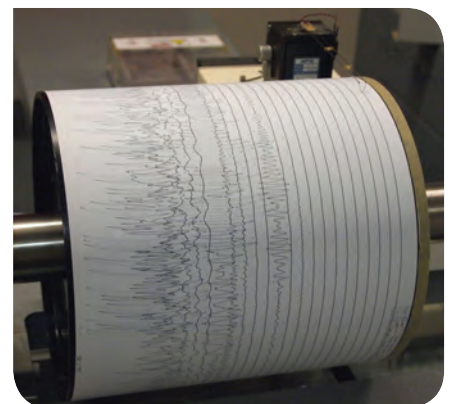


■ A függőleges és vízszintes talajmozgást rögzítő szeizmográf működési elve

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 igyekszik 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

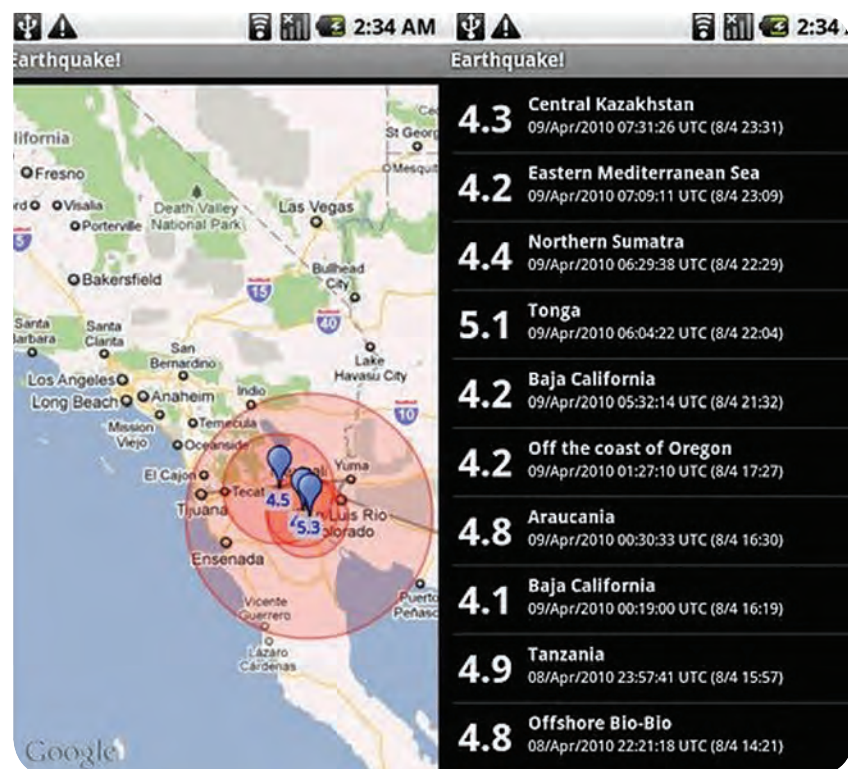
A földrengés pusztítását alapvetően a rengés kipattanásakor felszabaduló energia határozza meg. A rengés erősségét a szeizmográf által jelzett legnagyobb kitérés és az epicentrumtól való távolság felhasználásával számolják ki. Így lehet kiszámolni, az adott földrengés Richter-magnitúdóját. A skála nem 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 egésszel 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-ös. 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 lökdössel megrezegtetünk, a kijelző élénk grafikonkitérésekkel reagál. Beállíthatunk hangriasztást is bizonyos rezgésnagyság elérése esetére, így aki amiatt aggódik, hogy a fejére zuhanó könnyveszpolc ébreszti, kérhet ébresztést például 3,5-es rengések mérésére, s még idejében menekülőre foghatja.

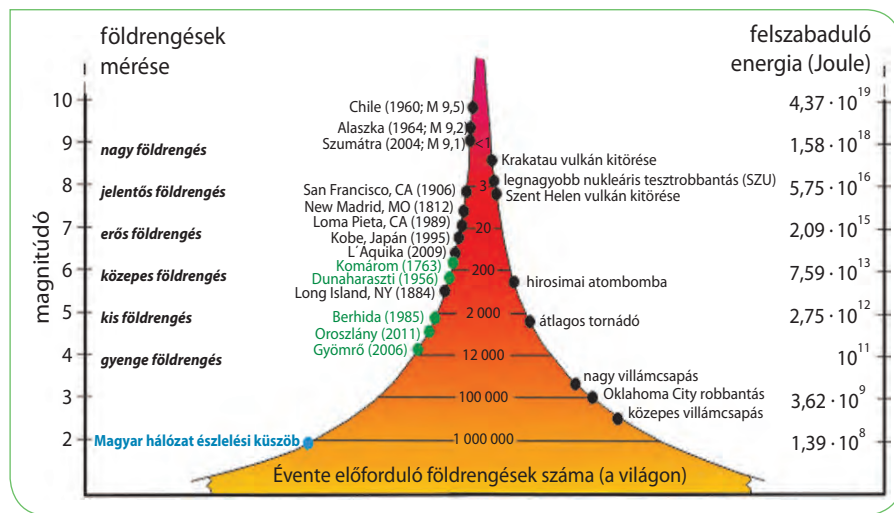
Ingyenesen letölthető olyan alkalmazás is, ami naprakészen tájékoztat a világban kipattant földrengésekről.



■ 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



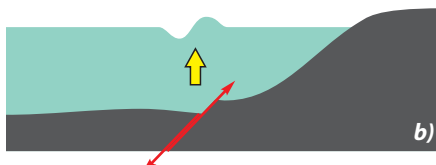
A földrengés kutatók empirikus (vagyis tapasztalatokon alapuló) összefüggést találtak a szeizmográfok kitérési amplitúdója és a földrengések energiája között. Ez az összefüggés azt mondja ki, hogy ha az amplitúdó tízszeresére növekszik, akkor a földrengés energiája kerekítve 32-szer nagyobb (a pontos 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-ös 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-öshöz képest 5 magnitúdóval nagyobb.

NE HIBÁZZ!

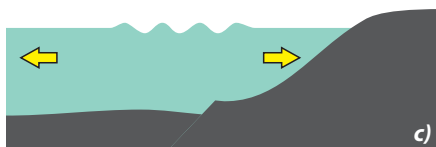
Nagyobb földrengések után vannak emberek, akik a világvége közeli eljövételét hirdetik. Ez nyilván butaság, hisz a feljegyzések szerint már az ókorban is voltak pusztító erejű földrengések.



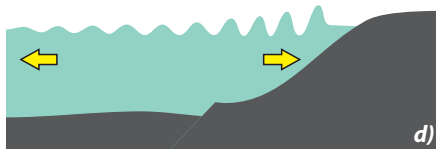
a)



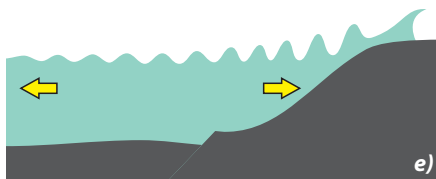
b)



c)



d)



e)

- A cunami kialakulása:
- a) nyugodt vízfelszín;
- b) a tenger alatti földrengés deformációt okoz a felszínen;
- c) a forrástól gyorsan távolodó, nagyon széles, kis magasságú hullám;
- d) a part közelében feltorlódik, a hullámhegy megnő;
- e) a hatalmas hullámok mélyen behatolnak a szárazföld belsejébe



■ A 2004. karácsonyi szökőár pusztítása Szumátrán

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-ös 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 (Olvasmány)

A tengeri árkokban kipattanó földrengés, víz alatti tűzhányó felrobbanása vagy tenger alatti földcsuszamlás tengerrezgést, 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 vízen 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 tengerrezgésekre 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 vízen 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.



■ Part menti falu pusztulása Szumátrán a 2004 karácsonyi cunami következtében

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 magnitúdó egységben 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.

Tőled függ!

Néhány jó tanács földrengés esetére:

Ha a rengés épületben ér minket, akkor bújjunk el egy asztal alatt vagy egy szekrényben! A szabadban menjünk távol az épületektől, fáktól, elektromos vezetéktől! A földrengés után hagyjuk el a megsérült épületet, és készüljünk fel az utórengésre!

Ha a tenger partján ér minket a földrengés, és kissé később azt tapasztaljuk, hogy a tengervíz a parttól váratlanul, gyors ütemben visszahúzódik, akkor azonnal magasabb, erősebb épület emeletére kell húzódnunk, mert nagy valószínűséggel cunami közeledik.

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, Saanhsziban történt. 830 ezer ember meghalt, másfél millió megsebesült. Az utólagos kutatások szerint ez a rengés 8-as 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. Az első ilyen épület az időszámításunk előtti 6. században Nagy Kürosz király síremlékeként épült az ókori Perzsiában, Paszargadai városában. A feltárások megmutatták, hogy a hatlépcsős piramis tetején zömök lábakon álló sírház alatt kettős alapozást építettek. Széles lapos kövekből épült az alsó, a köveket malterrel rögzítették egymáshoz, és végül a tetejét simára csiszolták. Erre helyezték az ugyancsak simára csiszolt második alapot adó lapos köveket, majd az egész épületet. Földrengés esetén csak az alsó alap mozdul el, a felette lévőhöz képest kissé elcsúszik, de így a mozdulatlan épület sértetlen marad.



■ Kürosz sírja

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Járj utána az interneten, és jelöld egy térképen, hol voltak földrengések az elmúlt 24 órában!
2. Járj utána, hogy a cunaminak milyen előjelei lehetnek!
3. Előfordulhat-e, hogy egy bolygón egyáltalán nincs földrengés?
4. Keresd meg az interneten, hogy Tarics Sándornak milyen, a földrengés kárait csökkentő építészeti találmánya volt!
5. Földrengés előtt az állatok furcsán viselkednek, mintha előre éreznék a közelgő földrengést. Mi a magyarázata ennek?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. A „sekély vízhullámok” 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 vízen, illetve partközélben, ahol 10 m a vízmélység?
 2. Hány joule energia szabadulhatott fel a világ eddigi legnagyobb 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.
3. 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?

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?

27. | Mi az energia, és mivé alakul?

Az energia talán a legfontosabb fogalom a fizikában, de nemcsak a fizikában, hanem a többi természettudományban, a műszaki tudományokban, a közgazdaságtanban, sőt a mindennapi életünkben is fontos. 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.



■ Gépkocsik nélkül szinte elképzelhetetlen az életünk

Munka, energia

Az eddigiekben már tanultunk a munkáról és az energiáról. A most következőkben ismétlő, rendszerező, összefoglaló jelleggel újra ezekről a fogalmakról tanulunk. Ezt azért tesszük, hogy világosan kiderüljön, a mindennapi életünkben, a technikai környezetünkben csak akkor tudunk eligazodni, helyesen dönteni, ha jól értjük a munkavégzés és az energiaátalakulások folyamatait. A téma tárgyalása során példaként a gépkocsik működését fogjuk részletesen elemezni. Az energia rövid, széles körben elfogadott (ám nem teljesen pontos) meghatározása ez: **az energia munkavégző képesség**. Ennek alapja az, hogy **az energiát vagy munkavégzésre használjuk, vagy más energiaformákká alakítjuk át**.

Gépkocsik

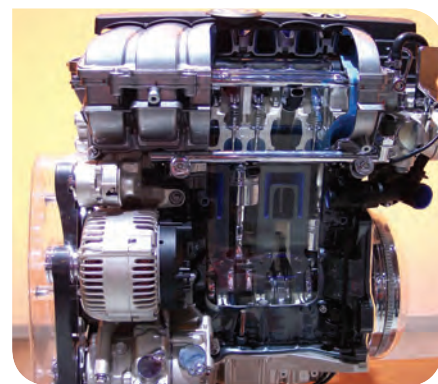
A fejlett országokban mára a gépkocsigyártás vált az egyik vezető iparággá. Az Egyesült Államokban az érvényes rendszámtáblák száma mára már meghaladja az érvényes jogosítványok számát, ami azt jelenti, hogy Amerikában több gépjármű üzemel, mint ahány sofőr van az országban. A hagyományos gépjárművekben az üzemanyag vagy benzin, vagy dízelolaj, mindkettő jellegzetes szagú folyadék. A motor hengerterében elég (felrobban) az üzemanyag, így nagy nyomású, magas hőmérsékletű gáz alakul ki. Az energia szempontjából azt mondjuk, hogy **az üzemanyag kémiai energiája alakul át termikus energiává**. A termikus energiát régebben hőenergiának hívták, manapság szívesebben beszélnek helyette belső energiáról. Lényegében arról van szó, hogy a forró gázban a gázmolekulák nagy sebességgel összevissza, rendszertelenül mozognak, az üzemanyag kémiai energiája döntő módon a gáizrészecskék rendszertelen mozgási energiáját növeli meg.

Motorok munkája

A motorok hengerterében az elégett forró üzemanyag kis térfogatú és igen nagy nyomású. Ezután következik az úgynevezett „munkavégző szakasz”, vagyis a forró gáz kitágulása. Ez úgy lehetséges, hogy a nagy nyomású gáz elmozdítja a hengertérben lévő dugattyút, a gáz nagy erővel hat az elmozduló dugattyúra, tehát mechanikai munkavégzés történik, amiről már tanultunk. **A mechanikai munkát az erő és az elmozdulás szorzataként számíthatjuk ki, ha az erő és az elmozdulás megegyező irányú**. Energetikailag a folyamatot úgy írhatjuk le, hogy az elégtő üzemanyag termikus energiája csökken, a gáz lehűl. Az energiacsökkenés lényegében a gáz által végzett mechanikai munkával egyezik meg. Az elmozduló dugattyú a hajtórúdon keresztül fél fordulattal elforgatja a forgattyús tengelyt (más néven a főtengelyt), és ez a fél fordulat jelenti a négyütemű motorok esetén a munkavégzést. A másik három ütemben három félfordulat történik, vagyis a négyütemű belső égésű motorok esetén egy hengerben a működés egynegyedében történik csak munkavégzés. Az egyenletes meghajtás érdekében a legtöbb személygépkocsiban négy, eltolt fázisban működő hengert alkalmaznak, továbbá megfelelően elhelyezett lendkerekekkel is növelik a jármű sima futását. A hatalmas piaci verseny következtében a gyártók négy-nél nagyobb hengerszámokkal is próbálkoznak, és a sokhengeres motorral rendelkező autók gyakran igen keresettek a nagypénzű vásárlók körében.

Súrlódás nélkül nem megy!

Ezek után azt mondhatnánk, hogy a gépkocsikat a motor hajtja, hiszen próbáljunk csak autózni kiszerelt motorú kocsival. Azonban a fizika mást mond. Az igaz, hogy a motor hengereiben lévő dugattyúk a főtengegy megforgatásával bonyolult fogaskerekekből és tengelyekből álló áttételeken keresztül megforgatják az autó kerekeit, azonban ahhoz, hogy a gépjármű felgyorsuljon, a kerekek megforgatásán kívül valami másra is szükség van. Gondoljunk csak arra, hogy tükörjégen szinte lehetetlen elindulni. Vagy ha lejtőn felfelé akarunk elindulni igen jeges úton, akkor még az is előfordul, hogy hátrafelé csúszunk, pedig a sebességváltót nem is kapcsoltuk hátramenetbe (aki már átélt ilyen helyzetet, nemigen felejtí el). Megállapíthatjuk, hogy **az autó felgyorsításához súrlódásra is szükség van**, sőt még azt is észrevehetjük, hogy ha nem pörögnek ki a kocsik meghajtott kerekei, akkor tapadó súrlódás lép fel, a tapadási súrlódási erő hajtja a gépkocsit. Ezért kell jó állapotban lévő gumiabroncsokkal autózni, ezért kell havas, jeges utakon hóláncot használni, hogy a gépkocsink ne csúszkáljon az úton, hanem arra haladjon, amerre mi szeretnénk. Induláskor a meghajtott kerekek hátrafelé akarják nyomni a talajt, a talaj pedig ugyanekkor erővel előrenyomja a gépkocsi gumiabroncsát. Ezt a párkölcsönhatást (a talaj és a gumiabroncs közötti kölcsönhatást) nevezzük súrlódási erőnek. Tehát az autót a talaj által a gumiabroncsokra kifejett (jó esetben tapadási) súrlódási erő indítja el előre.



- Melyik alkatrész végzi elsődlegesen az erő szorozva elmozdulás összefüggéssel leírható munkát?

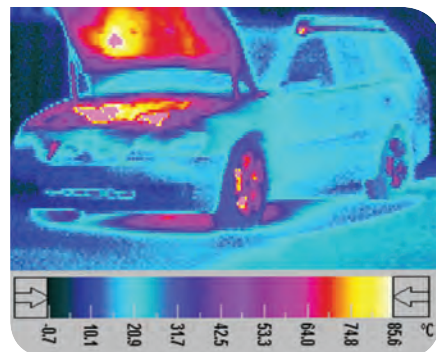


- A biztonságos autózáshoz havas, jeges úton a hólánc használatával tudjuk biztosítani a kerekek tapadását, vagyis az út és a kerekek közötti elegendő súrlódást

MI LESZ AZ ELÉGETETT ÜZEMANYAGBÓL? (Olvasmány)

A legtöbb magánkézben lévő gépkocsi reggel elindul újtára, majd este ugyanoda érkezik vissza. Miben különbözik egymástól a reggeli és az esti autó? Este kevesebb üzemanyag van a tankjában (tétélezzük 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 sebessége) megváltozik. **A hő 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 féktárcsák (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 hőveszteség**. A motorokból távozó kipufogógázok ugyan hidegebbek, mint az elégs 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.



- Autózás közben a motor különböző részei eltérő módon melegednek fel



- Mivé alakul végső soron az elektromos autó „üzemanyaga”?



■ A légellenállás igen jelentős hatás, ha a járművek nagy sebességgel haladnak

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 energia-átalakítási 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, foglalmaink 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.

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 közeg-ellenállási erő együttes nagyságának meg kell egyeznie a meghajtott kerekekre ható előremutató tapadási súrlódási erő nagyságával, amit a motor forgató hatása vált ki. A mai autókban légkondicionáló berendezés is szokott működni, ha meleg időben szükségünk van a használatára. A légkondicionáló működése is az üzemanyag kémiai energiáján alapszik. A berendezést a járművek motorterében szokták elhelyezni, tehát a motortérben van egy hőcserélő, ahol a légkondicionáló leadja azt a hőt, amit kiszivattyúz a jármű utasteréből. Azonban a hőcserélőben nemcsak az utasterből kiszívott hőt, hanem a légkondicionáló működéséhez szükséges elektromos energiát is hő formájában adja le a rendszer. Tehát légkondicionáló működésekor egy kis tartományban (például az autó utasterében) csökken a termikus energia, a környezetben viszont nemcsak ugyanennyivel, hanem még a légkondicionáló működéséhez felhasznált energiával is megnövelve növekszik.

Ezek után próbáljunk meg más energiákat találni, olyanokat, melyek talán nem a környezet melegítésével végzik pályafutásukat az autók működése során. Számos villamos berendezés is van a kocsikban, például sokan nagyon szeretik a jó minőségű, nagy hangerővel működő hifiberendezéseket. Az autó motorjához kapcsolódó elektromos generátor (elnyésző 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.

Saját levünkben fölünk?

Eddig csak az autózásra koncentráltunk. Azonban ugyanígy megmutatható, hogy **szinte minden emberi tevékenység végső soron a földi környezet melegítésével jár**. Mégsem kell attól tartanunk, hogy megállíthatatlanul felmelegítjük a Földet (bár nagy valószínűséggel jelenleg egy melegedő időszakot élünk át). Ennek oka az, hogy a testek hőmérsékleti sugárzást bocsátanak ki, így a Föld a felesleges hőt kisugározza a világűrbe. Régóta többé-kevésbé egyensúlyi állapot alakult ki az elnyelt és a kisugárzott energia között. Az egyensúlyi

hőmérséklet eltolódhat a légkörben felhalmozódó üvegházhatású gázok miatt (az üvegházhatásról a későbbiekben fogunk részletesebben tanulni). A véletlen ingadozások miatt nagyon nehéz biztos előrejelzést felállítani arra nézve, hogy vajon az emberi tevékenységnek van-e lényeges szerepe az üvegházhatást és a globális felmelegedést illetően. Nagyon nehéz előre jelezni a várható folyamatokat, azonban az talán már most is kimondható, hogy **a Föld energia-háztartásában bekövetkező csekély változások is erőteljesen éreztetik hatásukat mindennapjaink során.**



■ Az emberiség által felhasznált energiából egy igen csekély mennyiség fény formájában úgy jut ki a világűrbe, hogy közben nem melegíti a Földet

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Sorolj fel minél több „energiafajtát”!
2. Sorolj fel fosszilis és nem fosszilis energiaforrásokat, energiahordozókat!
3. Milyen fizikai és kémiai folyamatok során „állítunk elő” elektromos energiát?
4. Sorolj fel példákat arra, amikor takarékoskodunk az energiával, és gyűjts össze példákat arra is, amikor pazaroljuk az energiát!
5. A jó minőségű elektromos kerékpárok lejtőn lefelé menet energiával töltik fel a jármű akkumulátorát. Az ilyen kerékpároknak lassabban kopik a féke. Vajon miért?
6. 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. Magyarazzuk 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. Mondjál példákat arra, 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 szén-dioxid-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 egyenesen 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 benzintől 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 benzintől az autópályán 100 kilométeren a megengedett sebesség esetén 7 liter. A benzin fűtőértéke 43 MJ/kg. Nézz utána, mennyibe kerül egy liter benzin!
 - a) Mennyibe kerül fajlagosan az energia (Ft/MJ), ha ezt benzin formájában „fogyasztom el”?
 - b) Mennyi „energia árán” teszünk meg egy kilométert ezzel a személygépkocsival az adott sebesség esetén?
7. Mennyibe kerül az egy kilométer út megtételéhez szükséges üzemanyag ilyen sebesség és tempó mellett? 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)?

28. | Energia nélkül nem megy...

A jóhoz nagyon könnyű hozzá szokni, a rosszhoz nem nagyon lehet. Ezért sokszor elfelejtjük, hogy kényelmes életünk azért annyira kellemes, mert eszközök és gépek sokasága szolgál ki minket, melyek rengeteg energiát fogyasztanak. Nagyon sok energiát felhasználó járművekkel közlekedünk, lifteket, mozgólépcsőket használunk, kényelmesen fűtjük télen és sok esetben hűtjük nyáron a lakásunkat, a világítás mellett rengeteg egyéb célra is felhasználjuk az elektromos energiát, és elvárjuk, hogy az áramszolgáltatás folyamatosan rendelkezésünkre álljon.

Életünk minden pillanatában energiát használunk, testünk különböző szöveteiben bonyolult biokémiai folyamatok segítségével energiát alakítunk át, gyakran végzünk mechanikai munkát, és folyamatosan hőt termelünk. Az emberi testhez nagyon hasonló módon energiaátalakító folyamatok zajlanak minden állati szervezetben, sőt a növényekben is.

EMLÉKEZTETŐ

Az energia szoros kapcsolatban áll a munkavégzéssel, amit a mechanikában az erő és az elmozdulás szorzataként számíthatunk ki, ha az erő és az elmozdulás iránya megegyezik. Ha az erő és az elmozdulás iránya különböző, akkor a munkavégzést az elmozdulás irányába eső $F_{\text{párh}}$ erőösszetevő és az s elmozdulás szorzataként kaphatjuk meg:

$$W = F_{\text{párh}} \cdot s.$$

Munkavégzés segítségével energiát adhatunk a testeknek, az energiát pedig ismét munkavégzésre használhatjuk. A munka (és az energia) mértékegysége a joule (amit J betűvel rövidítünk és „zsúl”-nak ejtünk).

1 joule = 1 J = 1 N · 1 m = 1 newton · 1 méter.

A teljesítmény (pontosabban az átlagteljesítmény) a munka és az idő hányadosa: $P = \frac{W}{t}$.

Egy gépnek akkor nagy a teljesítménye, ha rövid idő alatt nagy mennyiségű munkát végez. **A munkának és az energiának ugyanaz a mértékegysége: joule (J), a teljesítményé pedig watt (W).** A teljesítmény meghatározásából következik, hogy a két mértékegység között fennáll a következő összefüggés:

1 J = 1 W · 1 s = 1 Ws, amit wattszekundumként szokás kiolvasni.

MÉRD MEG!

Feladat: Vegyünk a kezünkbe egy súlyzót (mondjuk 5 kg-osat), és kezdjük el emelgetni. Számoljuk meg, hogy hány súlyzóemelést végeztünk, és ehhez mennyi időre volt szükségünk! Mérjük meg, hogy egyetlen emeléskor mekkora a súlyzó magasságváltozása! Ezután számítsuk ki az általunk végzett teljes emelési munkát és az átlagos teljesítményünket is!



Megoldás: Ha hússzor emeltük fel az 5 kg tömegű, tehát hozzávetőlegesen 50 N súlyú testet, és egyetlen emelés magassága kb. 60 cm = 0,6 m volt, akkor a teljes emelési munka $20 \cdot 50 \text{ N} \cdot 0,6 \text{ m} = 600 \text{ J}$ volt. Ha a gyakorlat elvégzéséhez 20 másodpercre volt szükségünk, akkor az átlagos mechanikai teljesítményünk $600 \text{ J} / 20 \text{ s} = 30 \text{ W}$ volt. (Úgy tekintjük, mintha a súlyzó lefelé történő mozgásakor mi nem végeznénk munkát, hanem csak a nehézségi erő.)

Gondold meg!

Ha egy 100 gramm (= 0,1 kg) tömegű csokoládét veszünk a kezünkbe, akkor ezt a tábla csokit nagyjából 1 newton erővel tudjuk megtartani. Ha a csokit 1 méter magasba emeljük, akkor 1 joule munkát végzünk, hiszen $1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$. Nem mindegy, hogy milyen gyorsan végezzük az emelést. Ha 1 másodperc alatt emeljük fel a csokit 1 méter magasra, akkor a teljesítményünk is egységnyi, vagyis 1 watt, hiszen az átlagos teljesítmény a munka és az idő hányadosa: $1 \text{ J} / 1 \text{ s} = 1 \text{ W}$.

EMLÉKEZTETŐ

A munkát, az energiát, a hőt joule-ban mérjük, a teljesítményt pedig wattban. Használjuk ezeknek az egységeknek a többszöröseit is:

1000 J	= 1 kJ	(= 1 kilojoule)
1000 kJ	= 1 MJ	(= 1 megajoule)
1000 MJ	= 1 GJ	(= 1 gigajoule)
1000 GJ	= 1 TJ	(= 1 terajoule)
1000 TJ	= 1 PJ	(= 1 petajoule)
1000 PJ	= 1 EJ	(= 1 exajoule)
1000 W	= 1 kW	(= 1 kilowatt)
1000 kW	= 1 MW	(= 1 megawatt)
1000 MW	= 1 GW	(= 1 gigawatt)
1000 GW	= 1 TW	(= 1 terawatt)
1000 TW	= 1 PW	(= 1 petawatt)
1000 PW	= 1 EW	(= 1 exawatt)

A teljesítmény meghatározásából következik, hogy a teljesítmény és az idő szorzata a munkát adja meg, vagyis a munka és az energia egysége így is kifejezhető:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} \quad (= 1 \text{ wattsekundum}),$$

$$1 \text{ kJ} = 1 \text{ kW} \text{ s} \quad (= 1 \text{ kilowattsekundum}) = 1000 \text{ Ws}.$$

Gondold meg!

A környezetünkben sok gép teljesítménye kilowatt nagyságrendű. Ezeket a szerkezeteket több órán keresztül használjuk, így (különösen az elektromos energia esetén) elterjedt a kilowattóra mértékegység: $1 \text{ kilowattóra} = 1 \text{ kWh} = (1000 \text{ W}) \cdot (3600 \text{ s}) = 3\,600\,000 \text{ Ws} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3\,600 \text{ kJ} = 3,6 \text{ MJ}$. Ennyi elektromos energiáért a háztartásokban manapság nagyjából 40 forintot kell fizetnünk. Ha például a havi villanyszámla 12 000 forint, akkor ennyi pénzért körülbelül 300 kWh elektromos energiát használtunk fel az otthonunkban:

$$300 \text{ kWh} = 300 \cdot 3\,600\,000 \text{ J} = 1\,080\,000\,000 \text{ J},$$

vagyis ez több mint egymilliárd joule energia.

Korábbi példánkban az 5 kilós súlyzó hússzor történt felemelése 600 J munkát jelentett, vagyis az egyszeri felemelés 30 J munkába kerül. Egyszerű osztással győződhetünk meg arról, hogy a havi elektromosenergia-fogyasztásunk (300 kWh) ugyanakkora energiaértéket képvisel, mint az 5 kilós súlyzó 36 milliószoros felemelésekor végzett munka.

Az életünkben hatalmas mennyiségű energiát használunk fel. Mai világunk éppen a roppant mértékű energiafelhasználásunk miatt vált rendkívül kényelmessé számunkra. Az 1850-es év és 2000 között a Föld lakossága ötször nagyobb lett, miközben energiafelhasználásunk ötvenszerezésére nőtt.

Hallottál róla?

Régebben már említettük, hogy a teljesítmény régi mértékegysége a lóerő, aminek a rövidítése LE. A lóerő így fejezhető ki a teljesítmény hivatalos SI-mértékegysége, a watt segítségével: $1 \text{ LE} = 746 \text{ W} = 0,746 \text{ kW} \approx \frac{3}{4} \text{ kW}$.

A gondos vizsgálatok azt mutatják, hogy a lovak tartós terhelés esetén leadott teljesítménye átlagosan valamivel egy lóerő alatt marad. Azonban a lovak csúcsteljesítménye 15 lóerő körül van.

Az emberek tartósan mindössze 0,1 LE teljesítményre, azaz 70-80 W teljesítményre képesek. Az edzett atléták képesek ennek háromszorosára is, vagyis tartósan 0,3 LE teljesítésére. Rövid ideig egy átlagos ember képes 1,2 LE elérésére, a jól felkészült sportolók teljesítménye ennek többszöröse is lehet. A súlyemelésben (lökés) a világrekord 263,5 kg, amit az iráni Hossein Rezazadeh tart a 2004-es athéni olimpia óta. A gyakorlat utolsó fázisában a sportoló nagyjából 40 cm-rel löki a válla magasságától a feje fölé az irtatlan súlyt hozzávetőlegesen 0,3 másodperc alatt. Ekkor a teljesítménye több mint 3,3 kW, ami majdnem 4,7 lóerő!



■ Hossein Rezazadeh kétszeres olimpiai bajnok súlyemelő szakító gyakorlata közben a rövid idejű hatalmas emelési teljesítményét követő pillanatban

NE FELEDD!

A munka és az energia mértékegysége megegyezik, ennek neve: joule, jele J . $1 J$ munkát végzünk, ha $1 N$ erőt fejtünk ki 1 méter elmozdulás mellett, miközben az erő és az elmozdulás iránya megegyezik. Ha az erő és az elmozdulás nem azonos irányú, akkor a mechanikai munkavégzést úgy számítjuk ki, hogy az erőnek az elmozdulás irányú összetevőjét szorozzuk az elmozdulással.

Az átlagos teljesítmény a végzett munka és az eltelt idő hányadosa. A teljesítmény mértékegysége a watt, jele W . Régebben széles körben, ma már ritkábban használjuk a teljesítmény másik mértékegységét, a lóerőt: $1 LE = 746 W$.

Mai világunkban hatalmas mennyiségű energia felhasználásával tesszük életünket kényelmessé. Az elektromos energiát kilowattórában (kWh) szokás megadni:

$1 kWh = 3\,600\,000 J$, és ezért mindössze nagyjából 40 forintot kell fizetnünk. A havi villanyszámla azért olyan magas, mert háztartásonként általában több száz kilowattóra elektromos energiát fogyasztunk.

Tőled függ!

Nagyon sok előnnyel jár, ha kerékpárral közlekedsz, például biciklivel jársz iskolába. Ezzel nemcsak edzed magad, nemcsak egészségesebb, erősebb leszel (miközben a biciklizés szórakoztató tevékenység), hanem energiát is, pénzt is takarítasz meg. Ha ugyanis kerékpárral jársz, nem szükséges tömegközlekedési bérletet vened. Számold ki, hogy hány hónap alatt térül meg a biciklidbe fektetett beruházásod! (A kerékpáros közlekedés veszélyes, be kell tartanod a közlekedési szabályokat, állandóan figyelned kell a körülötted haladó gépjárművekre!)

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Nézz utána, hogy milyen egységben számlázza ki az elektromosenergia-szolgáltató az elektromos energiát! Mennyi elektromos energiát fogyaszt családod havonként és az egész év folyamán?
- Nézz utána, hogy milyen egységben számlázza ki a fűtésszámlát a távfűtőművek! Mennyit fizettek havonta a fűtési időnyelven és azon kívül? Miért fizettek nyáron is?
- Nézz utána, hogy milyen egység(ek)ben számlázza ki a gázszolgáltató az elfogyasztott földgázt és a szolgáltatott hőt! Mennyit fizettek havonta a fűtési időnyelven és azon kívül? Miért fizettek nyáron is?
- Nézz utána, hogy a vízművek felé mennyit fizettek havonta! Milyen „szolgáltatásokból” tevődik össze a számla?
- Becsüld meg, hogy mennyi elektromos energiát takarítasz meg, ha nem lifttel, hanem gyalog mész fel a harmadik emeletre! A megtakarított energiát fejezd ki joule-ban is, kilowattórában is! (Tételezd fel, hogy a lift hasznos munkája 20%-a az elektromos energiafelhasználásnak!)
- Régen Magyarországon a téli elektromos energiafogyasztás nagyobb volt a nyárinál, manapság viszont a nyári fogyasztás a nagyobb. Mi lehet a magyarázata ennek a változásnak?
- Becsüld meg, hogy mennyi mechanikai munkát végzünk, ha a kezünket tíz másodpercig összedörzsöljük! Mekkora a teljesítményünk eközben?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

- Becsüld meg, naponta „mennyi energiát fogyasztasz” a napi tevékenységeid során (ételek formájában, egy főre eső fűtés, használati melegvíz, elektromos energia formájában otthon, iskolában, utazás során személygépkocsival, tömegközlekedési eszközzel stb.), és összegezd ezeket!
- Nézz utána, hogy mennyi Magyarország éves primer energiafogyasztása! Számítsd ki, mennyi Magyarországon az egy főre eső éves és a napi energiafogyasztás! Hasonlítsd össze az előző kérdésben „összesített” eredménnyel! Mekkora különbséget kaptál?
- Versenyeztess barátaidat, és mérd meg, mennyi idő alatt tudnak egyméletnyit felszaladni a lépcsőn! Azt is mérd meg, hogy milyen magas az emelet (például egyetlen lépcsőfok magasságát szorozd össze a lépcsőfokok számával)! Határozd meg kW és LE egységekben a barátaid mechanikai teljesítményét az emeletfutás közben!
- Egy liter benzin nagyjából ugyanannyiba kerül, mint $8 kWh$ elektromos energia. A benzin égéshője nagyobb vagy kisebb, mint a $8 kWh$ energia?
- A cserépkályhában fával tüzelünk. A száraz fa égéshője $16 MJ/kg$, mázsája $2500 Ft$. Egy „begyújtás során” $12 kg$ fát égetünk el.
 - Mennyi az elégetett fa által szolgáltatott hő?
 - Mennyibe kerül egy napi fűtés fával?
 - Hány forintba kerül $1 MJ$ energia, ha azt „száraz fából nyerjük ki”?
- Ablak alá szerelt gázkonvektorral még nagyon sok helyen fűtenek. A szobába 24 óra alatt $150 MJ$ hőt akarunk „bejuttatni”. Ez a rendszer az utca felé elég sok hőt „küld ki”. A földgáz elégetésekor felszabaduló hőnek csak a 65% jut a szobába, ezért ennek a fűtési módszernek a „hatásfoka” 65% . A földgáz égéshője $32 MJ/m^3$, ára kb. $100 Ft/m^3$.
 - Hány köbméter gázt kell elégetnünk ahhoz, hogy a szobában biztosítsuk a szükséges hőmennyiséget?
 - Mennyit kell a gázfűtésért fizetni naponta?
 - Hány forintba kerül $1 MJ$ energia, ha azt „földgázból nyerjük ki”?

29. | Az élet és az energia, mi az a kalória?

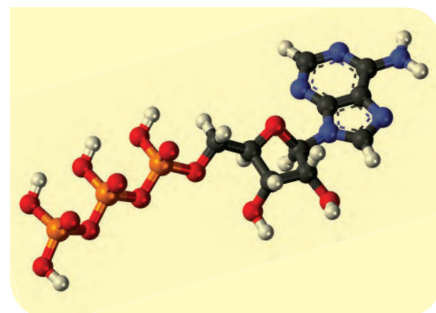
Hogyan jut a szervezetünk a táplálékból energiához?

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, adenozin-trifoszfátnak hívják, amiről részletesen biológiából 11. osztályban lesz szó. 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.

Mennyi energia van a táplálékokban?

Az élelmiszerek energiatartalmát több mint száz éve lényegében ugyanúgy határozzák meg. A módszert a XIX. század végén egy amerikai kémikus, Wilbur Atwater dolgozta ki. Zárt kaloriméterben megmérte az emberi szervezetbe bekerülő élelmiszerek és a szervezetünket elhagyó anyagok energiatartalmát. A méréseket úgy végezte, hogy a kaloriméterben oxigén jelenlétében elégette az anyagokat, és megmérte az égéskor keletkező termikus energiát. Különbözően meghatározta a fehérjék, a zsírok és a szénhidrátok égéshőjét. Mivel az emberi szervezet nem hasznosítja 100%-osan a tápanyagokat, ezért az emésztésre jellemző korrekciós tényezőket számított ki (ezek 1-nél kisebb számok), melyekkel meg kell szorozni a fehérjék, a zsírok és a szénhidrátok energiáját. Atwater méréseit azóta pontosították, eredeti számítási formuláját kissé korrigálták, azonban lényegében ma is az ő módszerével adják meg az élelmiszerek energiatartalmát. Ezt az értéket rendszerint 100 gramm termékre határozzák meg a következő módon: kémiai módszerekkel megállapítják, hogy az adott élelmiszer 100 grammjában mennyi (hány gramm) fehérje, zsír, illetve szénhidrát van (általában ezeket a tömegösszetevőket is feltüntetik a csomagoláson), majd az emésztés mértékére jellemző korrekciós tényezők figyelembevételével kiszámítják azt, hogy 100 gramm termék elfogyasztása után mennyi kémiai energia raktározódik, illetve hasznosul a szervezetünkben ATP formájában.

Szervezetünknek meglehetősen sok energiára van szüksége. Az emberi test a számára szükséges energiát a táplálkozás során szerzi, az ételinkben és az italinkban lévő kémiai energiát hasznosítjuk. Vannak olyan ételink (például a szalonna) és vannak olyan italink (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 elrágásához szükséges mechanikai munkát sem fedezi. A tiszta ivóvíz nagyon fontos a szervezetünk számára, azonban a biológiailag felhasználható energiatartalma nulla.



■ ATP-molekula

Hallottál róla?

Annak eldöntésére, hogy amikor az ATP-molekuláról leszakad egy foszfátcsoport, és így mólonként 30 kJ energia szabadul fel, ez nagy vagy kicsi energia, hasonlítsuk össze ezt azzal, hogy mennyi energiával tudunk 1 mol vizet elforralni. Táblázatokban általában a víz forráshőjét így adják meg: 2256 kJ/kg, ami azt jelenti, hogy 1 kg víz elforralásához 2256 kJ energia szükséges. Egy mól víz tömege 18 gramm, tehát 1 kg = 1000 g víz $1000/18 \approx 55,6$ mol. Tehát 1 mol víz elforralásához $2256/55,6 \approx 40,6$ kJ energiára van szükség, ami nem sokkal több, mint az ATP-molekula biológiailag könnyen felhasználható, szállítható energiája. Lényegében arra a következtetésre jutottunk, hogy az ATP-molekulákban szállított kémiai energia meglehetősen sok, az élő szervezetek nagyon jó energiaforrást használnak. (Tekintetbe véve, hogy 1 mól ATP-molekula tömege 507 gramm, míg egy mól víz csak 18 gramm, ezért tömegegységre vonatkoztatva az ATP-molekula energiatartalma sokkal kevesebb.)

Hogyan volt régen?

A XVIII. század elején a hőt valamilyen folyadéknak képelték, amit „kalorium”-nak neveztek. Úgy gondolták, hogy a melegebb testben több kalorium 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 (kalorium) létezésében, ma viszont már tudjuk, hogy önmagában hő nincs, ez a fogalom energia-átadási folyamatot jelent.

Kilojoule (joule) és kilokalória (kalória)

Az élelmiszerek tápértékadatait tartalmazó táblázatokban az energiatartalom 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 szóhasználattal 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.

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 hófolyadék, az úgynevezett kalorium 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:

$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J} \approx 4,2 \text{ J}$, vagy $1 \text{ kcal} = 4,186 \text{ kJ} \approx 4,2 \text{ kJ}$.

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



■ Joule készüléke, mellyel meghatározta a hő mechanikai egyenértékét

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 melegsenek, 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.

nem egységnyi: $c_{\text{v\acute{iz}}} = 1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) = 1 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \approx 4,2 \text{ J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) = 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$. Ez tehát azt jelenti, hogy 1 kg víz hőmérsékletének 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. (Az emberi test szöveteinek fajhője azért olyan nagy érték, mert testtömegünknek hozzávetőlegesen a 2/3 része víz.) A táblázatból az is látszik, hogy a nagy sűrűségű anyagok fajhőértéke kicsi, míg a könnyű anyagoké nagy.

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		

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Ejszünk 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 sieteregve, 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 található 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:

$$c_{\text{v\acute{iz}}} \cdot m_{\text{v\acute{iz}}} \cdot \Delta T_{\text{v\acute{iz}}} + c_{\text{ac\acute{e}l}} \cdot m_{\text{ac\acute{e}l}} \cdot \Delta T_{\text{ac\acute{e}l}} = 0,$$

és jelöljük a hőátadás végén kialakuló közös hőmérsékletet így: $T_{\text{közös}}$.

Ezzel a víz, illetve az acél hőmérséklet-változása így adható meg:

$$\Delta T_{\text{v\acute{iz}}} = T_{\text{közös}} - 20 \text{ }^\circ\text{C}, \text{ illetve } \Delta T_{\text{ac\acute{e}l}} = T_{\text{közös}} - 800 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Használjuk ki azt is, hogy 3 liter víz 3 kg tömegű, és írjuk be az összes adatot a fenti egyenletbe:

$$4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 3 \text{ kg} \cdot (T_{\text{közös}} - 20 \text{ }^\circ\text{C}) + 0,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2 \text{ kg} \cdot (T_{\text{közös}} - 800 \text{ }^\circ\text{C}) = 0.$$

Az egyenletrendezés után ezt a végeredményt kapjuk:

$$T_{\text{közös}} = 72 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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.

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.

NE FELEDD!

Szervezetünkben a táplálék kémiai energiája az adenzin-trifoszfát, rövidítve az ATP-molekula három foszfátcsoportjának kémiai kötési energiájaként raktározódik. Táplálkozásakor 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:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J} \approx 4,2 \text{ J, vagy}$$

$$1 \text{ kcal} = 4,186 \text{ kJ} \approx 4,2 \text{ kJ.}$$

A táplálékok energiatartalmát égetési vizsgálatokkal állapítják meg.

A fajlagos hőkapacitás, röviden fajhő (jele: c) azt mutatja meg, hogy mennyi energia szükséges egy test egységnyi tömegű darabjának 1 °C-kal történő felmelegítéséhez. Egy m tömegű test ΔT hőmérséklettel történő felmelegítéséhez szükséges energiát (hőt) a következő összefüggés adja meg: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$. Az összefüggésben megjelenő $c \cdot m$ szorzatot az adott test hőkapacitásának nevezzük, ami azt mutatja meg, hogy mennyi energiával lehet az adott test hőmérsékletét 1 °C-kal megemelni.

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 teavizet. 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 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. Melyek azok a vegyületek ételünkben, amelyek „elégetésével” nyerjük a testünk számára szükséges energiát? Mik az „égetés” anyagcseretermékei?
2. Számítsd ki a saját tested hőkapacitását kJ/kg mértékegységben!
3. 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?
4. 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.
 - a) Mi lesz a közös hőmérséklet?
 - b) Mennyi „vizezett” teánk lesz a jég elolvadása után? (A tea hűtése jéggel nem igazán elfogadott a teaínyencek körében.)
5. 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)!

30. | Mit és mennyit együnk?

Mennyi energiára van szükségünk, ha nem csinálunk semmit?

Fontos kérdés, hogy mennyi energiára, hány kalóriára van szüksége 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 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 (sarkkörti) 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 (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 alapanyagcsere-értékét is:

$$P = (600 + 1000 - 350 - 161) \frac{\text{kcal}}{\text{nap}} = 1089 \frac{\text{kcal}}{\text{nap}}.$$

Ha valaki fiatal és egészséges, akkor annyit ehet, amennyi csak jólesik neki. A szervezetünk nemcsak a jóllakottságot, illetve az éhségérzetet jelzi, hanem még a mozgásigényünket is. Ezért sok fiatal jó alakú, meglehetősen sokat eszik, de emellett sokat is mozog. A fejlődésben lévő szervezetnek, a nagy mozgásigényű fiatalnak sokat kell ennie. Előfordul azonban az is, hogy valamilyen zavar jön létre a táplálkozásban, ami eredményezhet elhízást is, vagy vezethet kóros soványsághoz is. Ilyen esetekben segítséget kell igénybe venni, hogy megfelelő táplálkozással, helyes életmóddal visszanyerhessük egészséges testalkatunkat.



■ Számold ki a saját alapanyagcsere értékedet!

Láthatjuk, hogy az idős hölgynek az alapanyagcsere-szükséglete sokkal alacsonyabb, mint a fiatal férfinak. Azonban nehogy azt gondoljuk, hogy csak ennyi energiára van szükségünk, hiszen ezek az értékek arra vonatkoznak, hogy teljes tétlenség, 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 alapanyagcsere 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 étелеink, 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 mellértuk 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	–
Fagylalt (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
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

Élelmiszer (100 g egységgel)	Energia (kJ / kcal)	Fehérje (g)	Szénhidrát (g)	Zsír (g)	Rost (g)
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					
Csemege uborka	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	–
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

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.

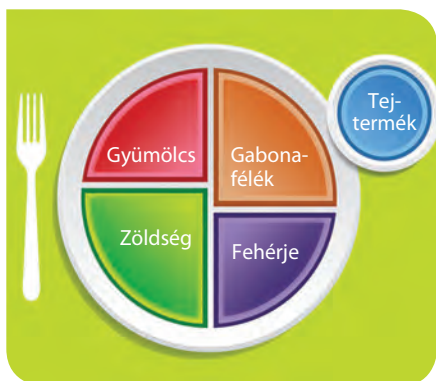


■ A testmozgásnak is fontos szerep jut

Élelmiszer (100 g egységgel)	Energia (kJ / kcal)	Fehérje (g)	Szénhidrát (g)	Zsír (g)	Rost (g)
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
Zsiradékok					
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, fehérjéket fogyasszunk, ellenben kerüljük a zsíros ételeket és a túlzott édesédfogyasztást. A helyes táplálkozás mellett a rendszeres napi testmozgás is fontos az 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 balra látható logóval szokták tanítani a népességnek.

Az ábra azt mutatja, hogy a táplálkozástudósok véleménye szerint étkezéseinknél arra kell törekednünk, hogy nagyjából 30%-ban gabonaféléket (lehetőleg teljes kiőrlésű gabonából készült kenyérféleségeket), 30%-ban zöldségféléket, 20%-ban gyümölcsöt és 20%-ban fehérjét (húsféleségeket, gombát, növényi fehérjéket) fogyasszunk. A tányér mellett lévő kis kör egy poharat mutat, ami azt jelzi, hogy tejet, illetve joghurtféléket is nagyon ajánlott naponta fogyasztanunk.

Fontos az is, hogy változatosan étkezzünk, sokféle fehérjét fogyasszunk, vagyis váltogassuk a húsféléket, 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 joghurtféléket. Csökkentsük a szervezetünkbe jutó konyhasó és cukor mennyiségét, vagyis szokjunk hozzá, hogy kevésbé sózzuk meg, kevésbé cukrozzuk meg ételünket, italainkat.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Sorold 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!
2. Nézz utána, hogy mennyi munkát végzel (mennyi kalóriát égetsz el) sík terepen 6 km sétával, kerékpározással, lassú futással!
3. Nézz utána, hogy az általad fogyasztott élelmiszerek milyen mennyiségben tartalmazzák az ember számára szükséges ásványi anyagokat és vitaminokat!
4. Mit tanácsolnál annak az osztálytársadnak, akin az elhízás jeleit veszed észre?
5. Mit tanácsolnál annak az osztálytársadnak, aki kórosan sovány lett?
6. Számítsd ki saját BMR (alapanyagcsere) értékedet!
7. Tanulás közben sokszor édességeket nassolunk. Vajon a szellemi erőfeszítések sok kalóriát igényelnek? Fokozhatja szellemi teljesítményünket a csokoládé elfogyasztása?
8. A testsúly megtartásához testsúlykilogrammonként nőknek napi 38–40 kcal/kg, férfiaknak 42–44 kcal/kg „energiabevitelre” van szükségük. Miután megmérte a testsúlyodat, számold ki, mennyi „energia” bevitelre van szükség a testsúlyod megtartásához, normális mozgás-mennyiség mellett!
9. 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 trappista sajtot, vagy babot kell egy nap megenned ahhoz, hogy biztosítsd fehérje-egyensúlyodat!

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Nevezd meg azokat az élelmiszereket, amelyeket az emberi szervezet nagy hatékonysággal képes feldolgozni és beépíteni, továbbá azokat, amelyektől „nem híznak”, de szükségesek!
2. Készíts „programot” a napi étkezésre 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!
3. 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!
4. Becsüld meg, hogy egy átlagos konditermi edzés mennyi mechanikai munkával jár, és a kapott értéket számítsd át kcal egységre!
5. 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).
 - a) Mennyi „energiát” fogyasztott a vacsorázó?
 - b) 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.)
6. Egy csirke felsőcomb rántva 280 kcal, hozzá a hasáburgergonya köretnek 340 kcal „energiatartalmú” étel az étlap szerint. (A számításokhoz szükséges adatokat olvasd ki a tankönyv idevonatkozó táblázatából!)
 - a) Mennyi a tömege a csirke felsőcombának és a burgonyának?
 - b) Mennyi a szénhidrát-, zsír-, valamint fehérjetartalma a kétféle ételnek?
7. Nagyon népszerű a pattogatott kukorica és a földimogyoró.
 - a) Mennyi „energiabevitelt” jelent egy zacskó (100 gramm) pattogatott kukorica, vagy egy csomag (szintén 100 gramm) földimogyoró elfogyasztása?
 - b) Mennyi szénhidrátot, zsírt valamint fehérjét fogyasztottál el ezekkel?
8. 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!)
 - a) Mennyi „energiát” fogyasztott el ezzel a reggelivel ez a földműves?
 - b) Hány dekagramm fehérjét, szénhidrátot és zsírt evett meg a fenti ételek elfogyasztásával?

31. | Mi hajtja a járműveinket?

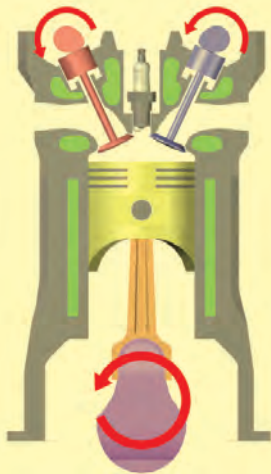
A benzinkutaknál a két leggyakoribb üzemanyag a benzin és a dízelolaj. Hagyományosan kétféle motor hajtja a gépkocsikat, az Otto-motor és a dízelmotor. Az Otto-motor benzinnel működik (ezért hívjuk sokszor egyszerűen benzinmotornak), a dízelmotor pedig dízelolajjal. Nem szabad összekeverni ezeket, mert a téves üzemanyag-tankolás tönkreteheti a járművek motorját.

Négyütemű motorok

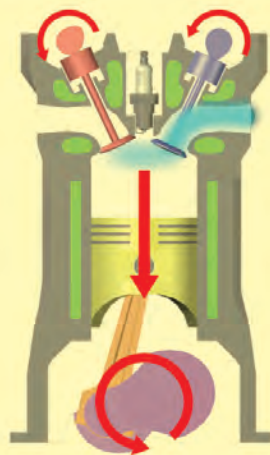
A mai **belső égésű motorok** többsége ugyanúgy négyütemű, ahogy azt Nikolaus August Otto (1832–1891) is megalkotta. A belső égés azt jelenti, hogy az üzemanyag egy zárt térben, az úgynevezett hengertérben ég el. A négy ütem pedig azt jelenti, hogy az ilyen motorok működése négy fázisra osztható. A zárt hengerben egy dugattyú mozog két szélsőhelyzet között. A négy ütem alatt négyszer teszi meg a két szélsőhelyzet közötti távolságot.

Az első ütem a szívás: ilyenkor az úgynevezett szívószelep nyitva van, a lefelé haladó dugattyú benzin-levegő keveréket szív be a hengertérbe.

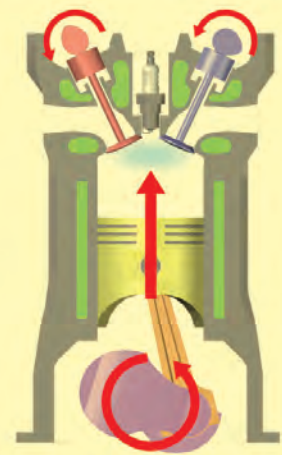
A második ütem a sűrítés: ekkor a szelepek zárva vannak, a dugattyú felfelé halad, és nagyjából 1/9-1/10 részére sűríti össze a hengertérben lévő benzin-levegő keveréket. Amikor a sűrítés már majdnem befejeződött, a hengertérben lévő úgynevezett gyertya szikrázik, és ezzel begyűjtja a keveréket. (A gyertya két elektródája között nagyfeszültség hatására jön létre a szikra.)



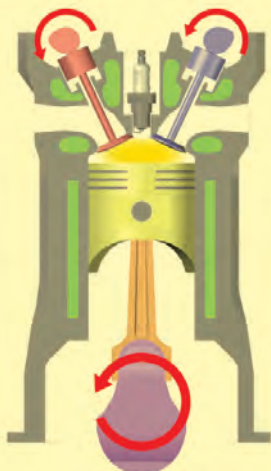
Kiindulási állapot



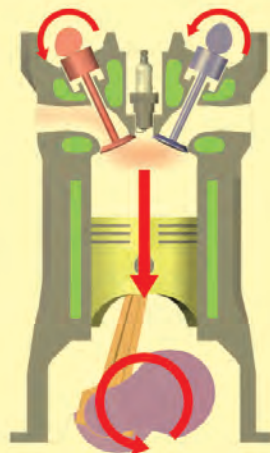
Szívás



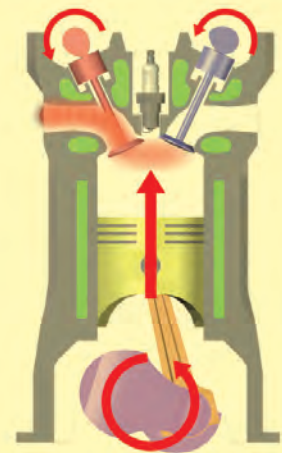
Sűrítés



Gyújtás



Terjeszkedés (munkavégzés)



Kipufogás

A harmadik ütem a terjeszkedés (ez a munkavégző ütem): a gyertya szikrája által felrobbantott benzin-levegő keverék magas hőmérsékletű, igen nagy nyomású gáz, ami kitágul, miközben erőt, forgatónyomatékat fejt ki a motor főtengelyére, és ezáltal munkát végez.

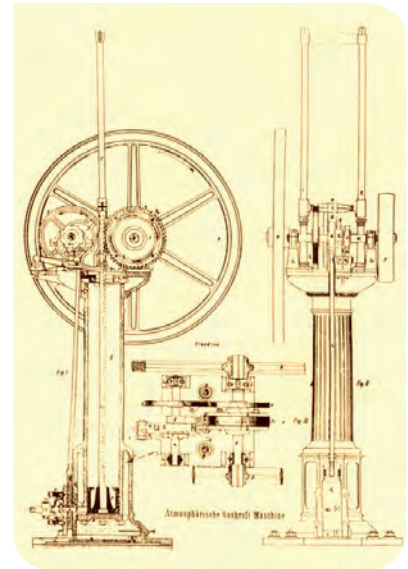
A negyedik ütem a kipufogás: ekkor a dugattyú felfelé mozog, a kipufogószelep nyitva van, és a dugattyú kitolja a hengertérből az elégett üzemanyagot, ami ugyan még forró, azonban hőmérséklete, nyomása már sokkal kisebb, mint a robbanás pillanatában.

A **dízelmotor** is belső égésű vagy más néven robbanómotor, amit Rudolf Diesel német mérnök szabadalmaztatott 1893-ban. Ugyanúgy négyütemű motor, tehát működése szívásból, sűrítésből, terjeszkedésből és kipufogásból tevődik össze. A kétféle motor sok fontos alkatrésze is megegyezik (alapvetően mindkettő hengerekből, dugattyúból, főtengelyből, kiegyenlítő tömegekből, vezérműből, szelepekből stb. épül fel), azonban a működésük és a működésüket kiszolgáló berendezések különbözőek.

A dízelmotorokban nincs gyújtógyertya, az üzemanyag öngyulladással ég el. A szíváskor a hengertérbe tiszta levegő kerül, és a sűrítéskor a dugattyú ezt a tiszta levegőt nyomja össze. Az összenyomás (amit kompresszióknak hívnak) sokkal nagyobb mértékű, mint a benzinmotorok esetén. A sűrítés végén a beszívott levegő térfogata 1/15–1/22 részére csökken, nyomása pedig a légköri nyomás 40–70-szeresére növekszik, és így a hőmérséklete 500–700 °C-ra nő. A sűrítés legvégén egy adagoló bejuttatja a dízelolajat a hengertérbe, ahol a magas hőmérséklet miatt az üzemanyag azonnal meggyullad. Mivel a dízelolaj és a levegő nincs elkeveredve, ezért az égése folyamatos, nem következik be olyan robbanás, mint ami a benzinmotorok gyertyájának szikrájától megtörténik. A terjeszkedés közben folytatódik az égés, és ezért gyakorlatilag a teljes munkavégző szakaszban állandó marad a nyomás a hengertérben. Az utolsó ütemben a benzinmotorokhoz hasonlóan kinyit a kipufogószelep, amin keresztül távozik az elégett égéstermék, az úgynevezett kipufogógáz.

Hallottál róla?

Nikolaus August Otto német feltaláló hozott létre elsőként működőképes négyütemű motort 1876-ban, amely azonban még nem benzinnel működött, és nem gépkocsik meghajtására használták. Otto első motorjait városi gáz hajtotta, amely főként metánból, szén-monoxidból, hidrogénből állt. Az éghető gázok mellett nem éghető alkotóelemei is voltak (nitrogén, szén-dioxid), és akkoriban kezdtek el széles körben a városi gázt konyhai tűzhelyek fűtésére, illetve világításra is használni (ezért hívják ezt világítógáznak is). Az első motorok helyhez rögzített szerkezetek voltak, melyeket gyárakban gépek meghajtására, bányákban szivattyúk üzemeltetésére használták.



■ Az Otto-motor szabadalmi rajza 1876-ból



■ Régi dízelmotorok a cseh Tatra Gyár múzeumában



■ Ennyit láthatunk az Audi Allroad Quattro háromliteres, hathengeres V6 TDI dízelmotorjából, ha felnyitjuk a motorháztetőt. A V6 jelzés azt mutatja, hogy a hat hengerből három-három V alakban helyezkedik el a főtengely körül, egymással párhuzamosan. A TDI az angol Turbocharged Direct Injection kifejezés rövidítése, ami azt jelenti, hogy a levegőt turbófeltöltő segítségével nagy nyomáson préselik be a hengertérbe (ráadásul legtöbbször előhűtött levegőt, melynek nagyobb a sűrűsége, és így még több levegő kerül be a hengertérbe), majd az üzemanyag adagolása hengerenkénti közvetlen befecskendezéssel történik. Az ilyen dízelmotorokat a Volkswagen-csoport mérnökei fejlesztették ki.

ELŐNYÖK ÉS HÁTRÁNYOK *(Olvasmány)*

Gyakran láthatjuk, hogy amikor egy dízelautó gyorsítani kezd, fekete füst-felhőt lövell ki a kipufogóján hátrafelé. Ez azért van, mert ilyenkor a hengertérbe sokkal több üzemanyag kerül, ami ott nem tud teljesen elégni (hiszen nincs jól elkeveredve a levegővel), és a tökéletlen égés miatt sok korom keletkezik, ami feketére festi a kipufogógázt. A benzines autókban a benzin és a beszívott levegő jól elkeveredik, ezért a robbanásakor tökéletesebben ég el a benzin, aminek egyrészt a kisebb károsanyag-kibocsátás a következménye, másrészt az, hogy a benzines autók jobban gyorsulnak. A dízelmotoroknak jobb a hatásfoka, mint a benzineseké. Ennek oka az, hogy jelentősen nagyobb a sűrítés, és a terjeszkedés közben állandó marad a nyomás, ezáltal megnő a munkavégzés (hiszen nagyobb erő, illetve forgatónyomaték hat a főtengelyre). A gyakorlatban a dízelmotorok meghaladhatják az 50%-os hatásfokot, míg a benzinmotorok hatásfoka csak kivételes esetben képes elérni a 40%-ot. A nagyobb kompresszió miatt a dízelmotoroknak erősebbnek kell lenniük, ezért nagyobb tömegűek is, ami nem előnyös a személygépkocsik esetén. Az adagoló nagyon drága kiszolgáló berendezés, ami a dízelmotorok nagyobb tömege mellett jelentősen tovább növeli az árakat. Ezért azoknak érdemes dízelautót venniük, akik sokat autóznak, például a taxisofőröknek. Nem véletlen, hogy a taxik többsége dízelmotorral jár, mert a nagy futóteljesítmény rentábilisabbá teszi a járművet a magasabb beszerzési ár ellenére is.

Az autógyárak között hatalmas a piaci verseny. A verseny egyik részét a technikai fejlesztések jelentik. A dízelmotoros személygépkocsik gyorsulását jelentősen javítja a motorokba épített úgynevezett turbómeghajtás, vagy más szóval turbófeltöltés. Ez azt jelenti, hogy a kipufogógázok energiájával ezek az autók egy turbófeltöltőt üzemeltetnek, amely lényegében egy légsűrítő. Ekkor a szívási ütemben nem légköri nyomású levegő kerül a hengertérbe, hanem nagy nyomású levegő, amiben jóval több az oxigén. Ezért jobb az égés, erősebb, nagyobb teljesítményű lesz a gépkocsi motorja. Ezzel elérhető, hogy megszűnjön a dízelautók lomhasága, és vezetésük ugyanolyan élményt jelentsen, mint a benzinmotoros gépkocsiké. (A turbógenerátorokat beépítik a benzines autókba is, így azok teljesítménye is tovább növekedhet.)

Károsanyag-kibocsátás

Nagyon fontos környezetvédelmi szempont a gépkocsik károsanyag-kibocsátásának csökkentése. Ezt a célt leginkább az egyre jobb minőségű katalizátorokkal lehet elérni. A katalizátorokat először a benzinmotoros autókba építették be, de azután megoldották a dízelmotorok kipufogógázainak katalizátoros szűrését is. Az autókban lévő katalizátorok a kipufogógázokban lévő mérgező anyagokat nem mérgező anyagokká (vagy kevésbé mérgezőkké) alakítják át kémiai reakciók útján. A kémiai reakciókat katalizátorokkal gyorsítják, ez adja ennek az eszköznek a nevét. Angolul „catalytic converter”-nek hívják, amit „cat”-nek vagy „catcon”-nak rövidítenek, ami katalitikus átalakítót jelent, jobban kifejezi a működés lényegét, mint a magyar neve. A háromutas katalizátorokban háromféle kémiai reakció játszódik le. A katalizátor a nitrogén-oxidokat nitrogénre és oxigénre bontja, a szén-monoxidot szén-dioxiddá alakítja, illetve a szénhidrogéneket szén-dioxiddá és vízzé változtatja. A dízelmotorok esetén a fentiekén kívül meg kellett oldani a kipufogógázokban lévő korom megkötését is, ami csak az utóbbi évtizedben sikerült jó hatásfokkal. Ezért a legmodernebb dízelautók már nem füstölnek annyira, mint a régebbiek.

KÜLÖNBÖZŐ ÜZEMANYAGOK *(Olvasmány)*

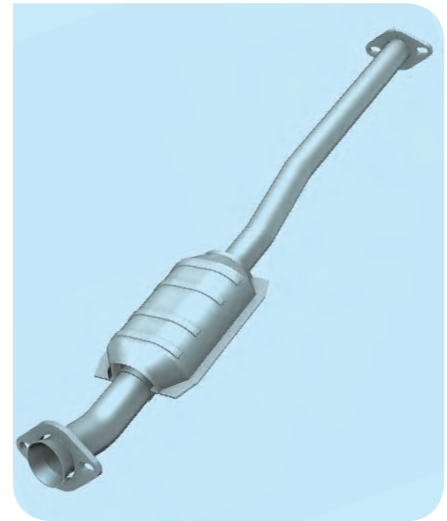
A benzin és a dízelolaj (gázolaj) is **kőolajszármazék**. A kőolaj molekulái szénláncból és a láncban a szénatomokhoz kötődő hidrogénatomokból állnak, ezért is hívjuk ezeket szénhidrogéneknek. A kőolajban nagyrészt különböző hosszúságú szénhidrogének (alkánok, amit a kémia tantárgy később részletesen tárgyal) vannak, ezek mellett más vegyületek is megtalálhatóak, de sokkal csekélyebb mennyiségben. Ha a szénlánc mindössze öt-nyolc szénatomból áll, akkor benzinnel beszélünk, a hosszabb szénláncú (kilenc-tizenhat szénatomból álló) molekulákból készül a dízelolaj, a kerozin (a hagyományos repülőgépek üzemanyaga) és a sugárhajtású repülőgépek sugárhajtóművének üzemanyaga (angolul jet fuel).

Ha egy benzinkútnál üzemanyagot tankolunk, akkor többféle benzinnel is választhatunk. A leggyakoribb a 95-ös „EuroSuper” benzin, de sokan 98-as benzinnel járnak. A 95-ös vagy a 98-as szám a **benzin** úgynevezett **oktánszáma**, ami a benzin kompressziótűrését fejezi ki. Minél nagyobb ez a szám, annál nagyobb kompressziót, vagyis összenyomást képes a benzin-levegő keverék öngyulladás nélkül elviselni. Ha a motorok teljesítményét növelni akarjuk, annak egyik lehetősége az, hogy megnöveljük a kompressziót, és mondjuk, nem kilencedrésére sűrítjük össze a benzin-levegő keveréket, hanem tizenegyed részére. Ilyenkor viszont öngyulladás következhet be, a kelleténél hamarabb, önmagától (nem a gyújtógyertya szikrájától) robban be a keverék, ami károsítja a motort. Ebben az esetben a motornak magasabb oktánszámú benzinnel van szüksége. Az autógyártók pontosan előírják, hogy az egyes gépkocsimotorok milyen oktánszámú üzemanyaggal közlekedjenek. Ha valaki az előírtól magasabb oktánszámú benzint használ, akkor autója ugyanúgy fog menni, mint régebben, ezzel nem fog kevesebbet fogyasztani, viszont az üzemeltetési költségek megnövekedhetnek.

Az oktánszámot a következő módon határozzák meg: A mérendő benzint izooktánból (C_8H_{18}) és n-heptánból (C_7H_{16}) álló keverékkel hasonlítják össze. A mérendő benzinnel kompressziótűrési szempontjából azonos tulajdonságokkal rendelkező keverék térfogatszázalékban megadott izooktán-tartalmát nevezzük a benzin oktánszámának. Tehát például a 95-ös benzin kompressziótűrése azonos a 95 térfogatszázalék izooktánt és 5 térfogatszázalék n-heptánt tartalmazó keverékével.

Régebben a benzin oktánszámát ólomtartalmú vegyülettel, ólom-tetraetillel növelték. Ennek következtében nagy mennyiségű ólom került a gépkocsik kipufogógázából a környezetbe, ami különösen mérgező hatású volt. Szerencsére lényegében az egész világon idejében (a gépjárműpark rohamos megnövekedése előtt) betiltották az ólomtartalmú benzinek forgalmazását, és a gyártók azóta más vegyületek felhasználásával növelik az oktánszámot.

A dízelolaj esetében a benzinnel ellentétben éppen a kedvező öngyulladási hajlam a kívánatos. Vagyis a jó minőségű gázolajok oktánszáma alacsony, ezt nem is tüntetik fel a termékeken. A gázolaj talán legfontosabb jellemzője a cetánszám, amely az öngyulladási hajlam legfőbb mutatója. Értéke a gázolaj kémiai összetételétől függ. Adott gázolaj cetánszámát egy etalon tüzelőanyaggal, szabványmotoron történő összehasonlítás alapján határozzák meg. Számszerűleg megadja, hogy a vizsgált gázolaj öngyulladási hajlama hány térfogat-százaléknyi cetánt tartalmazó etalon keverék (cetán-alfa-metil-naftalin) öngyulladási jellemzőjével egyezik meg szabványos körülmények között. Az etalon tüzelőanyag két ellentétes öngyulladási tulajdonságú tiszta szénhidrogén elegyből készül. Az egyiknek



■ Az autók katalizátorát a kipufogórendszerbe építik be, a motorból kijövő kipufogócsőbe, a hátsó kipufogódob elé

Hallottál róla?

Az úgynevezett kondenzációs kazánokat szokták úgy hirdetni, hogy hatásfokuk 102–103%, vagyis több mint 100%. Ezek általában földgázzal működő gázkazánok, melyek lakások, épületek fűtésére, használati meleg víz előállítására alkalmasak. A kondenzációs jelző azt jelenti, hogy ezekben a kazánokban a keletkező gőzt lecsapatják, és az így felszabaduló hőt is hasznosítják. Ezért a hasznosítható energia nagyobb lehet a felhasznált gáz fűtőértékénél, ami a szokatlanul magas (és valljuk be, meglepő) hatásfokértékekhez vezet. Ilyen esetben a korrekt hatásfokszámításnál nem a gáz fűtőértékét, hanem az égéshőjét kellene használni, azonban ez nem mutatná megfelelően a kondenzációs kazánok gazdaságosságát, vagyis romlana ezek eladhatósága.



■ Egy többlakásos épület fűtését biztosító kondenzációs gázkazán

alacsony a kémiai stabilitása, a másik igen nagy öngyulladás ellenállású. Nagy öngyulladási hajlamú vegyületként a cetánt ($C_{16}H_{34}$) használják, amely egyenes szénlánc miatt viszonylag kis hőmérsékleten, oxigén jelenlétében könnyen felbomlik. Kis öngyulladási hajlamú szénhidrogénként az alfa-metil-naftalint ($C_{10}H_7CH_3$) alkalmazzák, amely aromás szénhidrogén. Az öngyulladással szembeni nagy ellenállása a molekula tömörebb voltával magyarázható, atomjai kettős kötésű zárt láncot képeznek. Megállapodás szerint a cetán cetánszáma 100, míg az alfa-metil-naftaliné 0.

Ha a vizsgált gázolaj cetánszáma 49, akkor öngyulladási hajlama azonos a 49 térfogat-százaléknyi cetánt tartalmazó etalon keverék öngyulladási hajlamával. Gyakorlati tapasztalatok alapján ésszerűnek mutatkozik a 45...60 közötti cetánszámérték betartása. A legtöbb benzinkútnál csak egyféle gázolajat (dízolajat) lehet tankolni, ezért nem is szokás feltüntetni a cetánszámértéket.

Mennyi energia van egy liter üzemanyagban?

Az üzemanyagok energiatartalma igen magas. Ezt az értéket az égéshővel szokás jellemezni. Az égéshő lényegében azt mutatja meg, hogy 1 kg üzemanyag elégetésekor mennyi energia szabadul fel. A tüzelőanyagok esetén az energiatartalom jellemzésére az **égéshő** mellett az úgynevezett **fűtőérték** is használatos, ha az égéstermékek között gőz is található. Ilyenkor a gőz párolgáshőjét levonják az égéshőből, és a kapott értéket tekintik a vizsgált tüzelőanyag fűtőértékének, mert az égéstermékekkel távozó vízgőz energiáját általában nem tudjuk hasznosítani. A benzin égéshője nagyjából 47 MJ/kg, fűtőértéke 43 MJ/kg, míg a gázolaj égéshője valamivel kisebb, hozzávetőlegesen 46 MJ/kg, viszont a gázolaj fűtőértéke ugyanakkora, mint a benziné, vagyis 43 MJ/kg. Mivel a benzin sűrűsége körülbelül 700 kg/m^3 , a gázolajé viszont 800 kg/m^3 körüli, így 1 liter gázolaj hasznosítható energiatartalma (fűtőértéke) nagyjából $\frac{800}{700} = 1,14$ -szerese 1 liter benzin fűtőértékének.

A gázolaj (dízolaj) előállítási költsége sokkal alacsonyabb, mint a benziné, azonban az üzemanyagokra rakódó hatalmas adótartalom miatt előfordul, hogy 1 liter gázolaj drágább, mint 1 liter benzin.

Mennyibe kerül az energia?

Jelenleg (2015 elején) a gázolaj ára körülbelül 340 Ft/liter. Az elektromos energia ára nagyjából 40 Ft/kWh, ami azt jelenti, hogy 340 forintért 8,5 kWh elektromos energiát vásárolhatunk. Érdekes kiszámítani, hogy ezért a pénzért mennyi energiához jutunk azonos joule egységekben a két esetben. Mivel $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$, így $8,5 \text{ kWh} = 8,5 \cdot 3,6 \text{ MJ} = 30,6 \text{ MJ}$, 1 liter gázolaj tömege körülbelül 0,8 kg, vagyis 1 liter gázolaj hasznosítható energiája (fűtőértéke) $43 \text{ MJ/kg} \cdot 0,8 \text{ kg} = 34,4 \text{ MJ}$. Egyelőre úgy tűnik, hogy gázolaj formájában több energiát kapunk ugyanannyi pénzért, mint vezetékes elektromos energia alakjában. Azonban a dízelmotorok hatásfoka legfeljebb 50%-os, tehát az autózáskor hasznosítható energia csak a 34,4 MJ fele, vagyis alig több mint 17 MJ. Így máris az elektromos energia áll nyerésre. Az energiának hatósági ára van, sok szempontot figyelembe vesznek az árképzéskor. A tendencia az, hogy hosszú távon minden energia kerüljön nagyjából ugyanannyiba, függetlenül attól, hogy az adott energia milyen forrásból származik.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Sorold fel milyen üzemanyagokat lehet tankolni Magyarországon egy jól felszerelt üzemanyagtöltő-állomáson (benzinkúton)! Figyeld meg, hogyan történik a benzin és a gázolaj, valamint az LPG tankolása!
2. Gyakran használjuk ezt a kifejezést, hogy „felturbózzunk valamit”. Mi a szerepe a belső égésű motorok esetében a turbófeltöltőnek (turbine booster), és mit „csinál” a turbófeltöltő és miért?
3. Mi a szerepe a kipufogórendszerbe épített katalizátornak? Nézz utána, hogyan működik!
4. Milyen „zöldítő” anyagot adnak a benzinhoz és a gázolajhoz már Magyarországon is? Mit jelent ez a felirat a töltőállomások kúpjain: 95-ös, 98-as, E-5, E-10, E-85, dízel?
5. Nézzünk utána, hogyan működnek a kétütemű motorok! Milyen előnyök és milyen hátrányok vannak?
6. Kinek érdemes benzinmotoros autót vásárolnia, és ki vegyen inkább dízelmotoros gépkocsit? Milyen szempontokat érdemes mérlegelni a döntéskor?
7. Tegyük fel, hogy egy autó benzinmotorjának hatásfoka 40%. Számítsuk ki, hogy egy kilowattóra áram árértékű vásárolt benzin ebben az autóban mennyi hasznosítható energiát szolgáltat, és ezt az értéket hasonlítsuk össze az 1 kWh = 3,6 MJ értékkel! (A benzin sűrűsége 0,7 kg/liter, a benzin fűtőértéke 43 MJ/kg, az elektromos energia és a benzin ára folyamatosan változik, a feladatot az éppen aktuális árakkal számolva kell megoldani.)

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Keress utána, hogy milyen gázokból áll és milyen arányban az Oroszországból vásárolt „földgáz”, és mi az összetétele a Magyarországon a hálózatba juttatott „földgáznak”!
2. Ismertesd az Otto-motor és a dízelmotor felépítését, főbb részeit, működését! Mi a benzin és mi a gázolaj? Mi az „összetétele” az egyiknek, és mi a másiknak? Milyen fizikai paraméterek jellemzik őket?
3. Milyen üzemanyagot használnak a repülőgépek, és miért?
4. Nézz utána, hogyan vizsgálják meg a gépkocsik műszaki vizsgáztatásakor, hogy jól működik-e a kipufogórendszerbe épített katalizátor!
5. A gépjármű üzemanyagok eltérő minőségű égetése során milyen káros égéstermékek keletkezhetnek? Mi a szerepe a platinának és a ródiumnak a katalizátorban?
6. Egy személygépkocsi sebessége 25 m/s, fogyasztása 100 kilométeren benzinből 5,4 liter. A benzin égéshője: 44 MJ/kg, átlagos sűrűsége: 0,75 kg/liter.
 - a) Mennyi idő alatt teszi meg ez a jármű a 100 km-t?
 - b) Mennyi benzin és mennyi energia „fogy” másodpercenként?
 - c) Hány adagban juttatta be az adagoló az 5,4 liter benzint a motor négy hengerébe, ha a gépkocsi négyütemű motorja 2500-as percnkénti fordulattal járt? Hány milliliter volt egy adag?
7. Egy személygépkocsi vízszintes úton 100 kilométert egyenletes, 25 m/s sebességgel tesz meg. Ekkor a fogyasztása benzinből 5,4 liter. A benzin égéshője: 44 MJ/kg, átlagos sűrűsége: 0,75 kg/liter. A személygépkocsi alaktényezője 0,28, a „hatáskeresztmetszete” 1,8 m², a levegő sűrűsége 1,3 kg/m³.
 - a) Mennyi az 5,4 liter benzin összes hasznosítható energiája?
 - b) Mekkora az adott sebesség esetén a légellenállás?
 - c) Mekkora a „légellenállás teljesítménye”?
 - d) Az 5,4 liter benzin hasznosítható energiájának hány százaléka fordított a légellenállással szembeni munkavégzésre?

NE FELEDD!

A gépkocsik motorjában használatos két leggyakoribb üzemanyag a benzin és a dízelolaj (más néven gázolaj). Ezeknek az üzemanyagoknak a kémiai energiája igen magas, fűtőértékük nagyjából azonos, 43 MJ/kg.

A legtöbb gépkocsiban négyütemű belső égésű motor üzemel. A négy ütem a szívás, a sűrítés, a gyújtást követő munkavégző terjeszkedés és a kipufogás. A benzinmotorokban a gyújtást a beépített gyújtógyertya szikrája váltja ki, a dízelmotorokban nincs gyertya, az összesűrített, magas hőmérsékletű, nagy nyomású levegő gyújtja meg a bepréselt üzemanyagot.

Környezetvédelmi szempontból nagyon fontos a jól működő katalizátorok használata, melyek jelentősen csökkentik a kipufogócsőből kiáramló égéstermékek károsanyag-tartalmát. A benzin-kutaknál leggyakrabban 95-ös vagy 98-as oktánszámú benzinből tankolhatunk. Az oktánszám arra utal, hogy mennyire jó az adott benzin kompressziótűrése. Minél nagyobb az oktánszám, annál nagyobb mértékben sűríthetjük össze a benzin-levegő keveréket anélkül, hogy öngyulladás következne be.

A tüzelőanyagok égéshője megadja a belőlük égéskor felszabaduló hő értékét egységnyi tömegre vonatkoztatva. A fűtőérték kisebb az égéshőnél, ha az égéstermékek között vízgőz is található, mert a fűtőértéket (a maximálisan hasznosítható energiát) úgy határozták meg, hogy az égéshőből levonják a keletkező gőz létrehozásához szükséges forráshőt.

32. | Különleges meghajtású járművek

Az utóbbi évtizedekben egyre gyorsuló mértékben jelennek meg olyan üzemanyagok, olyan energiaforrások, melyeket régebben nem vagy csak alig használtak járművek meghajtására. Valószínűnek látszik, hogy a hibrid és az elektromos meghajtású autók száma rohamosan növekedni fog, de a változások olyan gyorsak, a technológiai fejlődés olyan ütemű, hogy a jövőt illetően semmilyen előrejelzésben nem lehetünk biztosak.



■ Hatalmas teherszállító hajókba ehhez hasonló, óriási, kétütemű dízelmotorokat építenek be, melyek teljesítménye meghaladhatja a százezer lóerőt. Ezek a motorok alacsony fordulatszámon üzemelnek, percenként csak 60 és 200 fordulat jellemzi őket. Közvetlenül a hajócsavarra vannak kötve, ezért előre és hátrafelé is tudnak járni

Folyékony szénhidrogének

A XX. század utolsó harmadára általánossá vált, hogy a járművek motorjait kőolajból származó üzemanyagokkal működtetik. A kőolaj különböző hosszúságú szénhidrogénláncok keveréke, melyből finomítási eljárás során választják szét az egyes összetevőket. A rövidebb láncokból áll a benzin, a hosszabbakból a gázolaj (más szóval dízelolaj). Járműveink döntő többségét még ma is benzin vagy gázolaj hajtja. A személygépkocsik esetén gyakoribb a benzinmotor, míg a teherautók, buszok szinte kivétel nélkül dízelmotorosak, vagyis gázolaj-meghajtásúak. A repülőgépek hajtóművei kerozinnal vagy a kerozinhoz nagyon hasonló szénhidrogén-keverékekkel (sugarhajtómű-üzemanyaggal) működnek. A kerozin lényegében petróleum, ami a benzin és a gázolaj közötti közepes hosszúságú szénhidrogénláncokból áll.

A hajómotorok vagy dízelolajjal, vagy a kőolajleparlás végső, maradék termékével működnek, amit magas kéntartalmú maradék üzemanyagnak hívnak. A hajók motorjai adják a világ szén-dioxid-kibocsátásának 3%-át, azonban még nagyobb környezeti terhelést jelent, hogy az olcsó maradék üzemanyagból kerül ki a levegőbe az emberi tevékenységből származó kén-dioxid 10%-a. Ha a jelenlegi tendenciák nem változnak meg, akkor 2050-re megduplázódhat a mai károsanyag-kibocsátás mennyisége. A környezetvédők megpróbálnak olyan előírásokat életbe léptetni, hogy a hajók kipufogórendszerébe megfelelő szűrők kerüljenek, melyek kellően csökkenthetik a károsanyag-kibocsátást.

Autógáz

A környezetvédelmi szempontok mellett a kőolaj árának nagymértékű és folyamatos emelkedése indította el azokat a fejlesztéseket, melyek a hagyományos üzemanyagoktól eltérő meghajtások kidolgozására irányultak. Mivel a földgáz jelentősen olcsóbb, mint a kőolaj, ezért a gépjárműiparban először az autógáz jelent meg. Az autógáz gyakorlatilag megegyezik a fűtésre-főzésre-sütésre használható palackos gázzal, benne propán és bután (három, illetve négy szénatomot tartalmazó szénhidrogén) keveréke található. Ma már a legtöbb benzinkútnál lehet autógázt tankolni. Ha azt a feliratot látjuk, hogy LPG, akkor ez autógázra utal, a betűszó angol rövidítés (liquefied petroleum gas), ami folyékony kőolajgázt jelent, mert angolul a petroleum jelentése kőolaj. Az autógázt kőolajból is gyártják, nem csak földgázból. Érdekes, hogy az LPG rövidítésnek magyar megfelelője is van: leválasztott propán-bután gáz. Aki autógázt tankol, az folyékony állapotban juttatja a gázt a kocsijának az erre a speciális célra kialakított tartályába. Ez úgy lehetséges, hogy elegendően nagy nyomáson ezek a gázok cseppfolyósodnak. A propán és a bután cseppfolyósítása nagyjából 6 atmoszféra nyomáson történhet, míg a tartályban általában 12 atmoszféra nyomáson tárolják a gázt. Télen, nagy hidegben ez a nyomás 2 atmoszférára is lecsökkenhet, nyáron, nagy melegben 15-16 atmoszférára is megnőhet. A tartályokat úgy méretezik, hogy 25-30 atmoszféra nyomást is kibírjanak károsodás nélkül.

A folyékony földgázt nemcsak személygépkocsik, hanem buszok hajtására is használják. Ilyenkor a buszok tetején helyezik el a tárolótartályokat. Jó megoldásnak tűnik, hogy hajókon, például kompokon is elkezdték a folyékony

földgáz üzemanyagként történő alkalmazását. Ám ahogy a Föld kőolajkészlete is véges, ugyanígy a földgázkészlet sem kimeríthetetlen. Ezenkívül az is fontos szempont, hogy a vegyipar számára a kőolajban és a földgázban lévő szénhidrogének olyan ásványi kincsek, amelyekből nagyon sok más vegyület előállítható. A szénhidrogének családja a vegyipar számára talán a legfontosabb nyersanyagot jelenti. Ennek fényében igencsak pazarló megoldás, ha ezt a nyersanyagkincset egyszerűen üzemanyagként elégetjük.

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 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. A mai megoldásokban főként a lítiumion akkumulátorokat használják, melyek teljesítik ezeket a feltételeket, azonban meglehetősen nagy helyet foglalnak el, nehezek, nagyon drágák és viszonylag rövid élettartamúak.

Az utóbbi ötven év egyik sikertelenségtörténete az akkumulátorokhoz fűződik. Ötven éve még a szakemberek nagyon bizakodóak voltak, hogy sikerül olcsó, könnyű, nagy kapacitású (vagyis nagy energiatároló képességű), hosszú élettartamú akkumulátorokat kifejleszteni. Rendkívül intenzív kutatások folytak, de olyan megoldást, amely minden szempontból sikeresnek minősíthető, nem sikerült létrehozni. Még az is elképzelhető, hogy a jövőben az elektromos energia tárolása a gépkocsikban nem akkumulátorok segítségével fog történni, hanem úgynevezett szuperkondenzátorokban, melyek elektrosztatikus módon (nem kémiai) tárolják az energiát.

Vannak olyan hibrid autók, melyekbe nem tesznek nagyméretű akkumulátorokat (csak viszonylag kisebbeket), viszont két villanymotorral is felszerelik ezeket. Az egyik villanymotornak kizárólag a gépkocsi meghajtásában van szerepe: lassú menetben ez hajtja a járművet, nagy sebesség esetén pedig segíti a belső égésű motort a meghajtásban. A másik villanymotor kétféle funkcióval is rendelkezik. Gyorsításkor motorként segít a jármű meghajtásában, egyébként pedig (fordított üzemmódban) áramtermelő generátorként mű-



■ Ebben az autóban az autógáztartályt a pótkerék helyére építették be

Gondold meg!

Gázüzemű autókkal nem szabad mélygarázsokba behajtani és ott parkolni. Ennek oka az, hogy az autógáz (ami nagyrészt propán, C_3H_8) nehezebb, vagyis nagyobb sűrűségű, mint a levegő. Ezért ha esetleg szivárog a tartály, akkor a kiáramló gáz a mélygarázs alján gyűlne össze, így egy szikra hatására robbanás következhetne be. Biztonságunk érdekében tartsuk be tehát ezt a tilalmat!



■ A világon a legtöbb eladott hibrid autó a képen látható Toyota Prius. Ebben a típusban a nagyfeszültségű akkumulátor NiMH (nikkel-fém-hibrid) rendszerű, 38 cellából áll, és összesen 273,6 V feszültséget képes szolgáltatni



■ Opel Ampera



■ Chevrolet Volt

ködik. Úgyes megoldás az is, hogy fékezéskor nem a fék dolgozik, hanem az áramtermelő generátor fékez, miközben a jármű mozgási energiájának jelentős része az akkumulátor kémiai energiáját növeli.

2012-ben az Év Autója díjat a General Motors cég Opel Ampera/Chevrolet Volt ikerpárosa nyerte. Ezek az autók otthon konnektorra kapcsolhatók, és négy-hat óra alatt a lítiumion akkumulátoraik feltölthetőek. Feltöltött helyzetben nagyjából 60 km-t tudnak menni tisztán elektromos meghajtással, és így sokkal olcsóbb az üzemeltetésük, főleg, ha nap mint nap városi forgalomban, munkába járásra használja a tulajdonosa. Gyakorlatilag elérhető, hogy éjszakai feltöltéssel, benzinfogyasztás nélkül közlekedjünk velük. Nagyon erős villanymotorral rendelkeznek, ami kiváló gyorsulást, illetve igen halk járatot tesz lehetővé. Ha az akkumulátor kezd kimerülni, akkor a gépkocsiban beindul egy hagyományos benzinmotor, ami egy áramfejlesztő generátort üzemeltet, így menet közben gondoskodik az akkumulátor töltéséről. Abban az esetben, ha az autó igen nagy sebességgel halad, akkor a benzinmotorral hajtott generátor és a villanymotor összekapcsolódik, és ilyenkor a benzinmotor nemcsak az áramtermelésről gondoskodik, hanem közvetett módon részt vesz a gépkocsi meghajtásában is. Természetesen más autógyárak is megjelentek a piacon konnektorra köthető járművekkel, azonban egyelőre ezek ára igen magas, az olcsó üzemeltetés ellenére igencsak kérdéses gazdaságosságuk, mert nagyon hosszú a megtérülési idő.

Nem mindenki tartja az elektromos meghajtást előnyben részesítő hibridautókat jó megoldásnak. Vannak, akik sarkítva így fogalmaznak: a benzinmotorral és villanymotorral egyaránt rendelkező autók ahhoz hasonlíthatók, mintha a kórházban két beteget ugyanabba az ágyba fektetnének, és ettől azt várnák, hogy mindketten meggyógyulnak. A hibrid autóknak ugyanis nagy a tömegük, és ennek legyártása sok energiát igényel. A bennük lévő lítiumion akkumulátorok kezelése élettartamuk lejárta után nehéz, vagyis ez fokozott környezeti gondokkal jár. Az elektromos energiát is meg kell termelni, és ez sok esetben földgáz vagy kőolaj elégetésével hőerőművekben történik, ami ugyanolyan problémákkal jár, mint a kizárólag benzinnel vagy dízelolajjal működő autók használata.

Hidrogénhajtású autók

Régóta felmerült a hidrogénhajtású autók gondolata. Elektrolízissal, vagyis elektromos energiával oxigénre és hidrogénre bontható a víz. Ha a csernobili és a fukusimai katasztrófák nem riasztanák el az emberiséget az atomerőművek használatától, akkor újabb atomerőművek építésével megoldható lenne a világ számára, hogy elegendő villamos energiával rendelkezünk ahhoz, hogy a megfelelő mennyiségű hidrogéngáz előállítható legyen. Ennek a megoldásnak a legnagyobb előnye az, hogy a hidrogén égésekor jelentős mennyiségű hőenergia keletkezik, amivel jól meghajthatók a járművek, továbbá az égéstermék döntően vízgőz. Ez azt jelenti, hogy ennél tisztább, ennél környezetkímélőbb megoldás gyakorlatilag nem létezik.

A legnagyobb probléma a hidrogén tárolása, aminek jelenleg két fő formája ismeretes: magas nyomású (700 atmoszféra), gáz-halmazállapotú sűrítmény vagy nagyon alacsony hőmérsékletű (20 K, azaz -253 °C), nagyobb energiasűrűségű folyékony forma. Ez utóbbit választotta hosszas kísérletezést és fejlesztést követően a technikában élenjáró BMW konszern mérnöki stábjában is, megalkotván az első sorozatgyártásra is alkalmas személygépkocsit, a BMW Hydrogen 7-et. Ez a jármű képes a hidrogénhajtás mellett hagyományos benzinnel is működni. Mivel a benzin égéshője $34,6\text{ MJ/liter}$, míg a hidrogéné ennél kevesebb, $10,1\text{ MJ/liter}$, így hidrogénből sokkal többet fogyaszt, mint benzinnél, az átlagos



■ A BMW hidrogénnel is üzemelő gépkocsijának 12 hengeres motorja

fogyasztása 50 liter/100 km. A gépkocsiba épített hidrogéntank 170 literes, és benne normál körülmények között 5 atmoszféra a nyomás. A jó hőszigetelés ellenére a tartály nehezen tudja megtartani extrém alacsony hőmérsékleten a folyékony hidrogént, ami párolog, növeli a nyomást, mire kinyit a biztonsági szelep, és a szabadba engedi a felesleges hidrogént. Ha az autót nem használják, akkor 10-12 nap alatt a teljes hidrogén üzemanyagát elveszíti. Nagy gond a tankolás is, hiszen egyelőre gyakorlatilag sehol sem lehet hidrogént tankolni. 2006-ban az egész világon mindössze öt olyan folyékony hidrogént áruoló töltő-állomás létezett, amely alkalmas volt a BMW tankjának feltöltésére.

Más autógyárak is próbálkoznak a hidrogénhajtással. A Nissan és a Honda nagy nyomású (350 vagy 700 atmoszféra) tartályokban tárolt, gáz állapotú hidrogénnel üzemelő gépkocsikat fejleszt.

A hidrogén tárolása tehát még nem igazán megoldott probléma. Szerte a világon intenzív kutatások folynak ezen a területen is. A helyhez kötött tartályokban történő tárolás, vagy a föld alatti üregekben való tárolás sokkal könnyebben megoldható, mint a mozgó járművek tankjaiban alkalmazott megoldás. Vannak olyan elképzelések is, hogy a hidrogént ne fizikai módon, hanem kémiailag tárolják. Ilyenkor valamilyen kémiai molekula köti meg a hidrogént, ami magasabb hőmérsékleten (jellemzően 100 °C felett) felszabadul. A megfordítható kémiai folyamatok tűnnek a legígéretesebbnek ezen a területen. Évről évre újabb és újabb vegyületek merülnek fel sikeres tárolóanyagként. Egyelőre egyik sem terjedt el széles körben a gyakorlatban.

Tüzelőanyag-cella

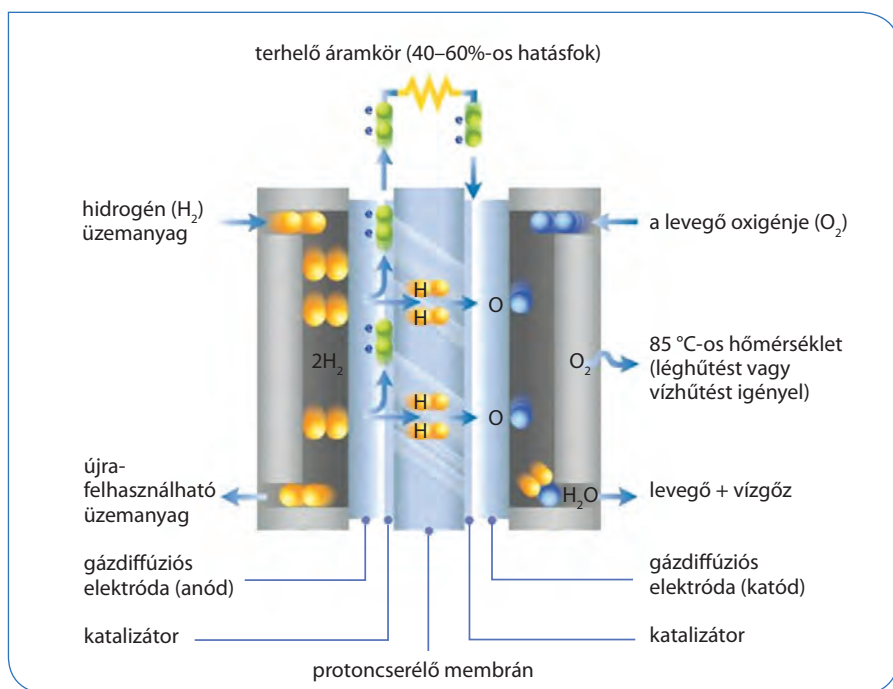
Ígéretes megoldásnak látszik az üzemanyagcella (más néven tüzelőanyag-cella vagy tüzelőanyag-elem). A tüzelőanyag-cella az alkáli elemekhez hasonlóan vegyi reakciók folytán állít elő elektromos áramot, a folyamat lényegében a vízbontás folyamatának fordítottja. Akkor igazán környezetbarát a technológia, ha közvetlenül hidrogént használnak hajtóanyagként, amit áram segítségével lehet előállítani, a víz bontása révén. A tüzelőanyag-cella előnye, hogy az alkáli elemekkel szemben addig üzemel, amíg hajtóanyagot táplálnak bele, és ennek köszönhetően a működése viszonylag precízen szabályozható.

A szerkezet fő egységeit két elektróda alkotja, melyeket két oldalról, egy-egy katalizátorréteggel együtt elektrolitlemezre préselnek. A két elektróda közül az anódon a hidrogén, a katódon pedig az oxigén halad át. A katalizátor a hidrogénmolekulákat protonokra és elektronokra bontja, melyek közül a protonok keresztüláramlanak az elektroliton. A katódra érkező elektronok a katalizátorban egyesülnek az oxigénmolekulákkal és a protonokkal. Közben melléktermékként víz keletkezik. Az elektronok áramlása még a katód előtt nyerhető ki a tüzelőanyag-cellából.

Vannak olyan üzemanyagcellák, melyek reverzibilisen, vagyis megfordíthatóan is működnek. Ha például

NE FELEDD!

A személygépkocsik többsége benzinmotoros, a buszok, teherautók többsége gázolajjal üzemel. Ezekon kívül azonban vannak még más szénhidrogén-származékok is, melyek alkalmasak járművek meghajtására. A repülőgépek kerozinnal működnek, a hajók nagy sűrűségű pakurával (más néven maradék üzemanyag-gal). Elterjedtek még a gázüzemű járművek is.



■ Üzemanyagcella (tüzelőanyag-cella) működési vázlata

NE FELEDD!

Terjedőben vannak az elektromos meghajtású, illetve a hibrid (benzin és elektromos, vagy dízel és elektromos) meghajtású járművek is. Nagy probléma a megfelelő akkumulátorok kifejlesztése.

Ezenkívül sokan a hidrogén hajtású járművek elterjedését tartják az egész világot erősen foglalkoztató probléma megoldásának. Az üzemanyagcellák esetén hidrogénből vagy metanóból közvetlenül elektromos energia állítható elő.

napelemek segítségével termeljük meg az elektromos energiát, akkor az üzemanyagcella fordított üzemmódban képes a víz hidrogénre és oxigénre bontására. A hidrogént tartályban kell felfogni, ami azután energiahordozóként szolgál, és így a normál üzemmódú üzemanyagcella meghajtja a jármű villanymotorját. A tüzelőanyag-cellák fejlesztésének magyar vonatkozása is van. A Nobel-díjas Oláh György vezetésével kifejlesztett direkt metanolos tüzelőanyag-cella (Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) az utóbbi időben az egész világ érdeklődésének fókuszába került. A találmány a hagyományos energiahordozók (nyersolaj, kőszén, földgáz) előteremtési költségeinek és a globális felmelegedésnek a növekvő problémáját oldhatja meg. Az energiacella ugyanis metanollal működik, amit szén-dioxidból állítanak elő, a folyamat végén pedig víz keletkezik. A direkt metanolos tüzelőanyag-cella közvetlenül alakítja át a metanolt (vagy más folyékony szerves tüzelőanyagot) elektromos árammá egy úgynevezett polimer elektrolit membrán segítségével. Elektromos energia tárolására is alkalmas, hatásfoka jobb az ismert akkumulátorokénál. A direkt metanolos tüzelőanyag-cellával működő gépjárművek gyártására minden technikai feltétel adott.

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Mi az „autógáz” (milyen vegyületekből áll), és miért lehet a benzinmotorhoz is használni üzemanyagként?
2. Kinek érdemes átalakítani gépkocsiját úgy, hogy a benzin mellett autógázzal is működjön? Nézz utána, hogy melyik gépkocsimotort lehet átalakítani autógázhajtásra!
3. Mit jelentenek ezek a mozaikszavak egy töltőállomáson: LPG, PB? Miből és hogyan állítják elő ezeket az üzemanyagokat Magyarországon?
4. Milyen anyagok (milyen kémiai elemek) elégetése és oxidjaiknak a levegőben lévő páratartalommal történő egyesülése eredményezi a savas esőket?
5. Milyen savak keletkezhetnek a járművek kipufogógázainak és az erőművek füstgázainak egyes komponenseiből?
6. Melyek a hibrid autók előnyei és hátrányai?
7. Mitől hibrid a „hibrid autó”? Mi a szerepe egy hibrid autóban a belső égésű motornak, a generátor villanymotornak és az akkumulátornak?
8. Miért nagyon alacsony a hatalmas teherhajók motorjának fordulatszámja?
9. Miért nehéz a hidrogén tárolása a hidrogénhajtású gépkocsik esetén?
10. Egy LPG (PB) palack tartalmának tömege 11 kg. A keverék átlagsűrűsége 0,53 kg/liter. Egy „benzinmotoros autó” PB-fogyasztása 6 l/100 km. 1 liter normál állapotú, légnemű PB-gáz elégetéséhez szükséges levegő mennyisége: kb. 28 liter.
 - a) Adott fogyasztás mellett hány kilométerre elegendő egy palack LPG?
 - b) Mennyi levegő kell 100 km út megtételéhez?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Ismertesd, hogyan kapcsolódik össze a normál és a hibrid autókban ezeknek az egységeknek a működése: belső-égésű motor, generátor villanymotor, akkumulátor, amikor gyorsítanak, amikor haladnak és amikor fékeznek a járművek!
2. Milyen üzemmódban szolgáltatja az üzemanyagcella az elektromos energiát (AC, DC)? Milyen energiahordozókkal (vegyületekkel, kémiai elemekkel) lehet az üzemanyagcellát „táplálni”? Miért környezetbarát technológia ez?
3. Ismertesd az üzemanyagcella vagy tüzelőanyag-cella felépítését, működését!
4. Nézz utána, hol tart a kutatás jelenleg a direkt metanolos tüzelőanyag-cella kifejlesztésében, aminek feltalálása Oláh György nevéhez fűződik!
5. Egy LPG (PB) palack tartalmának tömege 11 kg. A propán-bután égéshője: 50 MJ/kg, normál nyomáson a gázkeverék sűrűsége 2 kg/m³.
 - a) Mennyi az energiatartalma egy palack LPG-nek?
 - b) Keresd meg a propán és a bután vegyületek tapasztalati képletét, számítsd ki móltömegüket!
 - c) Számold ki, hogy egy kilogramm PB-keverékben hány gramm lesz a szén és a hidrogén!
6. Mennyi oxigén és mennyi levegő kell a teljes palack elégetéséhez a konyhában? Egy LPG (PB) palack tartalmának tömege 11 kg. A palackban a propán és a bután tömegaránya 65 : 45. A keverék átlagsűrűsége 0,53 kg/liter. Egy „benzinmotoros autó” PB-fogyasztása 6 l/100 km.
 - d) Keresd meg a propán és a bután vegyületek tapasztalati képletét, számítsd ki móltömegüket!
 - e) Számold ki, hogy egy kilogramm PB-keverékben hány gramm a szén és a hidrogén!
 - f) Hány gramm CO₂ és H₂O keletkezik egy kilogramm PG „gáz” elégetése során?

33. | Legfontosabb energiaforrásunk a Nap

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 világátlagnak 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 (tisztaság 91–98%), kemény kőzetként viselkedik, nem porlik és nem hagy nyomot más felületeken. A legértékesebb kőszén, mivel minden más típusnál na-

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 energiahordozóink, a kőszén, a kőolaj, a földgáz és társaik. Mindössze az atomreaktorok energiája, a geotermikus energia és az árapályenergia nem származik a Naptól (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 gyökérzet



■ Antracit

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 feketeköszén, 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 láthatjuk, hogy egyedül a fűtőérték alapján nem lehet a különféle szénfajtákat osztályozni.

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 létrejöhessen.

A **kőolaj** a porózus (üreges) kőzetekben gyűlik össze, általában alatta víz, felette pedig gáz (leggyakrabban földgáz) található. Ezért gyakran a fúrás 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 gyűlékony elegye. Szagosságot és ennek köszönhetően könnyű felismerhetőségére a jellegzetesen kellemetlen szagú etil-merkaptánt vagy más néven etán-tiól 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.

A különböző szenek fűtőértékei

Szénfajta	Fűtőérték (MJ/kg)
Antracit	26–33
Feketeköszén	24–35
Barnaköszén	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)

Gondold meg!

Magyarországon a földgáz átlagos fűtőértéke $34,61 \text{ MJ/m}^3$, amit legkönnyebben úgy ellenőrizhetünk, hogy megnézzük a gázszámlát, vagy ellenőrizzük ezt az értéket például a Főgáz honlapján (www.fogaz.hu). Ezen a honlapon láthatjuk azt is, hogy mennyibe kerül a gáz. (Az országban nemcsak a Főgáztól lehet megvásárolni a gázt, hanem néhány más szolgáltatótól is.) Az egyéni lakossági fogyasztók az A1 felhasználói körbe tartoznak, mert a legtöbb lakossági gázmérő a feltüntetett $< 20 \text{ m}^3/\text{h}$ besorolású. Ez a besorolás azt jelenti, hogy a gázmérőnk olyan, ami óránként kevesebb mint 20 m^3 gáz fogyasztását képes mérni. Ha nem túlságosan nagy a lakásunk, házunk, akkor az I. árkategóriába (ez az olcsóbb) tartozunk, mert feltehetően évi 1200 m^3 -nél kisebb a fogyasztásunk. (Ha a gázmérőnk maximális terheléssel működne, akkor az évi 1200 m^3 -t mindössze 60 óra alatt vételeznénk, ami két és fél nap! Tehát ha lakásunkban, házunkban egyedi mérővel rendelkezünk, akkor biztosak lehetünk benne, hogy soha nem fogyasztunk óránként 20 m^3 -t vagy többet.) Ha túllépjük az évi 1200 m^3 -es fogyasztást, akkor a többletért a II. árkategória szerint kell fizetnünk, ami 16%-kal magasabb árat jelent.

Évente a Főgáznál 11 676 forint alapdíjat kell fizetnünk, ami havonta $11\,676/12 = 973$ forint. Ezért nem kapunk még semennyi gázt, ezt akkor is fizetnünk kell, ha nyaralunk, és semennyit sem fogyasztunk, mert ezért az alapdíjért áll készen a rendszer arra, hogy szolgáltatson. A Főgáz táblázatában szereplő összegek nettó árakat jelentenek, amihez tehát a 27%-os áfát (általános forgalmi adót) hozzá kell adni. Durván úgy számolhatunk, hogy a gázért (a Főgáz ügyfeleként) havonta 1000 forint alapdíjat kell fizetnünk, és minden elhasznált gázért 100 forintot köbméterenként.

A multság kedvéért ellenőrizzük, hogy a gáz árat tartalmazó táblázatban szereplő két ár ($2,256 \text{ Ft/MJ}$ és $78,1 \text{ Ft/m}^3$) ugyanazt az árat jelenti-e. Ugyanis a gázszolgáltatók nem a mérő által mutatott köbméterek alapján számolják ki az árat, hanem a felhasznált fűtőérték, vagyis a felhasznált energia alapján. Így alakul ki a $2,256 \text{ Ft/MJ}$ ár, ami még nem tartalmazza az áfát. Ez a gázdíj azt jelenti, hogy 1 MJ energiáért nettó $2,256 \text{ Ft}$ -ot kell fizetnünk, vagyis ennek 1,27-szeresét, mert az ÁFA 27%-os. A Főgáz illetékesei is rájöttek arra, hogy a legtöbb fogyasztó nem képes a gáz árat forint/megajoule egységben értelmezni, ezért megadják a köbméterenkénti árat is, ami $78,1 \text{ Ft/m}^3$ nettó ár, tehát $(78,1) \cdot (1,27) \text{ Ft/m}^3 = 99,12 \text{ Ft/m}^3$ bruttó ár, vagyis az alaplíjon felül ennyit kell fizetnünk egy köbméter gázért. (Mindez az I. árkategóriára vonatkozik, nagyobb fogyasztás esetén ez 16%-kal magasabb árat jelent.)

A kétféle ár akkor egyezik meg, ha a kettő közötti kapcsolatból pontosan megkapjuk a gáz fűtőértékét. Ehhez a köbméterenkénti árat el kell osztanunk a megajoule-onkénti árral: $(78,1 \text{ Ft/m}^3)/(2,256 \text{ Ft/MJ}) = 34,6188 \text{ MJ/m}^3$, ami nagyon jó egyezésben van a Főgáz honlapján feltüntetett „hivatalos” átlagos fűtőértékkel. Azonban a gázszámlánkon rendszerint nem ez a fűtőérték szerepel, hanem ettől egy kissé eltérő érték. Ennek oka az, hogy van a gázszámlán egy úgynevezett korrekciós tényező, ami azt veszi figyelembe, hogy a fogyasztókhoz eljutó földgáz fűtőértéke kismértékben ingadozik, továbbá a gázmérő a gáz átáramlási sebességéből következtet az elfogyasztott mennyiségre, amit az időjárás változásával együtt járó légnyomásváltozás is befolyásol, bár ez is csak igen kis mértékű hatás.

MEGÚJULÓ ENERGIÁK (Olvasmány)

A legfontosabb megújuló energiaforrásaink közé tartozik a napenergia, a szélenergia, a vízi energia, a tengerek árapály-energiája, a megújuló geotermikus földhőenergia, a biomassa, az energianövények és a bioüzemanyagok energiája.

A napenergiáról a következő leckében lesz részletesen szó. A **szélenergiát** régóta használja az emberiség, gondoljunk csak a szélmalmokra. Elektromosenergia-termelésre az utóbbi két-három évtizedben rengeteg hatalmas szélkereket építettek. A legnagyobb gond ezekkel az, hogy a szárazföldek belsejében alig van szél, vagy ha van, akkor egyszerre fúj mindenhol, tehát nehéz ezeket kiegészítő elektromos energiaforrásként használni. A tengereken, óceánokon sokkal erősebbek a szelek, de oda nehéz szélkerekeket telepíteni. 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.)



■ Szélfarm a Fülöp-szigetekeken

SZÁMOLJUK KI!

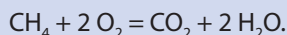
Feladat: Közelítő számítással határozzuk meg a földgáz 34,6 MJ/m³-es fűtőértékéből a földgáz égéshőjét! (Ezt a fűtőértéket 1 atmoszféra nyomású és 15 °C hőmérsékletű földgázzal történő méréssel határozzák meg, amikor a földgáz sűrűsége 0,68 kg/m³.)

Megoldás: Mivel a földgáz 97%-ban metánból áll, tekintsük a földgázt tiszta metán- (CH₄-) gáznak. A metán égésekor (több lépés után) a szénből szén-dioxid, a hidrogénből pedig vízgőz lesz. A fűtőérték kisebb, mint az égéshő, mert a keletkező víz gőzzé válásához szükséges párolgáshőt le kell vonnunk az égéshőből (a gyakorlati szempontokra épülő fűtőérték-meghatározás szerint).

Induljunk ki a 34,6 MJ/m³ értékből, amit a sűrűség alapján váltsunk át MJ/kg mértékegységre:

$$(34,6 \text{ MJ/m}^3) / (0,68 \text{ kg/m}^3) = 50,9 \text{ MJ/kg.}$$

Írjuk fel a reakcióegyenletet:



Vagyis ha tökéletes égést tételezünk fel, akkor 1 mol metán elégetésekor 1 mol szén-dioxid és 2 mol vízgőz keletkezik. 1 kg = 1000 g metán (1000 g)/(16 g/mol) = 62,5 mol anyagmennyiségű, mert a metán moláris tömege 16 g/mol. Ez azt jelenti, hogy 1 kg metán elégetésekor ennek a kétszerese, vagyis 125 mol vízgőz jön létre,

ami (a víz 18 g/mol moláris tömegével számolva) (125 mol) · (18 g/mol) = 2250 g = 2,25 kg. Egy kilogramm metán elégetésekor azért keletkezik ilyen nagy tömegű vízgőz, mert az oxigénatomok sokkal nehezebbek, mint a hidrogénatomok (sőt a szénatomoknál is nehezebbek).

A víz párolgáshője (15 °C-on, mert a mérésekhez ezt a vonatkoztatási értéket használják): 2465 kJ/kg = 2,465 MJ/kg, vagyis 2,25 kg víz elforrálásához (gőzzé válásához) (2,25 kg) · (2,465 MJ/kg) = 5,5 MJ hőre van szükség. Ez tehát azt jelenti, hogy az égéshő és a fűtőérték közötti különbség értelmezésének alapján a metán égéshője ennyivel nagyobb:

$$(50,9 \text{ MJ/kg}) + (5,5 \text{ MJ/kg}) = 56,4 \text{ MJ/kg.}$$

Ha interneten rákeresünk a metán égéshőjére, akkor 891 kJ/mol értéket találunk, ami a következő módon számítható át MJ/kg értékre: (891 kJ)/(1 mol) = (0,891 MJ)/(0,016 kg) = 55,7 MJ/kg. Tehát a laboratóriumokban zárt kaloriméterekben gondosan elvégzett mérésekkel igen jó egyezésű eredményt kaptunk. A mértés lényegében úgy kell elképzelnünk, hogy a kiinduló termékek 25 °C-osak, vagyis 1 kg metánt és megfelelő mennyiségű oxigént tesznek egy zárt kaloriméterbe, és beindítják az égést. Megméri, hogy a kaloriméter a tökéletes égés után mennyi hőt ad le, mialatt újra 25 °C-ra visszahűl az égés után, és a nyomás is visszaáll az eredeti 1 atmoszférára. A leadott hő adja meg az 1 kg metánra vonatkozó égéshőt.



■ Az Aldeadávila-gát a Douro folyón Portugália és Spanyolország között



■ Arápalóerőmű Észak-Írországban

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 erőműveket építeni az ilyen folyókra. Erről a szakemberek között évtizedek óta le nem záruló viták folynak.

Az **árápály energiáját** kétféleképpen használhatjuk ki. Az ősi módszer az, hogy amikor jön a dagály, különösen, ha a Hold mellett a Nap árápálykeltő 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 a talajba lejtett vizet gőz formájában nyerjük vissza, amivel gőzturbinát üzemeltethetünk, és így elektromos energiát állíthatunk elő. 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.

A magas cukor- vagy olajtartalmú növények, mint a cukornád vagy a kukorica felhasználásával bioüzemanyagok készíthetők, ám ezekben az esetekben könnyen felmerülhet az élelem vagy üzemanyag problémája. Sokan felháborodva szembesülnek azzal, hogy Magyarországon is nagy területeken termesztik a repcét. Az Európai Unióban megtermelt repcének már a kétharmad része biodízel üzemanyag előállítását szolgálja. Egyre növekszik azok száma, akik erős ellenszenvvel tekintenek az ilyen repceföldekre, mert úgy vélekednek, hogy ezeken a jó termőföldeken élelmiszer-növényeket kellene termesztetni, és nem bioüzemanyagok számára repcét!

A tüzelhető biomasszákat általában szárítani kell, hogy viszonylag alacsony legyen a nedvességtartalmuk és ennek megfelelően magas legyen a fűtőértékük. A tüzelhető biomasszákkal szemben fontos követelmény, hogy az éghetetlen hamutartalmuk olyan vegyi összetevőkből álljon, amelyek nem roncsolják szét a kazánberendezést, illetve nem olvadnak rá a fűtőfelületekre, valamint nem okoznak jelentős levegőszennyezést. A leggyakoribb tüzelhető biomasszafajták: aprított tűzifa (erdei lág vagy kemény lombos erdőkből, fűrészüzemi hulladékokból, illetve lág fa energiaültvényekből előállítva), fűrészpor (fűrészipari melléktermék), szalma, illetve energiafű.

A gyorsan növvő fákból lehetséges energiaerdőket vagy energetikai faültvényeket létrehozni.

A kettőt lényegében csak az különbözteti meg, hogy a művelésük az erdő-törvény hatálya alá esik, vagy sem. Magyarországon ilyen célra a következő fafajok alkalmasak: gyertyán, juhar, hárs, fűz, éger, nyír és az akác. Ezek ugyanis gyorsan nőnek és jól eltüzelhetőek. Az energiaerdőknek, il-



■ Geotermikus erőmű a Fülöp-szigeteken



■ Repceföld



■ Biomassza fapellet



■ Biogázfejlesztő Németújvárott

letve a faültetvényeknek az üzemeltetési módja lehet újratelepítéses vagy sarjaztatásos. Mindkét esetben tarvágással kivágják a megfelelő méretre nőtt fákat, azonban a nagyon sűrű telepítéssel létrehozott erdőkben újratelepítés nélkül, sarjazdással még ötször-hatszor magától visszánő az erdő, míg a lazán telepített erdőkben minden tarvágás után újra kell telepíteni az energiafákat. Pécssett 2012 decemberétől üzemel egy olyan biomassza-erőmű, ami elegendő elektromos energiát termel a város számára, a gőzturbinák maradék gőzével pedig a város 60%-ában megoldja a távhőszolgáltatást. Az erőmű fele részben tűzifával, egyharmad részben faaprítékkal, továbbá fűrészipari melléktermékekkel és szalmatüzeléssel működik.

A biogáz olyan gázelegy, amelyet mikrobák állítanak elő oxigénmentes (anaerob) körülmények között. Körülbelül 45–70% metánt (CH_4), 30–55% szén-dioxidot (CO_2), nitrogént (N_2), hidrogént (H_2), kénhidrogént (H_2S), ammóniát (NH_3) és egyéb maradványgázokat tartalmaz. Magas energiataralma miatt a biogázt energiatermelésre lehet hasznosítani. A biogáz energiataralmára a metántartalomtól lehet következtetni: 60%-os metántartalom esetén 1 m³ biogáz 0,6 l tüzelőolaj energiájával egyenértékű. A biogáz lehetséges felhasználási módja többféle lehet; biogáz üzemű kazánban meleg vizet állíthatunk elő, elektromos energiát termelhetünk a biogázzal, ami egy kisebb gazdaság igényét kiszolgálhatja, kombinálhatjuk az elektromosenergia-termelést a melegvíz-előállításal, illetve biometánt is előállíthatunk a biogázból, amit akár a földgázhálózatba is betáplálhatunk. (Magyarországon még nem jött létre ilyen biometán-betáplálás, bár ennek a törvényi feltételei adóttak.)

A gépjármű-üzemanyagként hasznosítható biomasszákat két alapvető csoportra bonthatjuk a helyettesített tüzelőanyag fajtája szerint. Benzin esetében bioetanolról beszélhetünk, amit magas cukortartalmú (cukorrépa, cukornád), magas keményítőtartalmú (kukorica, burgonya, búza) vagy magas cellulóztartalmú (szalma, fa, nád, energiafű) növényekből állíthatunk elő. Dízelolaj esetében (biodízel) olajtartalmú növények (például repce, olívbogyó, napraforgó stb.) jöhetnek szóba, melyekből az olaj kisajtolható, és egyszerűbb vegyszeres kezelése után a dízelolajhoz hasonló anyag nyerhető belőlük.

A biomasszából előállított energia alkalmazásával nem szakítunk azzal a többi energiaforrással is alkalmazott, ámde egyes szakértők és sok egész-

ségesen gondolkodó ember szerint téves megközelítésünkkel, hogy a bolygó teljes egésze az emberiség igényeinek kiszolgálásáért van. Ha a mezőgazdasági területeken termő növényeket elégetjük, rengeteg élőlény táplálékforrását és élőhelyét égetjük el. Emellett felmerül annak kérdése is, hogy a művelhető területeken erdő, élelmiszer vagy energia teremjen. Amikor a döntéshozók ilyen és ehhez hasonló kérdésekkel szembesülnek, akkor rendkívül sok egymásnak gyakran ellentmondó érdeklődéssel találkoznak, és legtöbbször nem az emberiség közös érdeke, hanem az egyes érdekcsoportok politikai-gazdasági ereje határozza meg a döntéseket.



■ A pécsi Pannonpower erőmű

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 fosszilizsoknak?
3. Miért nevezhető a Nap energiája és a Föld közhője „kimeríthetetlen” energiaforrásnak?
4. Miért mondhatjuk azt, hogy a jelenlegi években megtermelt biomasszában (mezőgazdasági növények, tenyésztett állatok, állatok trágyája stb.) bármilyen formájú energetikai felhasználása CO_2 - (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 6 tonna fa kitermelése jelenti a fenntartható erdőgazdálkodást. A sarangolt (legallyazott) hosszú (2,5 méteres) rönkfa 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!

A fosszilis és a megújuló energiaforrásaink is végső soron a Nap energiájából származnak. 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-régén 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.

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

4. Búzaszalmából kb. 3 tonna terem meg évente hektáronként. Átlagos fűtőértéke 15 MJ/kg. Bálázó gépekkel 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 „energiatartalmat” 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 „energiamennyiség” 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 a biogáz 60%-ban metánt tartalmaz, akkor ez megfelel 0,6 liter tüzelőolaj (gázolaj) fűtőértékének!

34. | A napenergia felhasználása

A napállandó

A napállandó a Nap kisugárzott energia mennyiségének 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-kétezer 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!

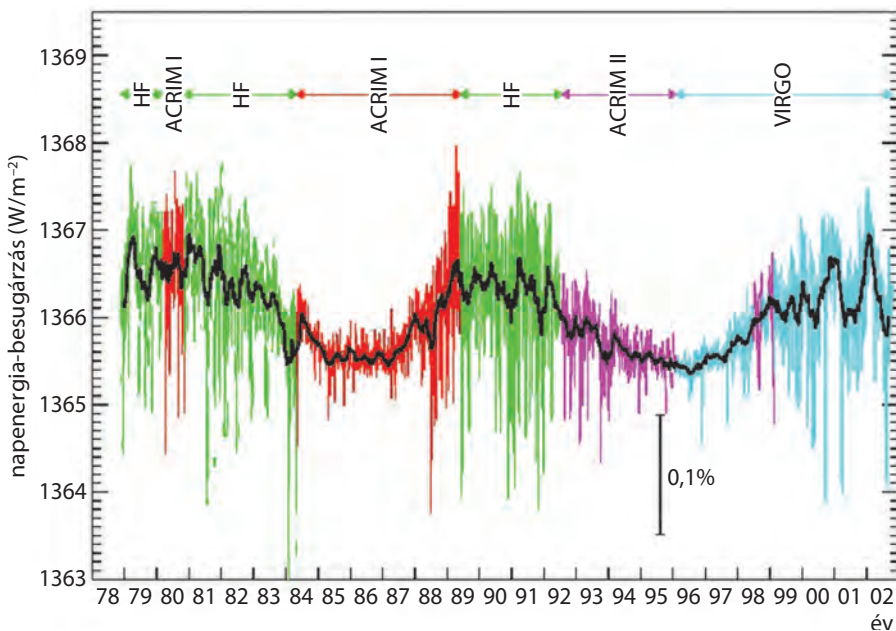
Amikor azt mondjuk, hogy a Nap fényintenzitása a Föld legfelső légkörében közelítőleg 1400 W/m^2 , akkor ezt így is írhatjuk $1400 \text{ J/s} \cdot \text{m}^2$, hiszen $1 \text{ watt} = 1 \text{ joule/másodperc}$, azaz $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$. Ez azt jelenti, hogy a Naptól érkező energiaáram akkora, 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 kezdetünk ilyen sok energiával?

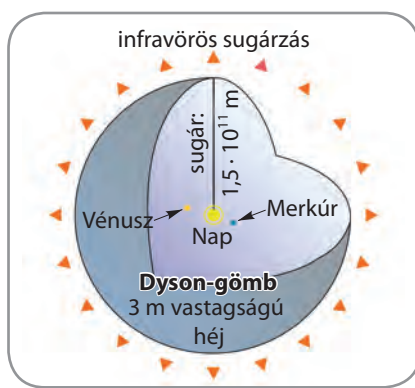
A „Számoljuk ki!” részben láthatjuk, hogy a Nap sugárzási fűtőteljesítménye $3,84 \cdot 10^{26} \text{ W}$, amit úgy mondhatunk ki megfelelő előtétző segítségével, hogy ez $384 \text{ YW} = 384 \text{ jottawatt}$. A Földön minden emberre nagyjából 350 W -os átlagos villamosenergia-termelés jut, és mivel 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 energián sugározna, amit infravörös sugárzásnak hívunk.



■ Dyson eredeti elképzelésében 3 méter vastagnak képzelte a gömbhéját

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.

NAPKOLLEKTOROK (Olvasmány)

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. Régióta 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 épületgépészeti 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



■ A fekete csőben felmelegedett víz folyik vissza a csúszdán át a medencébe



■ Feketére festett fémhordóból készített kerti zuhany

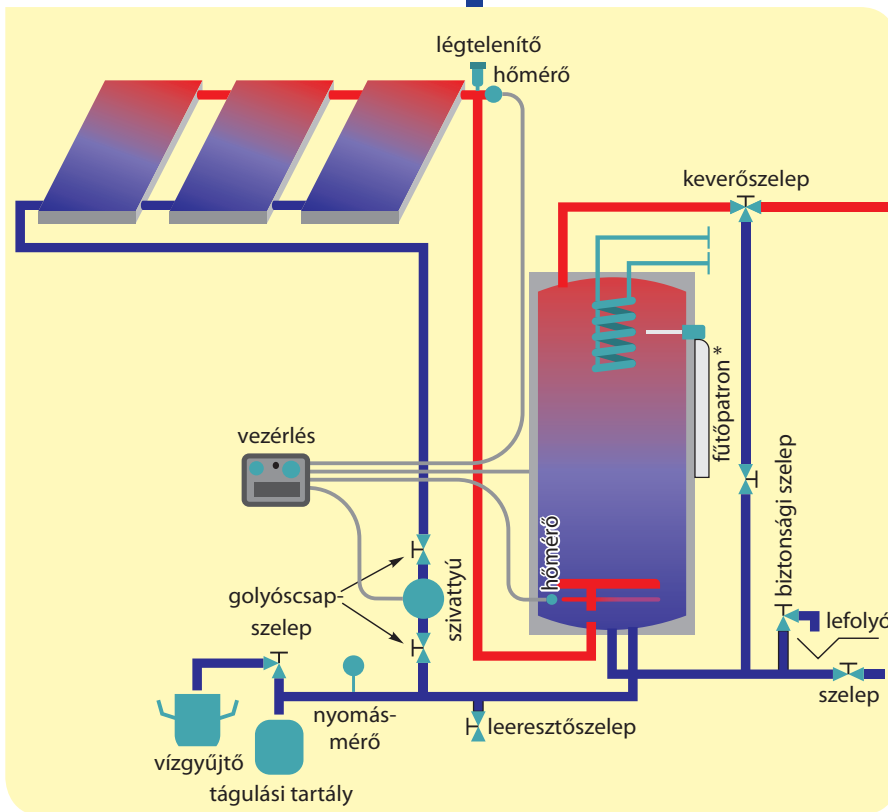
évi napsütéses órák száma közel 2000 óra/év, ami azt jelenti, hogy érdemes napkollektorokat használni, főként használati meleg víz előállítására. A számítások azt mutatják, hogy az éves melegvíz-szükséglet 70%-át elő lehet állítani napmeleggel.

A napkollektorok az 1950-es évektől kezdve terjedtek el világszerte. Kezdetben úgynevezett **síkkollektorokat** használtak, melyek tetején egy átlátszó, hőszigetelő, síküveg 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 csőkégyő elrendezésű, de lehet simán két síkklap között szabadon áramló folyadék is. A síkkollektorok legalsó rétege egy hőszigetelő hátlap.

Síkkollektorok esetén megoldható az is, hogy az áramló folyadék tiszta víz legyen, ami egyszerűen az épület vízhálózatára van kötve. Ilyenkor télen a síkkollektort a fagyásveszély miatt vízteleníteni kell. Lehetséges az is, hogy a síkkollektorban fagyálló folyadék kering, ami egy hőcserélőn keresztül adja le a használati melegvíz-tartálynak a hőjét. Általános megoldás az, hogy a használati melegvíz-tartályban elhelyeznek egy elektromos fűtőszálat is, mely azokban az esetekben, amikor a napenergia nem elegendő megfelelő mennyiségű meleg víz előállítására, akkor rásegít a rendszerre.

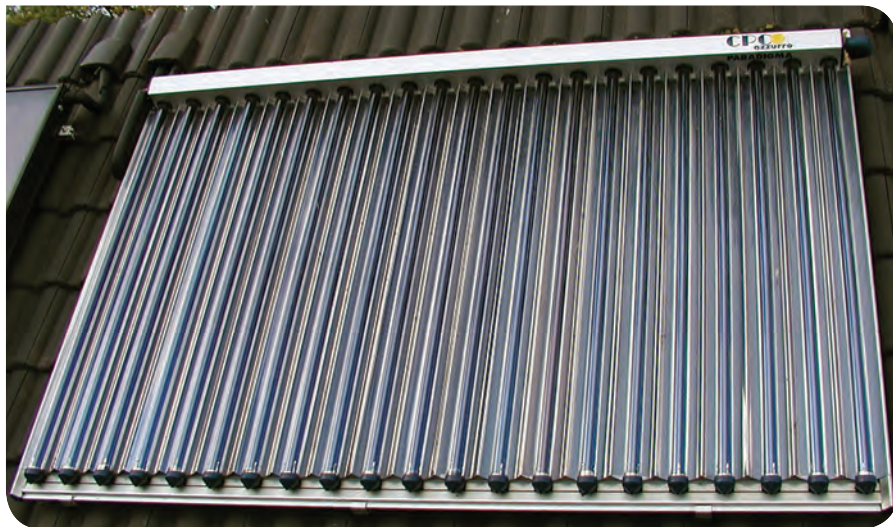
Két-három évtizede jelentek meg a piacon a **vákuumcsöves napkollektorok**. A vákuumcsöves kollektorok kettős falú üvegcsőből állnak, amelyben nagy vákuum van a külső és a belső üvegfalak között. A belső üvegcövet szelektív fényelnyelő réteggel vonják be, itt alakul át a napenergia hasznosítható hővé. A nagy vákuum megakadályozza, hogy hőáramlással vagy hővezetéssel jelentős veszteség keletkezzen. Ennek következtében alkalmazhatóak borús és hideg, téli körülmények között is a vákuumcsöves kollektorok (azonban ha hóval vagy jéggel vannak beborítva, akkor gyakorlatilag nem tudnak működni).

A kettős falú vákuumcső belső csőnek külső felületén lévő réteg nyeli el a hőt. Innen a hő a fűtőcsőbe kerül, amelyben általában víz és alkohol keveréke található. A fűtőcső egy üreges rézcső, amit a jobb hőátadás és a mechanikai illeszkedés érdekében alumíniumborítással vesznek körül. A fűtőcsőben nincs levegő, csak a jól párologó folyadék (alkohol-víz keverék), ami az alacsony nyomás miatt már kb. 30 °C-os hőmérsékleten forrásnak indul. Ezért a fűtőcsőben a folyadék elpárolog és felszáll a hőátadó patronba. A hőátadó patron egy központi csőhöz kapcsolódik, és itt a hőátadó patron átadja a hőt a rendszernek, amelyben általában fagyálló folyadék kering. A fűtőcsőnek mindig ferde helyzetben kell



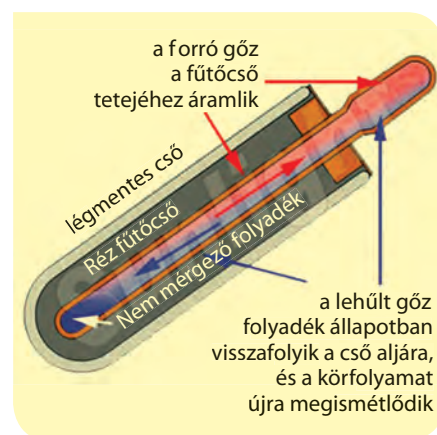
■ Napkollektoros fűtési rendszer vázlatos felépítése (ebben a rendszerben a *-gal jelzett fűtőpatron arra szolgál, hogy akár az épület rásegítő fűtéséként is használható legyen ez a megvalósítás)

állnia, hogy a tetején lehűlő, és így lecsapódó, vagyis újra folyadék állapotba kerülő folyadék visszafolyjon a fűtőcső aljára. Működés közben a meleg gőz feláramlása és a hideg lecsapódott folyadék visszafolyása folyamatosan, egy időben zajlik. A vákuumcsövek egymástól el vannak szigetelve, csak a központi csőhöz kapcsolódnak. Ennek következtében, ha egy cső tönkremegy, akkor csak ezt a csövet kell eltávolítani, és nem kell az egész rendszert leállítani, a rendszer kicsivel alacsonyabb teljesítménnyel néhány cső kimaradása-kor is tud üzemelni.

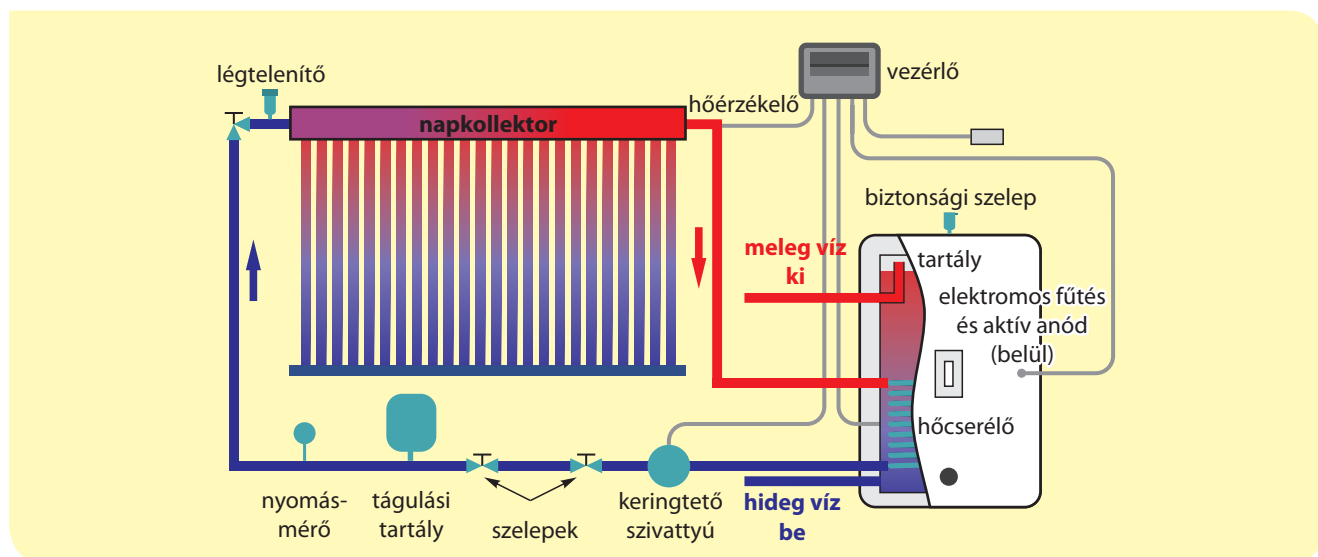


■ Vákuumcsöves napkollektortábla a háztetőn

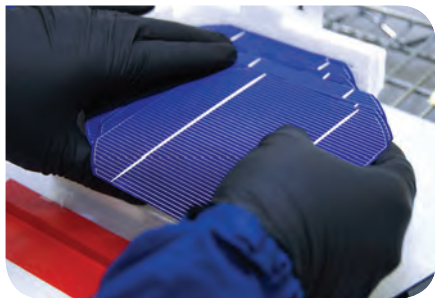
Magyarországon az időjárási viszonyok miatt az egész éves melegvíz-ellátásra a zárt rendszerű házi melegvíz-ellátó rendszerek használhatóak. A zárt rendszer azt jelenti, hogy a napkollektorban a hőgyűjtő közeg zárt csővezetékben kering (függetlenül a használati meleg víztől), a Naptól nyert energiát hőcserélőn keresztül adja át a használni kívánt víznek. A hőgyűjtő közeg olyan anyag, mely a legnagyobb téli hidegben sem fagy meg, ezért télen is használható, nem kell leüríteni. Ez az anyag tipikusan megfelelően alacsony fagyáspontra beállított fagyálló folyadék. Elégtelen mennyiségű hőenergia begyűjtésekor lehetőség van a tartályban elhelyezett elektromos fűtőbetéttel előállítani a meleg vizet. A fűtőbetét működését hőérzékelőkkel vezérelt elektronika szabályozza. A vezérlő elektronika szabályozza a keringető szivattyú működését is. Csak abban az esetben engedi a keringtetést, ha megfelelő hőmérséklet-különbség alakult ki a napkollektor és a tartály vize között.



■ Vákuumcső szerkezete



■ Vákuumcsöves napkollektoros rendszer vázlat



■ Szilícium egykristály alapú napelemtábla

NAPELEMEK *(Olvasmány)*

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 keverték 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.

A napelemek gyakorlati felhasználása akkor indult el útjára, amikor félvezetőkkel sikerült megvalósítani a jelenséget. Két különböző típusú félvezető réteget hoznak érintkezésbe, és megvilágítják a határrejteget. A fény energiájának hatására a rétegben töltésszétválás jön létre, hasonlóan ahhoz, ahogy a kémiai elemek pólusain a kémiai reakciók töltéseket választanak szét. Zárt áramkör esetén a megvilágított napelem folyamatosan egyenáramot hoz létre.

Alapanyag szerint megkülönböztetünk monokristályos szilícium, polikristályos, amorf szilícium, fém-félvezető (kadmium-tellurid, réz-indium-tellurid), adalékolt amorf félvezető és szerves anyagokból (polimerekből) készült napelemeket. A kereskedelemben forgalmazott napelemek közül a legmagasabb hatásfokkal (15–18%) az egykristályos szilícium alapú, a legalacsonyabbal (2–5%) a polimer napelemek rendelkeznek. Rendkívül magas árak miatt egyelőre nem terjedtek el a gallium-arszenid alapú napelemek, melyek hatásfoka igen magas, több rétegű elrendezéssel 60–80% is elérhető.



■ Napfarm Freiberg (Németország) mellett

A napelemekből kinyerhető teljesítmény függ a fény beesési szögétől, a megvilágítás intenzitásától és a napelemre kapcsolt terheléstől. A fény intenzitását kevéssé tudjuk befolyásolni, míg a másik két paraméter elméletileg kézben tartható. A napelem beépítése szerint lehet fix vagy napkövető jellegű. A fixen beépített napelem megfelelő tájolás esetén (déli irány, Magyarországon 35°-os dőlésszög) reggeltől estig tud áramot termelni tiszta idő esetén. Természetesen reggel és este már csak kisebb teljesítményre képes a napelem, mivel fix rögzítés esetén a napsugárzás kis beesési szögben kisebb áramerősséget tud megtermelni.



■ Napelemtáblák a Nemzetközi Űrállomáson

Ahhoz, hogy egész nap az időjárás által megengedett maximális teljesítménnyel tudjuk gyűjteni a napenergiát, a nappal folyamán vízszintesen forgatnunk, függőlegesen bólintanunk kell a napelemet úgy, hogy a nap-sugár beesési szöge a lehető legkisebb mértékben térjen el a merőlegestől. Ehhez plusz elektronikát és mechanikus elemeket kell felhasználnunk, és a telepítési hely megválasztására is nagyobb gondot kell fordítani, továbbá karbantartási költségekre is számítani kell. Ellenben a fix beépítésnél elegendő a (tervezéskor már jól betájtolt) ház tetőszerkezetét felhasználnunk a napelemek tartójának.

Az optimális besugárzásra beforgatott napelemmodul sem fog mindig maximális teljesítményt szolgáltatni, mivel a besugárzás mértéke több okból is változhat (lecsökkenhet, ha például lemegy a Nap, vagy eltakarják a felhők stb.). Mivel az elektromos fogyasztókat folyamatosan szeretnénk üzemeltetni, viszont a napelem nem tud folyamatosan energiát biztosítani, valamilyen átmeneti energiatárolót (például akkumulátorokat) kell alkalmaznunk a rendszerben, amivel áthidalhatjuk az alacsonyabb napfény-intenzitású időszakokat.

Az energia hasznosításának másik útja, amikor invertert alkalmazunk. Az inverter a napelem egyenáramát váltakozó árammá alakítja át, és visszatáplálja a hálózatba. A visszatáplálás természetesen csak a hálózat periódusával szinkronizálva lehetséges, és az elektromos művek engedélye is szükséges hozzá. Jelenleg a szolgáltatók – a műszaki feltételek betartása és szerződés-kötés mellett – kötelesek átvenni a megtermelt környezetbarát energiát, de ennek feltételei területenként és szolgáltatónként eltérőek lehetnek. Remélhetően hamarosan egy jól méretezett rendszerrel még az is elérhető lesz, hogy éves elszámolásban egyáltalán nem kell az áramért fizetni, még az egyes kiemelkedő fogyasztású időszakok, illetve a téli borús időjárás ellenére sem.

A teljesítmény növelésének egyik módja sok apró lencse alkalmazása, amelyek a napfényt, a beesési szögtől függetlenül, a napelemekre fókuszálják. A lencsés használat további előnye, hogy magát a napelempanelt az optikai fókuszálás miatt sokkal kisebbre lehet venni, így földi körülmények között is lehetőség nyílik kiváló hatásfokú, de egyébként drága, az űrtechnológiában alkalmazott napelemegységek gazdaságos használatára.



■ 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

NE FELEDD!

A Napból a Föld légkörének tetejére a napsugarak négyzetméterenként és másodpercenként közel 1400 J energiát szállítanak. Tiszta, napos időben ebből a Föld felszínére közel 1000 W/m² 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 melegvíz-szükségletét 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 házuk, 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 napkóhókban gőzt termelnek, mellyel gőzturbinák hajthatók meg. A Stirling-motor alkalmazása reneszánszát éli, ennek az úgynevezett külső hőbevezetésű motornak az energiaellátását napenergiával parabolatükrökkel oldják meg.

Napkóhók

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.

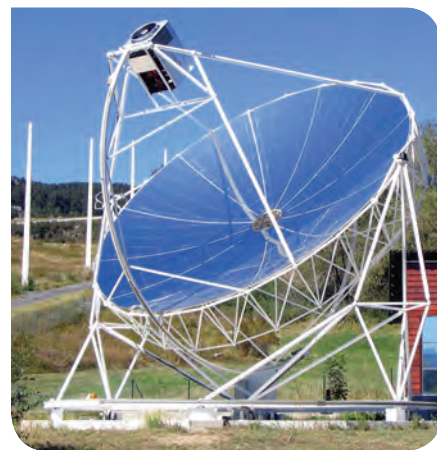


■ Az első naphőerőmű (Barstow, Kalifornia, Mojave-sivatag, USA) 1982–1988-ban épült. A második naphőerőmű 1994–1999 között ugyanott épült az első továbbfejlesztett változataként

Stirling-motor

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 elégő fűtőanyag, mint a benzin- vagy dízelmotoroknál, vagy a gázturbinában, hanem a motoron kívül van. 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.

Manapság erőteljesen fejlesztik a Stirling-motorokat, melyeket parabolatükrök segítségével napenergiával hajtanak meg. A parabolatükrök fókuszálja a napfényt, a tükrök 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.



■ Spanyolországban, a Tabernas-sivatagban napenergia-kutató központ működik, ahol többek között Stirling-motor építésével is foglalkoznak

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) merőleges 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?

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 napkórház, 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 napelempaneleknek, 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 napállandó a Föld távolságában 1366 W/m^2 . Az átlagos Nap–Föld-távolság 149,6 millió kilométer.
 - a) Mennyi a Nap–Föld-távolság sugarú gömb felülete?
 - b) Mennyi a Nap világűrbe kisugárzott energiájának a teljesítménye?
 - c) Mennyi a Nap egy év alatt kisugárzott energiája?
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?

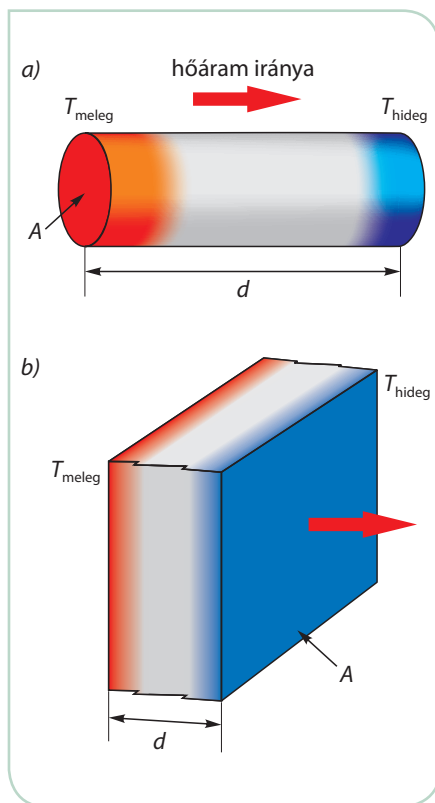
35. | A hőterjedés formái

Képzeld el, hogy egy társaság magashegyi túrán sátrakban 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 kikészül 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 lehűlés. A jelenség magyarázatában a hőszugárzás, a hővezetés és a hőáramlás is szerepet játszik. Ezekről a jelenségekről szól ez a lecke.

Az eddigiekben általánosságban tanultunk csak a hőterjedésről, azt mondtuk, hogy a hő energiaátadási folyamat. Most megismerkedünk a hőterjedés három lehetséges formájával, a hővezetéssel, a hőáramlással és a hőszugárzással.

A hővezetés

Hővezetés történhet szilárd, folyékony és légnemű anyagokban is, azonban a hővezetés döntő módon a **szilárd anyagokra jellemző**. A hővezetés az egymás melletti atomok vagy molekulák ütközései révén következik be. Ha a részecskék átlagos energiája mindenhol ugyanakkora, akkor nem jön létre hőáram. Ha az anyag egyik helyén magasabb a hőmérséklet, akkor a magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb felé energiaátadás indul meg, a hő mindig a magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb felé áramlik. Akkor is hővezetés történik, ha különböző hőmérsékletű testek érintkeznek. Például az elektromos főzőlapra helyezett teáskanna esetén a magas hőmérsékletű főzőlapból hővezetéssel folyik a hőáram a teáskannába. A főzőlap atomjai nagyobb energiával rezegnek, mint a teáskanna atomjai, egymással érintkezve, ütközésekkel a főzőlap energiát ad át a teáskannának. A hőátadás addig folytatódik, amíg az érintkező felületek hőmérséklete ki nem egyenlítődik, az érintkező felületeket alkotó atomok rezgési energiája meg nem egyezik.



■ a) Hővezetés egy d hosszúságú hengerben. b) Hővezetés egy d vastagságú hasámban

Egyenes henger vagy egyenes hasáb esetén a másodpercenként a test keresztmetszetén áthaladó energia, vagyis a hőáram nagyságát a következő módon számíthatjuk ki. A hőáramot jelöljük H -val: $H = \Delta Q / \Delta t$, ahol ΔQ a hasáb vagy henger keresztmetszetén Δt idő alatt átáramló hő jelent. Ennek megfelelően a hőáram mértékegysége $J/s = W$ (watt). A H hőáram egyenesen arányos a henger vagy a hasáb két végének $\Delta T = T_{meleg} - T_{hideg}$ hőmérséklet-különbségével, és szintén egyenesen arányos a test A keresztmetszeti felületével.

Ezzel szemben a H hőáram fordítottan arányos a henger vagy hasáb d vastagságával (vagy hosszúságával). Minél vastagabb anyagon történik a hővezetés, annál hosszabb „láncon” kell lejátszódnia az atomi ütközéssorozatnak, ezért ahányszor vastagabb a réteg, hosszabb a henger vagy a hasáb, annyszor kisebb a hőáram.

A hővezetésben részt vevő test anyagi minősége az utolsó tényező, ami befolyásolja az energiaátadási folyamatot. Fémekben az atomok legkülső elektronjai leszakadnak az atomtörzsekről, és így szabadon mozoghatnak az atomok között. Ezek az elektronok könnyen szállíthatják a hőt. Ha az anyagban vannak szabad elektronok, akkor a hőterjedés gyors, ha nincsenek, mint például a nemfémek szilárd anyagokban, akkor a hőterjedés lassú. Folyadékokban az egymás közelében lévő atomok, molekulák közötti erők gyengébbek, ezért a folyadékok rosszabb hővezetők, mint a szilárd anyagok. Ugyanez az érvelés még határozottabban igaz a gázokra, melyek igen gyenge hővezetők. A különböző anyagok hővezetési tulajdonságát a λ hővezetési tényezővel vesszük figyelembe. (A λ görög betű, így ejtjük: *lambda*.) Minél nagyobb egy anyag hővezetési tényezője, annál könnyebben történik benne az energiaáramlás. Különböző anyagok hővezetési tényezőit a következő oldal tetején látható táblázatba gyűjtöttük.

A H hőáram tehát egyenesen arányos az anyagra jellemző λ hővezetési tényezővel, a henger vagy a hasáb A keresztmetszeti felületével és a henger vagy hasáb két vége között kialakuló ΔT hőmérséklet-különbséggel, továbbá fordítottan arányos a henger vagy a hasáb d hosszával, illetve vastagságával. Ezt a hosszú mondatot a következő viszonylag egyszerű képlet fejezi ki:

$$H = \lambda A \frac{\Delta T}{d}.$$

A képlet segítségével kiolvashatjuk a hővezetési tényező mértékegységét.

A hőáram mértékegysége $J/s = W$ (watt), a felületé m^2 , a vastagságé m , a hőmérséklet-különbségé $^\circ C$.

Ezekből az következik, hogy a λ hővezetési tényező mértékegysége:

$$\frac{W}{(m \cdot ^\circ C)}.$$

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Számítsuk ki, hogy mennyi hőt ad le egy 5 méter hosszú, 3 méter magas, 20 cm vastag betonfal 8 óra alatt, ha a benti hőmérséklet $22^\circ C$, a külső hőmérséklet pedig $-3^\circ C$!

Hogyan változik meg a hőleadás ugyanennyi idő alatt, ha a fal külső felületére 10 cm vastagságban hungarocell (polisztirol) szigetelést erősítenek? A beton hővezetési tényezője $1,7 W/(m \cdot ^\circ C)$, a hungarocell (polisztirol hab) hővezetési tényezője $0,033 W/(m \cdot ^\circ C)$.

Megoldás: Alkalmazzuk a hővezetési egyenletet:

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda A \frac{\Delta T}{d},$$

ahonnan

$$\Delta Q = \lambda A \frac{\Delta T}{d} \Delta t = \frac{\left(1,7 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right) (15 m^2) (25 ^\circ C)}{0,2 m} (8 \cdot 60 \cdot 60 s) = 9,18 MJ.$$

A hőszigetelő réteg felszerelése után ugyanakkora hőáram halad át a hungarocell szigetelésen is, mint a betonfalon. A külső és a belső hőmérséklet nem változik, a betonfal és a szigetelőréteg találkozásánál létrejövő hőmérsékletet viszont ki kell számítanunk:

$$H_{\text{beton}} = \lambda_{\text{beton}} A \frac{\Delta T_{\text{beton}}}{d} = H_{\text{szig}} = \lambda_{\text{szig}} A \frac{\Delta T_{\text{szig}}}{\frac{d}{2}},$$

ahol kihasználtuk, hogy a szigetelőréteg vastagsága fele a betonrétegének. Az egyszerűsítések után a hőmérséklet-különbségek arányára a következő összefüggést kapjuk:

$$\frac{\Delta T_{\text{beton}}}{\Delta T_{\text{szig}}} = \frac{2 \lambda_{\text{szig}}}{\lambda_{\text{szig}}} = \frac{2 \cdot \left(0,033 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right)}{\left(1,7 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right)} = 0,0388 \approx 0,04.$$

Az eredmény azt mutatja, hogy a külső és a belső hőmérséklet-különbségnek hozzávetőlegesen a 4%-a, vagyis 1/25 része esik csak a betonra, a többi pedig a szigetelőanyagra. Vagyis szigetelés esetén a betonfalban mindössze $1^\circ C$ -ot esik kifelé a hőmérséklet. Tehát azt mondhatjuk, hogy a hőáram mindössze 4%-a, 1/25 része lesz az előzőnek, ugyanannyi idő alatt 25-ször kevesebb hő áramlik át a falon.

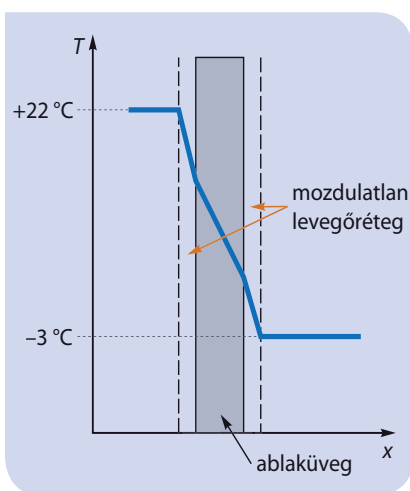
Megjegyzések: A számítások azt mutatják, hogy nagyon megéri a betonházak hőszigetelése, ami így is van. Azonban ne számítsunk arra, hogy a régi fűtési számláknak mindössze 4%-át kell kifizetnünk a szigetelés után, mert például az ablakokat nem lehet ugyanígy szigetelni, és az ablaküvegeken keresztül továbbra is jelentős lesz a hőáram. Az sem jó megoldás, ha tökéletesen légmentesen lezárjuk az ajtókat és az ablakokat, mert akkor nem szellőzik a lakásunk, és panelházakba igazán nagy luxus lenne ezek után még olyan szellőztetőket is beszerezni, melyek előfűtött levegővel szellőztetnek folyamatosan (bár létezik ilyen megoldás is passzív házak esetén).

A betonházakat mindenhol a világon kívülről szigetelik, pedig belülről sokkal olcsóbb lenne. Ennek nem az a magyarázata, hogy a belső szigetelés a belső térből venne el (pedig ez is igaz), hanem az, hogy a belső szigetelés után a beton belső és a szigetelés külső, egymással érintkező felületén olyan hideg lenne, ami csak egy fokkal lenne melegebb a külső hőmérsékletnél, és ezért a beton belső felületére vízpára csapódna ki, ami óhatatlanul a lakások falának penészesedéséhez vezetne.

Anyag	$\lambda \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$	Anyag	$\lambda \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$	Anyag	$\lambda \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$
Levegő	0,023	Homok	0,39	Ón	66,8
Merev poliuretán szigetelőlemez	0,023–0,026	Víz	0,6	Platina	71,6
Üvegyapot-szigetelés	0,029–0,072	Ablaküveg (közönséges)	0,63	Vas	80,2
Kőzetgyapot-szigetelés	0,038	Hóálló üveg	1,34	Sárgaréz	112
Parafa	0,046	Beton	1,7	Cink	116
Fa	0,13	Jég	1,7	Volfrám	173
Talaj (száraz)	0,14	Rozsdamentes acél	14	Alumínium	237
Azbeszt	0,17	Ólom	35	Arany	318
Hó	0,25	Acél	46	Vörösréz	401
		Nikkel	60	Ezüst	429

Hallottál róla?

Az üveg sokkal rosszabb hővezető, mint a fémek, azonban a hővezetési tényezője nem elhanyagolható, valamivel több, mint egyharmada a betonénak. Viszont a betonfalak vastagok, az ablaküvegek pedig vékonyak, ha tehát – mondjuk – 150 mm vastag betonfalat 3 mm vastag ablaküveggel hasonlítunk össze, akkor arra a következtetésre juthatunk, hogy az üvegen keresztül 15-20-szor annyi hő áramlik át, mint ugyanakkora felületű betonfalon. Ez az érvelés azonban nem teljesen állja meg a helyét, mert az üveg belső és külső felületén mozdulatlan vékony légréteg található, melyben jelentősen változik a hőmérséklet.

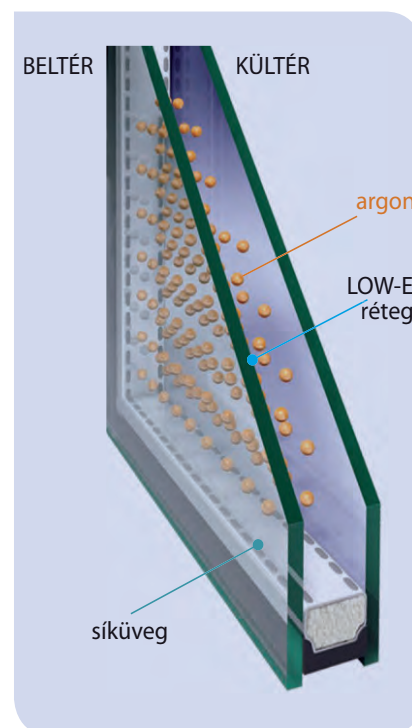


■ A mozdulatlan légrétegekben az ablaküveg két oldalán jelentősen esik a hőmérséklet, ami erőteljesen javítja az ablaküveg hőszigetelő hatását

Ha például a külső és a belső hőmérsékletek különbsége 25 °C, akkor az üveg külső és belső felülete között várhatóan csak 12–15 °C lesz a különbség. Elmondhatjuk tehát, hogy az ablaküvegek hőszigetelésében a felületükre tapadt mozdulatlan légrétegeknek nagyjából ugyanannyi a hőszigetelő szerepe, mint magának az üvegnek!

Ez az érvelés azt is bizonyítja, hogy miért érdemes úgynevezett termoplán ablakokat alkalmazni, ahol két 3 mm-es üvegtábla között 6 mm-es, elzárt légréteg van. Így jelentősen megnöveljük a mozdulatlan levegő hőszigetelő hatását, hiszen az elzárt részben áll a levegő. Ezzel sokkal jobb hőszigetelést érhetünk el, mintha egyetlen 6 mm vastag üvegtáblát alkalmaznánk.

Télen, ha erősen fúj a szél, akkor nagyon gyorsan hűl a lakás. Ennek az a magyarázata, hogy ilyenkor a szél elfújja a mozdulatlan légréteget, ami nagyban rontja a hőszigetelést. Ugyanez a ruházkodásra is igaz. Szélcsendben ruhánk felületén is kialakul a védő mozdulatlan, hőszigetelő légréteg, ami erős szélben teljesen eltűnik. Ezért erős szélben még akkor is jobban fázunk, ha valójában pár fokkal melegebb a levegő. Ugyanezért hordanak meleg ruhát nyáron is a motorosok, ha hosszú távot tesznek meg nagy sebességgel, hiszen a menetszél lefújja róluk a mozdulatlan védő légréteget.



■ Korszerű ablaktábla: az üvegtáblák közé levegő helyett argont rétegeznek, ami jobb hőszigetelő a levegőnél. Az üvegtáblák belső felületét rendkívül vékony ezüst- vagy ónréteggel vonják be (LOW-E réteg, ami alacsony kibocsátást [emissziót] jelent). Így elérik azt, hogy nyáron az ablaktábla visszaveri a kívülről érkező hőt, télen viszont a szobából távozni akaró hőt. A legújabb összeállítások 4 mm vastag üvegtáblákból és közöttük 16 mm-es argontöltésű résekből állnak. Vannak már háromrétegű elrendezések is, azonban ezek olyan nehezek, hogy csak speciálisan erős nyílászárókban használhatóak

Hallottál róla?

A falak, a nyílászárók hőszigetelő tulajdonságát az úgynevezett hőátbocsátási tényezővel írják le, amit világszerte U -értéknek (U -value) neveznek. Ez a mennyiség azt határozza meg, hogy 1 m^2 felületen 1 másodperc alatt $1 \text{ }^\circ\text{C}$ külső-belső hőmérsékletkülönbség hatására hány joule hő áramlik át a falon, az ajtón vagy az ablakon. Mivel $1 \text{ J/s} = 1 \text{ W}$, ezért a hőátbocsátási tényező (az U -érték) mértékegysége $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$.

Észrevehetjük, hogy a hővezetési tényező szoros kapcsolatban van a hőátbocsátási tényezővel. Ha A felületű, d vastagságú, homogén anyagból készült lemezen keresztül történő hőáramot vizsgálunk, akkor ezt az

anyag λ hővezetési tényezőjével így írjuk le:

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda A \frac{\Delta T}{d}.$$

Ha ugyanezt a hőáramot az U -értékkel írjuk le, akkor a következő összefüggést kapjuk:

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = U A \Delta T.$$

A két összefüggés összehasonlításából láthatjuk, hogy az U -érték ilyen egyszerű esetben a hővezetési tényező és a lemez vastagságának a hányadosa: $U = \lambda/d$.

A valóságban a falak, nyílászárók összetett szerkezetűek. Például a falak felületén vakolatréteg van, a falakat alkotó téglák üregesek, a téglák üregeiben levegő található, ezért

általában nem lehet egyszerű módon meghatározni a hőátbocsátási tényezőt. Sőt, azt is észrevehetjük, hogy a hőátbocsátásban nemcsak a hővezetés, hanem a hőáramlás is jelentős szerepű, továbbá a hőszigetelés is lényeges, amit hamarosan részletesebben fogunk tárgyalni.

A gyakorlatban a falak, nyílászárók hőátbocsátási tényezőjét mérésekkel határozzák meg, legyártják a szerkezeteket, és jól meghatározott körülmények között, ellenőrizhető módon méréseket végeznek. A hagyományos termoplán üvegek hőátbocsátási tényezője $2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$, míg a korszerű, kétrétegű, argon töltésű, LOW-E rétegű ablaküvegek U -értéke $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$, illetve a legkorszerűbb háromrétegű ablaktábláké $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$.

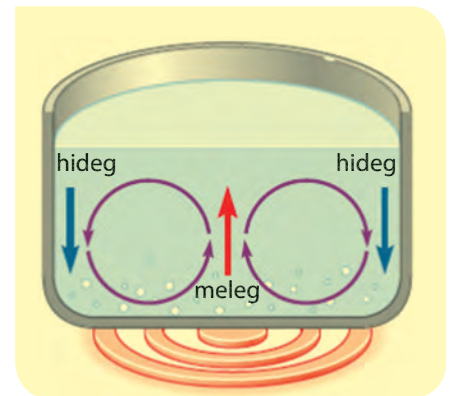
Hőáramlás

Hőáramláskor 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 **hőáramlás csak folyadékokban és gázokban történhet**. Hővezetéskor az energia áramlik, de az anyag helyben marad, hőáramláskor 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. 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 $10\text{--}15 \text{ cm}$ -es levegőréteg található, a modern termoplán ablakok esetén a két szigetelt üvegréteg között mindössze 6 mm -es a 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.

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



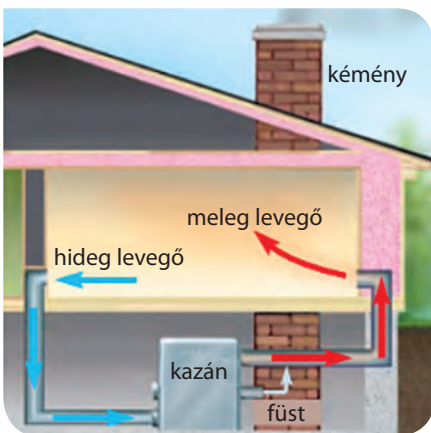
- Hőáramlás jön létre a melegedő vízben. A lábas alján át hővezetéssel érkezik az energia a vízbe, ami felmelegíti az edény alján lévő vizet. A felmelegedett víz sűrűsége lecsökken, a felhajtóerők hatására a meleg víz felemelkedik, helyére hozzá képest hidegebb víz kerül, természetes hőáramlás jön létre



Parti szelek nappal és éjszaka



A felszálló meleg levegőáramlást (ezeket termikeknek hívjuk) kihasználják a madarak, a vitorlázó- és a sárkányrepülők, és segítségükkel nagy magasságokba tudnak emelkedni



Épületfűtés a falakban kialakított járatokon keresztül. Ez a fűtés történhet természetes és mesterséges hőáramlással is. Melyik módszernek milyen előnyei és milyen hátrányai vannak?

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 lehül, azonban a tengerek a nagy hőkapacitásuk miatt viszonylag melegebbek maradnak, tehát éjjel a 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 szélcsennel, csak reggelente és esténként, amikor éppen megfordul a parti szelek iránya.

Mesterséges hőáramlás akkor jön létre, ha valamilyen kényszer segítségével, például ventilátorral vagy keringtető szivattyúval hozzuk létre a hőáramlást. Házak, lakások fűtéskor a kazánban meleg vizet állítunk elő, ami keringtető 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.

Hallottál róla?

Az ember és az állatok vérkeringése is felfogható mesterséges hőáramlásnak. Ilyenkor a szív a keringtető motor, ami a test belsejéből a vérrel hőt juttat a bőrbe, illetve a bőr közelében lévő szövetekbe. Ha nagyon meleg fürdőt veszünk, akkor ez a folyamat fordítva sülni el, és a vérkeringéssel túlmelegíthetjük szervezetünk központi részeit.

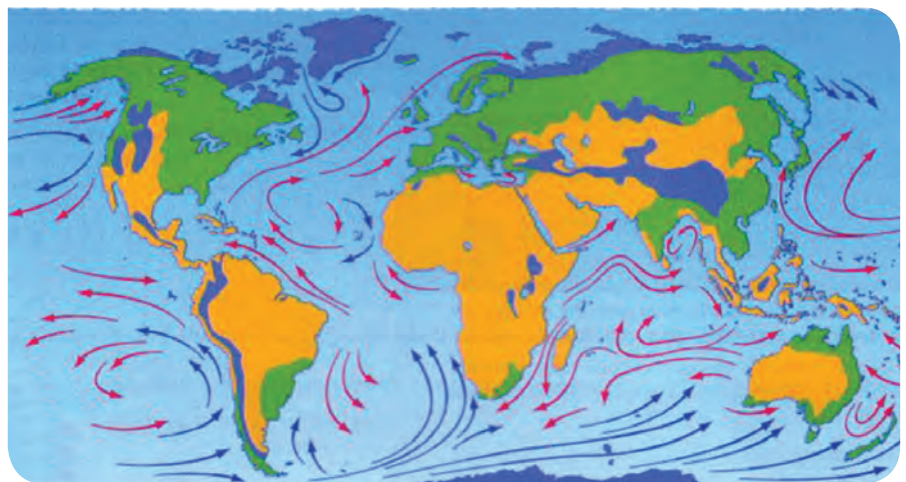
Vannak olyan állatok, melyek testfelülete állandóan hideg vízzel érintkezik, mint például a gázlómadarak lába, vagy a hideg tengerekben élő halak. Ezek testének belseje sokkal melegebb, mint a vízzel érintkező bőrfelületük. Ha állandóan hőt adnának le a környezetüknek, akkor nem győznének eleget táplálkozni 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 hőmérséklete, 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.

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 nagyjából 60%-ban, míg az óceáni áramlások 40%-ban vesznek részt).

Ha a globális felmelegedés következtében a sarkvidéki jégsapkák vastagsága csökken, és a keletkező csapadékmennyiség növekszik, akkor létrejehet 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 lehűlt sós víz lesüllyedését, akkor a Golf-áramlat hajtóereje megszűnik, az áramlat lecsökken, esetleg le is áll. 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 megszaporodtak a viharok a Földön.



—→ meleg áramlások

—→ hideg áramlások

■ A földi hideg és meleg tengeráramlatok

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



■ 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.

elektromágneses hullám terjedési sebessége az üres térben, vagyis vákuumban ugyanakkora, a fénysebesség. A látható fény is elektromágneses hullám, a hősugárzás döntően az infravörös tartományba esik, ami a látható fénynél 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 Napból 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 Napból érkező energia többi része, vagyis 60-70%-a kismértékben 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 meg egyezik 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 hősugárzási törvény

A testek hősugárzása erősen függ a hőmérsékletüktől. Magasabb hőmérsékleten sokkal nagyobb a testek hősugárzása, 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 (legalább is elvben) növelni, ezért a hőmérsékleti skálának felső korlátja nincs. Ezzel szemben a testek hőmérsékletét csak addig tudjuk (legalább is elvben) csökkenteni, amíg a testek molekuláinak, atomjainak minden mozgása meg nem áll. Ha elveszük 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 $-273,15\text{ °C}$.

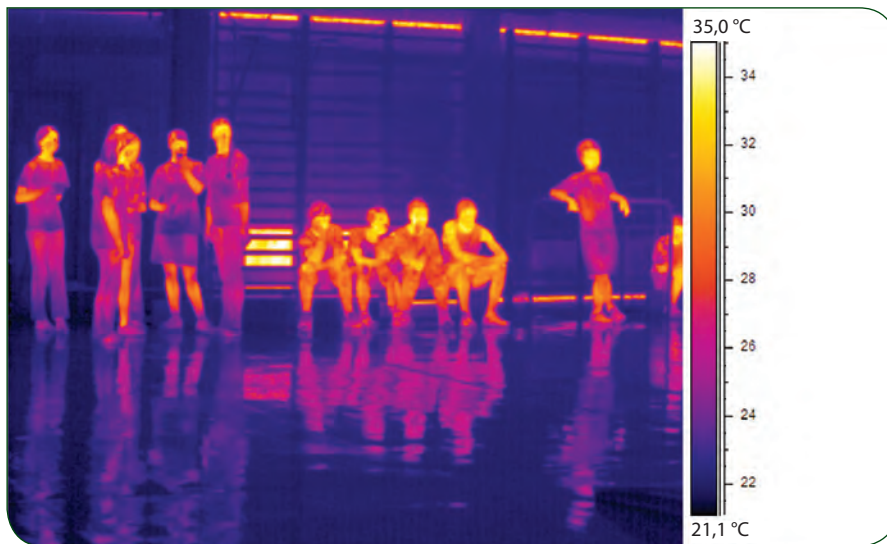
A legalacsonyabb hőmérséklet tényét először Lord Kelvin fogalmazta meg, és ő vezette be azt a hőmérsékleti skálát, melyben a nullát, a kezdőpontot az abszolút nullába helyezte. Ezt a skálát tiszteletére Kelvin-skálának nevezzük, és

ennek értelmében $0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C} \approx -273 \text{ }^\circ\text{C}$. A **Kelvin-skála** használatakor nem mondunk fokot, hanem csak így beszélünk: nulla kelvin, és írásban sem használjuk a Celsius-skálán megszokott kis karikát. A Kelvin-skálán mért hőmérsékletet **abszolút hőmérsékletnek** is nevezzük. A Kelvin-skála a Celsius-skála 273 fokos eltolásának tekinthető, tehát $0 \text{ }^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$, $100 \text{ }^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$, $1000 \text{ }^\circ\text{C} = 1273 \text{ K}$. Magas hőmérsékleteken már nem sokban különbözik a Kelvin- és a Celsius-skála. Így például a Nap átlagos felszíni hőmérséklete (az úgynevezett fotoszféra hőmérséklete) $5778 \text{ K} = 5505 \text{ }^\circ\text{C}$.

A hősugárzási törvény a testek által másodpercenként kisugárzott energia nagyságát, vagyis a H hőáramot írja le. A hőáram egyenesen arányos a test A felületével és egyenesen arányos a test abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával. Ez azt jelenti, hogy ha a test hőmérsékletét mondjuk 300 K -ról 600 K -re emeljük, akkor a test hősugárzása $2^4 = 16$ -szorosára növekszik. Ha a hőmérsékletet 300 K -ról 3000 K -re emeljük, akkor a test hősugárzása $10^4 = 10\,000$ -szeresére nő. A sugárzási törvényt a következő matematikai alakban adhatjuk meg:

$$H = \varepsilon \sigma AT^4.$$

Az összefüggésben szereplő σ egy univerzális (vagyis anyagtól független egyetemes) állandó, ε pedig az úgynevezett kisugárzási tényező, melynek nagysága nulla és egy közé esik, mértékegysége nincs ($0 < \varepsilon < 1$). Fényes, nagyon világos testek esetén a kisugárzási tényező nullához közeli érték, sötét, jó elnyelő tulajdonságú testek esetén pedig egyhez közeli. Érdekes megjegyezni, hogy az emberi test kisugárzási tényezője a bőrszíntől függetlenül $0,97$ körüli érték. Ezt úgy kell érteni, hogy ha emberekről infravörös kamerával hőfényképet készítünk, akkor nem tudjuk a fényképek alapján az illető látható tartománybeli bőrszínét megkülönböztetni.



■ Hőkamerával készült tornatermi felvétel, melyen nemcsak a tanulók látszanak, hanem a linóleum anyagú padlón a hőtükörképük is jól kivehető. A hőfénykép melletti színskála segítségével következtethetünk a testek és a tárgyak hőmérsékletére

A hősugárzási törvényt kísérletileg Joseph Stefan fedezte fel, elméletileg pedig Ludwig Boltzmann igazolta, ezért Stefan–Boltzmann-törvénynek nevezzük. A törvényben szereplő egyetemes állandó a Stefan–Boltzmann-állandó, amelynek értéke:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}.$$

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Számítsuk ki, hogy mekkora hőteljesítménnyel sugároz egy ruhátlan emberi test, ha a testfelületet 1,5 m²-nek, a felszíni testhőmérsékletet pedig 33 °C-nak tekintjük! (Az emberi test kisugárzási tényezője $\varepsilon = 0,97$.)

Megoldás: Először is át kell váltanunk a Celsius-fokban megadott testhőmérsékletet kelvinre: 33 °C = 306 K. Alkalmazzuk a hősugárzási törvényt:

$$H = \varepsilon \sigma A T^4 =$$

$$= (0,97) \cdot \left(5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right) \cdot (1,5 \text{m}^2) \cdot (306 \text{K})^4 = 723 \text{W}.$$

Megjegyzés: Ez olyan nagy hőteljesítmény, amit sokáig nem tud biztosítani az emberi szervezet. Ha fagypont körüli csillagfényes éjszakán kerülnék ki a szabadba ruhátlanul, akkor nagyon rövid idő alatt testünk kihűlne, hamarosan megfagynánk. Viszont ha ugyanígy jó meleg szobában tartózkodunk, akkor kellemesen érezhetjük magunkat, mert testünk hőháztartásában nemcsak a kisugárzás, hanem a falak, fűtőtestek hősugárzása miatti hőelnyelés is jelentkezne, tehát összességében csak 50–60 W hőteljesítményt kellene a testünknek kitermelnie.

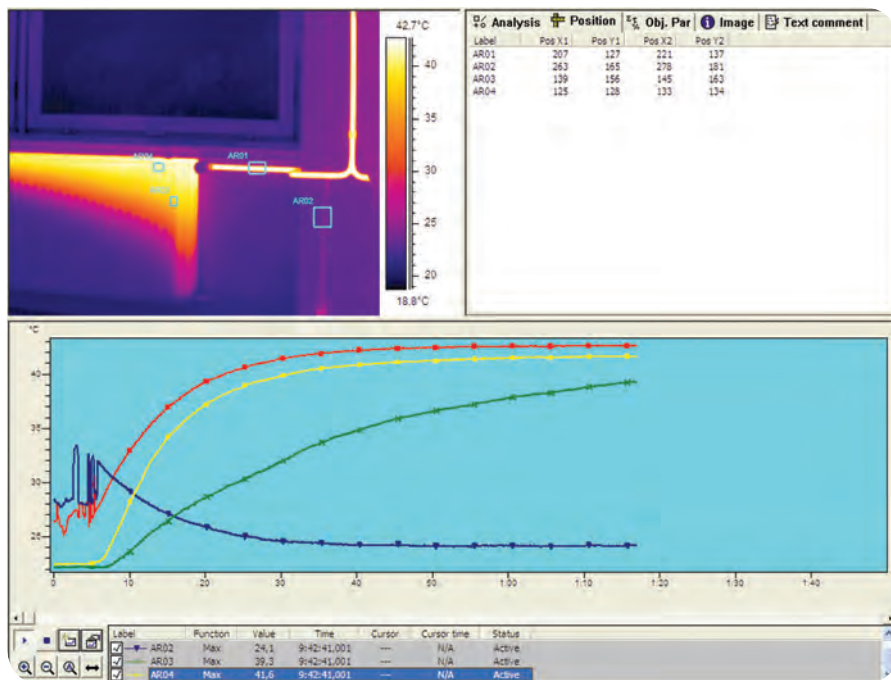


■ Katona infrakamerás éjjellátó készülékkel

A Stefan–Boltzmann-állandó mértékegysége azért éppen ez, mert az összefüggésben ezt az állandót egy mértékegység nélküli számmal, egy négyzetméter egységű felülettel és az abszolút hőmérséklet negyedik hatványával kell megszoroznunk.

Hőkamerás felvételek

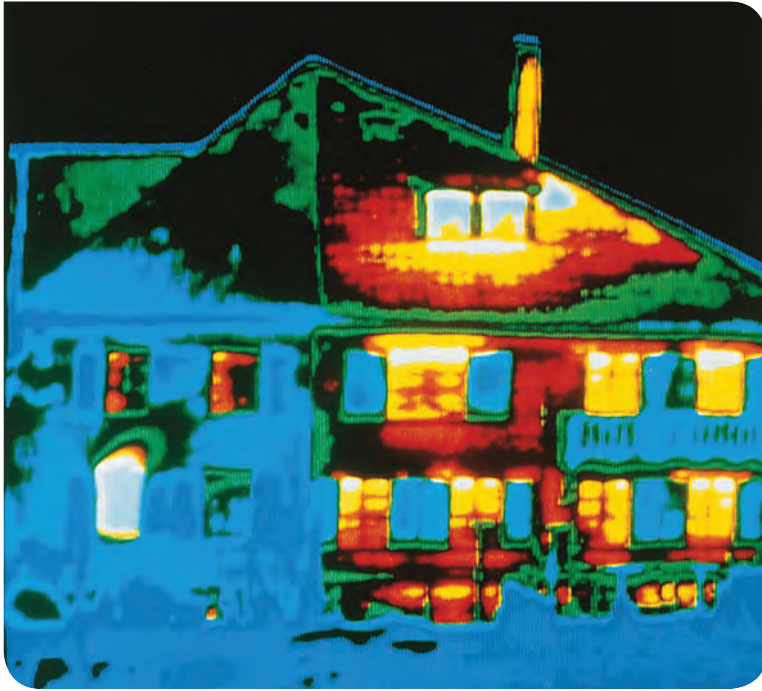
Vannak olyan fényképezőgépek, videokamerák, melyek nem a látható fényre, hanem a hőmérsékleti sugárzás legjelentősebb részét adó infravörös fényre érzékenyek. Ezeket hőkameráknak vagy infrakameráknak nevezik, és ezeknek számos alkalmazása létezik.



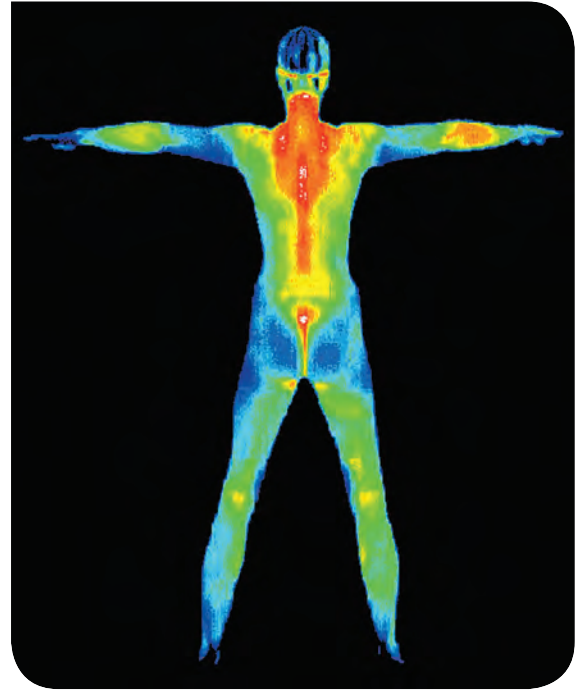
■ Hőkamerás felvétel egy radiátor felmelegedéséről

Az előző 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. Ez a nagy teljesítményű kamera számítógép segítségével még egyes előre kijelölt pontok hőmérséklet-változását is követni tudja az idő függvényében (az időskálán a számok másodpercenként értendők). A leggyorsabban a meleg víz bevezető csőjében 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 gyulladáshoz kapcsolódó magasabb hőmérsékletük miatt más színben jelennek meg. Különböző épületek hőszigetelési tulajdonságait, hővesztési pontjait is lehet infrakamerával vizsgálni, melynek során az épületekről készítenek hő-



■ Épületről infrakamerával készült hőtérkép



■ Orvosi termográfás felvétel

mérsékleti térképet. Az infravörös fény az ember számára nem látható, ezért a kamerákban 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.

A lecke elején egy érdekes jelenségről olvashattunk. Hideg éjszakákon a szabadban lévő tárgyakon 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, azonban a fák hősugárzásából el is nyelnek, ezért összességében lassabban hűlnek. Ugyanezért nem játszódik le ez a jelenség felhős időben, mert a felhők kisugárzásából a földön lévő tárgyak jelentős mennyiségű hőt nyelnek el, tehát lassabban hűlnek. A levegő és a talaj hőáramlással és hővezetéssel energiaátadó kapcsolatban áll a talajon lévő tárgyakkal, és ezek a hőterjedési módok a hőmérséklet kiegyenlítése irányába hatnak. Azonban ha a kisugárzási hővesztesség igen gyors, akkor a sokkal lassabb hőáramlási és hővezetési folyamatok nem képesek a levegővel történő hőmérsékleti egyensúly beállítására.

NE FELEDD!

A hőterjedésnek három különböző módja van: hővezetés, hőáramlás és hősugárzás.

Hővezetéskor az anyag részecskéi nem mozdulnak el, a részecskék rezgési állapota, rezgési energiája terjed az anyagban. A hővezetés folyamatát a hővezetési egyenlet írja le:

$$H = \lambda A \frac{\Delta T}{d},$$

ahol H a hőáramot, vagyis a d vastagságú hővezető anyag A felületén másodpercenként áthaladó energiát jelenti, ha az anyag két oldalán a hőmérséklet-különbség ΔT . Az összefüggésben szereplő λ mennyiség az anyagi minőségre jellemző hővezetési tényezőt jelenti. Jó hővezető anyagok hővezetési tényezője nagy, jó hőszigetelő anyagok hővezetési tényezője kisértékű.

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.

A hőátbocsátási tényező (U -érték) azt mutatja meg, hogy egy fal vagy nyílászáró 1 négyzetméterén 1 fok hőmérséklet-különbség hatására másodpercenként mennyi hő halad át, vagyis mekkora a hőáram. Homogén anyagok esetén az U -érték egyszerűen a hővezetési tényező és a lemez vastagságának a hányadosa:

$$U = \lambda / d.$$

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 hősugárzási törvény a kisugárzott hőáramot, kisugárzott hőteljesítményt határozza meg:

$$H = \varepsilon \sigma A T^4,$$

ahol T a vizsgált test Kelvin-skálán mért abszolút hőmérséklete, A a test felülete, σ egy egyetemes (univerzális) állandó, melynek értéke:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4},$$

és amit a törvény felfedezőiről Stefan-Boltzmann-állandónak nevezünk. Az összefüggésben szereplő ε pedig a test kisugárzási tényezője, melynek értéke nulla és egy közé esik ($0 < \varepsilon < 1$).

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.

A hőmérsékletnek van legalacsonyabb értéke, amit abszolút nulla foknak hívunk. Ez a legalacsonyabb hőmérséklet a Celsius-skálán $-273,15$ °C. A Kelvin-skálán az abszolút nulla fok jelölése 0 K (nulla kelvin). Ennek megfelelően a Kelvin-skálán nincs negatív hőmérséklet. A Kelvin-skálán meghatározott hőmérsékletet úgy kapjuk meg a Celsius-skálán mért hőmérsékletből, ha a Celsius-fokban mért hőmérséklethez 273,15 fokot (közelítőleg 273 fokot) adunk:

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.$$

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. Megéri-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

- 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 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -os külső-belső hőmérséklet-különbség esetén 10 óra alatt a 120 m^2 -es falfelületen mennyi fűtési energiát takarítottunk meg a hőszigetelés segítségével!
- A Nap felszíne $6,09 \cdot 10^{12} \text{ km}^2$, felszíni hőmérséklete (a fotoszféra hőmérséklete) 5780 K . Számítsuk ki a Nap kisugárzási tényezőjét $\varepsilon = 1$ -nek tekinthetjük! A Nap teljes hősugárzási teljesítményéből határozzuk meg a napállandót, és ezt hasonlítsuk össze a „hivatalos” 1366 W/m^2 -es értékkel!
- Hogyan mérhetnénk meg egyszerűen egy hűtőláda hőátbocsátási tényezőjét (U -értékét)? Végezzük el a javasolt mérést!
- Ismertesd, hogyan „működik” a központi fűtés keringtető szivattyú nélkül!
- Modellezz egy hűtőszekrényt! A mélyhűtőben a hőmérséklet $-18 \text{ }^\circ\text{C}$, a „sima hűtőtérben” pedig $5 \text{ }^\circ\text{C}$. A hűtőszekrény $25 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű helyiségben van. A kompresszorának a napi elektromosenergia-fogyasztása 1 kWh/nap , ami energia elegendő a szükséges hűtés biztosításához. A hűtőszekrény (mint hőszivattyú) jóságátényezője: 5.
 - Mérd meg a magasságát, alapterületét, számold ki a teljes felületét!
 - Számold ki a vizsgált hűtőszekrény esetében a falainak a hőátbocsátási tényezőjét!
- Egy lakás nagy szobájának oldalfala egy panelházban (vasbeton épület) $5,2$ méter hosszú, magassága $2,6$ méter, vastagsága 28 cm . A szobában a hőmérsékletet nappal és éjszaka $22 \text{ }^\circ\text{C}$ -on igyekszünk tartani, a kinti hőmérséklet nappal $0 \text{ }^\circ\text{C}$, éjszaka $-5 \text{ }^\circ\text{C}$. A „nappal időtartama” kb. 10 óra, az éjszakáé 14 óra. A vasbeton hővezetési tényezője $1,7 \text{ W/m }^\circ\text{C}$.
 - Mennyi a teljes falfelületen keresztül a hőáram?
 - Mennyi ezen a falon keresztül a teljes 24 óra alatt a kiáramlott hő?
- Modellezd a keringtető szivattyú nélküli „központi fűtést”! 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 egy „vízfürdőbe téve” elektromos tűzhelyen melegítsd! „Érintő hőmérővel” mérd meg, hogy milyen „gyorsan” kering a meleg víz!

36. | Korszerű házak, lakások

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. Elnézve azonban a posztmodern és a poszt-posztmodern építészeti egy-egy meghökkentő alkotását, rájöhethetünk 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.”

EGY KIS FALTÖRTÉNET (Olvasmány)

Nagyjából 5-6 ezer éve készít az ember kisméretű, tömör égetett agyagtég-lákat, melyeket igen sokféle célból használtak, hiszen nemcsak tartófalakat, válaszfalakat, de a nyílások fölé boltozatos kiváltókat, födémként pedig boltozatokat, acélgerenda kiegészítéssel úgynevezett poroszsüveg-boltozatos födémeket lehetett belőle készíteni. Budapest a XIX. század végén, a XX. század elején vált világvárossá. Ebben az időszakban rengeteg ház épült, melyek többsége ma is áll, és a legtöbb akkori házban a födém poroszsüveg-boltozatos.



■ Poroszsüveg-boltozatos műhely 1890-ből. Az acélgerendák gyakran egyszerűen vasúti sínekből készültek. Alulról nádat erősítettek a boltozatra, majd az így kialakított sík mennyezetet vakolták, felülről homokkal töltötték fel síkra, majd erre úgynevezett párnafákat helyeztek, amire végül a parketta került. Így olyan vastag lett a födém, hogy nem volt gond a hangszigeteléssel

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 élőmunka drága, és gazdaságtalan mindent a helyszínen elkészíteni. A XX. század elejére a kisméretű téglák korszerűtlenek lettek, hiszen a födémeket már vasbeton gerendákkal, a nyíláshidalásokat 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 méretesebb 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 téglaméretűek kevesebb fugát, így kevesebb habarcsot igényeltek. Majd megjelentek a csaphornyos oldalú téglák, és a függőleges hézagokból eltűnt a ha-

barcs. A hőszigetelés javítása érdekében hőszigetelő falazó habarcsot, illetve külső-belső hőszigetelő perlithabarcsot használtak.

A téglá hőszigetelő képessége hirtelen megnőtt, viszont a hangcsillapítása és a szilárdsága lecsökkent. Már nem lehet pilléreket falazni, boltozatot képezni belőlük, sőt ha nagyobb kiváltó gerenda támaszkodik a falvégre, még kiegészítő pilléreket is kell alkalmazni. A porózus, lyukacsos téglá 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 kifalazásához 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 téglá 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 emeleket, 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, amiről az előző leckében tanultunk. Azt mutatja meg, hogy a fal 1 m^2 -es felületén 1 °C hőmérséklet-különbség hatására másodpercenként hány joule energia halad át.

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 történet utólagos szigeteléssel is, azonban az új építésű házak legtöbbször már így építik. A falfelületre ragasztják a könnyű szigetelő lemezeket, majd erre üvegszálazás mű-



■ Ytong falazóelemekből épülő ház



■ Polisztirol habból készült szigetelő lemezek felragasztása a fal külső felületére



■ Automatikus szellőző ablak

anyag 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 élők munkája 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 vaskályhakkal, cserépkályhakkal 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 kályhát, el kellett tüntetni a keletkező hamut stb.), hanem erősen szennyezte a levegőt, így télen a nagyvárosok, főként Budapest levegője igencsak porossá, egészségtelenné vált.

A fa és a szén (brikett, kokszt) 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 gázról 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 bűdös **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.



■ Régi vaskályhák

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 sugárzók 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.

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.



■ Nagyméretű gázpalackok



■ A budapesti állatkert fűtését egyrészt a Széchenyi fürdőből származó hő biztosítja, melyre nagy hidegben földgázzal kell rásegíteni

Megújuló energiák

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 fűtési módként is, használati meleg vízként is lehet használni. A napelemek közvetlenül elektromos energiát állítanak elő, amit megfelelő átalakítással akár az elektromos hálózatba is betáplálhatunk. Számos ország-



■ Napelemek egy déli fekvésű háztetőn



■ Cserépbe épített napelem, magyar találmány, feltalálója Tóth Miklós

ban 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 szerelvényel. Ezek viszonylag 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 magával a napelemekkel.



■ Tajvanon épül ez a stadion, melyet teljesen napelemekkel fednek be



■ Egy tajvani könyvtár déli falán a napelemek árnyékoló funkciót is betöltenek

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.

Hőszivattyú

A napkollektorok és a napelemek mellett a **hőszivattyúk** tartoznak az utóbbi időkben gyorsan terjedő olyan eszközök közé, melyek megújuló energiát használnak 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 gőzkompresziós 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.

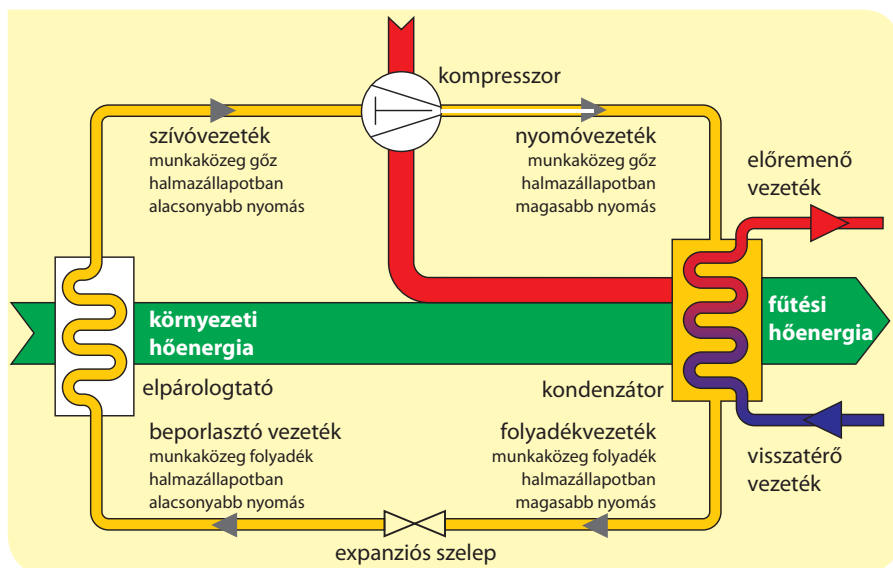


■ Napelemek a lapos tetőn

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 csőkégyőn (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 kering, mely a föld (vagy a levegő) hőjét felveszi az elpárolgató (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 nyomásnövekedés által jön létre a magasabb hőmérsékleten jól hasznosítható fűtőenergia. Alapvetően csak egy speciális munkagázra van szükség, amely légköri nyomáson, igen alacsony hőmérsékleten folyadék halmazállapotú, felette forrásnak indul, tehát elpárolog.

Az ábrán a hőszivattyú elvi működése látható. Zölddel láthatjuk a környezettől (talajból, kútvízből, levegőből) elvont hőt, pirossal pedig az elektromos hálózatról felvett hőt. Ennek a kettőnek az összege adja az épület fűtésére fordítható hőt. Ha a hőszivattyú a talajból vagy például kútvízből vonja ki a hőt, akkor a gyakorlatban 4-es értékű úgynevezett jósági tényezőt érhetünk el, ami azt jelenti, hogy 1 egység elektromos energia befekte-



■ A hőszivattyú hűtőkörének elvi ábrája

tésével 4 egység hőt ad le a készülékünk a háznak. Levegőből kivont hő esetén 3-as jósági tényező érhető el a tapasztalatok alapján. Ez azt jelenti, hogy háromszor, négyszer annyi fűtési energiához jutunk, mintha közvetlenül az elektromos energiával melegítenénk a házat elektromos hőszugárzóval vagy villanykályhával, vagyis igen jelentős mértékben lecsökkenthetjük így a fűtési költségeinket. Emellett a hőszivattyú környezetbarát megoldás is, mert használatával csökken a fosszilis energiaforrások fogyasztása, csökken tehát a megtermelt szén-dioxid mennyisége.

Vizsgáljuk meg a hőszivattyú működését szemléltető ábrán látható körfolyamat részleteit! Kezdjük az expanziós szeleppel! Az expanzió kitágulást jelent, amikor a hőszivattyú munkaközegé folyadék halmazállapotból folyadék-gőz halmazállapotba kerül. Az expanziós szelep egyik oldalán a munkaközeg nagy nyomású, szobahőmérsékletéhez közeli hőmérsékletű és folyadék halmazállapotú, majd a szelepen áthaladva kis nyomású térbe jut, és a munkaközegnek nagyjából a fele gőz halmazállapotba kerül, miközben az anyag erősen lehűl. Ezek után a munkaközeg az elpárologtatóba jut, ahol teljesen elpárolog, telített gőz halmazállapotot vesz fel. A párolgáshoz, a folyadékban egymáshoz közel lévő molekulák eltávolításához, a kémiai jellegű kötések elszakításához energiára van szükség, amit a munkaközeg úgy biztosít, hogy a párologtatóban hőt vesz fel a környezetéből. A munkaközeg hőmérséklete itt ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) – ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) közötti, ezért az elpárologtató csőkiyójában keringő igen hideg anyag hőt tud felvenni a környezetétől még akkor is, ha ez a környezeti hőmérséklet alacsony. A munkaközeg a párologtatóból telített gőz halmazállapotban, változatlan értékű alacsony nyomáson és alacsony hőmérsékleten a kompresszorba kerül. A kompresszió összenyomást jelent, mert itt a (még mindig gőz halmazállapotú) munkaközeg nyomása megnövekszik, hőmérséklete pedig jelentősen szobahőmérséklet fölé nő. Ezután a munkaközeg a kondenzátorba (lecsapatóba) kerül, ami egy olyan hőcserélő, amelyben a hőszivattyú hőt ad le a ház fűtésére, miközben a munkaközeg lehűl, lecsapódik, vagyis folyadék halmazállapotú lesz. Ezek után a munkaközeg újra átjut az expanziós szelepen, amit fojtószelepnek is szokás hívni, és megismétlődik a körfolyamat.

Vegyük észre, hogy a hőszivattyúban (de ez a közönséges hűtőszekrényekben is így van) a párolgás alacsony hőmérsékleten történik (a párologtatóban), míg a lecsapódás magas hőmérsékleten zajlik (a kondenzátorban). Ezt azért furcsálljuk, mert állandó nyomás mellett ez éppen fordítva játszódik le; a magas hőmérsékletre a párolgás, az alacsony hőmérsékletre pedig a lecsapódás a jellemző. Azonban a hűtőgépek, a hőszivattyúk esetén a párologtatóban alacsony, míg a kondenzátorban magas a nyomás, és a rendszer úgy van beállítva, hogy a párologtatóban alacsony hőmérsékleten hőfelvétellel járó párolgás, a kondenzátorban pedig magas hőmérsékleten hőleadással járó lecsapódás következzen be.



■ A kb. 2 méter magas és fél méter átmérőjű spirálcsövek kétméterenként függőlegesen lesznek a földbe helyezve

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 energiafüggettség 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 légtömörégi értéket pedig mérésel (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 hőhídmentes szerkezetek tervezése
- Fal-, tető-, padló szerkezetekre előírt hőtechnikai értékek elérése
- 3 rétegű, nemesgázzal töltött üvegezésű hőszigetelt ablakszerkezetek
- Légtömörség 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 Blower door teszthez használatos felszerelés

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 hőszigetelőnek 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 passzívházakon általában nincs kémény, hiszen nem kell 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

EGYSZERŰ KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Napkollektort vagy napelemet érdemes-e a háztetőre telepíteni? Gyűjtsünk érveket és ellenérveket mindkettőre!
2. Miért nehéz utólag beépíteni a földhőt hasznosító hőszivattyút egy családi ház fűtőrendszerébe? Milyen járulékos költségvonzata van az utólagos beépítésnek?
3. Adjunk részletes leírást arra, hogyan lehet megmérni egy passzívház légtömorségét!
4. Mit jelentenek ezek a fogalmak: passzívház, aktívház, autonóm ház, ökoház, zero CO₂-épület?
5. Milyen energiahordozók felhasználásával történik legnagyobb mértékben a fűtés és a használati meleg víz előállítás Magyarországon?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Milyen fizikai elvekkel magyarázhatjuk, hogy a dongaboltozatok erősek?
2. Adjunk becslést arra, hogy mekkora a hőmérséklet a téglafal és a 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 téglá, 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 tégláépület 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 időnyben?
6. Egy nagyméretű, hagyományos nyílászárókkal épült belvárosi tégláépületben 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 időnyre) 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 időnyben „fogyasztják el”?
 - c) Milyen fűtési teljesítményszintet kellett a szigetelés előtt biztosítani, és mennyi a fűtés teljesítménye most?

NE FELEDD!

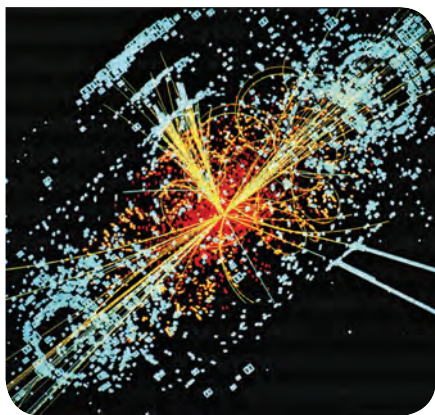
A napkollektorok mellett terjedőben vannak a napelemek is, melyek a napsugárzás energiáját közvetlenül elektromos energiává tudják alakítani. Arra is van lehetőség, hogy a háztetőkön elhelyezett napelemek által nappal megtermelt energiát az elektromos hálózat hasznosítsa, vagyis ilyenkor a napelemek 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 jóságai 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 házellátási rendszer tesz lehetővé.

37. | Atomenergia

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. Félünk a radioaktív hulladékoktól is, de ezek is nagyrészt ismeretlenek előttünk. Fontos, hogy megkülönböztessük a reális veszélyeket és az alaptalan félelmeinket.

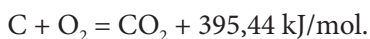


■ Két proton ütközése a Nagy Hadron Ütköztetőben (LHC) részecskék sokaságát hozza létre, melyek tömege sokszorosa az ütköző két proton tömegének

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 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.

Meg kell barátkoznunk azzal a gondolattal, hogy nincs külön tömegmegmaradás és külön energiamegmaradás, hanem csak tömeg-energia megmaradás van, más szóval az anyag a megmaradó mennyiség. A tömeget és az energiát az anyag két megnyilvánulási formájának tekinthetjük, melyek a fenti Einstein-összefüggés értelmében egymásba átszámíthatók. Ha például szén-dioxid jelenlétében elégetünk szén-dioxidot, akkor szén-dioxid és energia keletkezik. A tűz melegét hívhatjuk hőnek is, energiának is. Ha 1 mól szén-dioxidot elégetünk, akkor a keletkező hő nagysága 395,44 kJ:



Egy mól szén 12 gramm, egy mól oxigén 32 gramm, és persze azt mondjuk, hogy a keletkező szén-dioxid tömege $(12 + 32) = 44$ gramm. Azonban ez nem egészen így van, hanem a keletkező szén-dioxid valamikéval kisebb tömegű. Az Einstein-képlet alapján kiszámíthatjuk, hogy

$$395,44 \text{ kJ} = \frac{395\,440 \text{ J}}{c^2} = 4,4 \cdot 10^{-12} \text{ kg} = 4,4 \cdot 10^{-9} \text{ g.}$$

Ez azt jelenti, hogy a keletkező szén-dioxid tömege 0,000 000 01%-kal kevesebb, mint amit vártunk. Természetesen ezt a százmilliomod százalékos hiányt semmilyen mérőeszközzel nem tudjuk kimutatni, ezért a kémiában nyugodtan használhatjuk továbbra is külön-külön a tömeg- és az energiamegmaradást.

Az igazsághoz azért az is hozzátartozik, hogy a reakciótermék esetén jelentkező tömeghiány csak akkor mutatkozna meg (elvileg csak akkor mérhetnénk annyira, mint amit fent kiszámítottunk), ha a szén-dioxidot ugyanolyan hőmérsékletre hűtenénk le, mint amilyen a kiinduló termékek hőmérséklete volt. Tehát ha valahogyan (igen pontosan) meg tudnánk mérni az égéskor keletkező forró szén-dioxid-gáz tömegét, akkor azt pontosan 44 grammnak találnánk. Nem könnyű elfogadnunk, hogy ha egy testet felmelegítünk, vagyis energiát adunk neki, akkor ezt úgy is mondhatjuk, hogy megnöveltük a tömegét.

Égéskor kémiai kötés alakul ki a szénatom és az oxigénmolekula között. Azt is mondhatjuk, hogy egy mól szén-dioxidnak éppen annyi a kötési energiája, mint amennyi energia szabadul fel a szén égésekor. Ugyanis éppen ennyi energia befektetésével tudunk 1 mól szén-dioxidot szénre és oxigénre bontani. Ez azt is jelenti, hogy a kötési energiát így írhatjuk fel az Einstein-képlettel: Δmc^2 , ahol Δm a kötés kialakulásakor létrejövő tömeghiány. Kémiai változások közben, még hagyományos robbanóanyagok (TNT) esetén is, a tömeghiány észrevehetetlenül kicsi, ezért a kémia nem foglalkozik a tömeghiánnyal.

Tömeghiány atommag-átalakulás esetén

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 változtathatatlan-ságáról hallunk, akkor ez valójában az atommagok változtathatatlan-ságát jelenti. A XIX. század legvégén, a XX. század elején derült ki, hogy az atommagok nem ilyenek. Vannak stabil atommagok, melyek önmaguktól nem változnak, és vannak instabilak, melyek véletlenszerűen, előre nem kiszámítható pillanatban másféle atommaggá alakulnak. Akár a stabilokat, akár az instabil atommagokat mesterségesen másféle maggá lehet alakítani, ha valamilyen elemi részecskét (például protont, neutront) lövünk beléjük.

Az Einstein-képlet megszületését követő időkben kezdtek 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 deuteron keletkezik. A deuteron a deutérium atommaga, a deutérium a hidrogénatom első izotópja. Ha egy proton egy neutronnal egyesül, akkor a felszabaduló energia nagysága $3,56 \cdot 10^{-13}$ J, ami emberi léptékkal nézve elenyészően kicsi. Azonban ha a szén-dioxid esetéhez hasonlóan egy mól anyagmennyiség-re számolunk, akkor $(6,02 \cdot 10^{23}) \cdot (3,56 \cdot 10^{-13} \text{ J}) = 2,14 \cdot 10^{11} \text{ J} = 214 \text{ GJ}$ energiát kapunk, ami több mint félmilliószor nagyobb az egymólnyi mennyiségű szén égésekor keletkező energiánál. Érdekes kiszámítani a tömeghiányt is: $\Delta m = 2,14 \cdot 10^{11} \text{ J}/c^2 = 2,38 \cdot 10^{-6} \text{ kg} = 0,00238 \text{ g}$. Egy mól proton tömege nagyjából 1 gramm, és ugyanígy 1 mól neutron is nagyjából 1 gramm tömegű, tehát lényegében 2 gramm anyagból hiányzik valamivel több mint 2 ezred gramm, vagyis a tömeghiány alig több mint 1 ezreléknyi. Ez a tömegkülönbség azonban nagyon jól mérhető, és ugyanígy nagyon jól mérhető a deuteron 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 ha összehasonlítjuk a tömeghiányból számított Δmc^2 energiát és a deuteron keletkezésekor létrejövő foton energiáját, akkor tökéletesen megegyező értéket kapunk.



■ Égéskor kémiai energia alakul át hővé, a tömegváltozás szinte mérhetetlen

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Táblázatok adatait felhasználva ellenőrizzük, hogy amikor egy proton és egy neutron deuteronná egyesül, akkor valóban $3,56 \cdot 10^{-13}$ J energia szabadul fel!

Megoldás: Használjuk például 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.

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. A mindennapi életben ilyen furcsaságot nem tapasztalunk, hiszen ha tárgyakat csomagolunk egy dobozba, akkor sohasem vesszük észre, hogy a dobozban szorosan egymás mellett lévő tárgyak (ez lenne az atommag) tömege kisebb annál, mintha külön-külön mérnénk meg a tárgyak tömegét, majd összeadnánk a tömegértékeket.

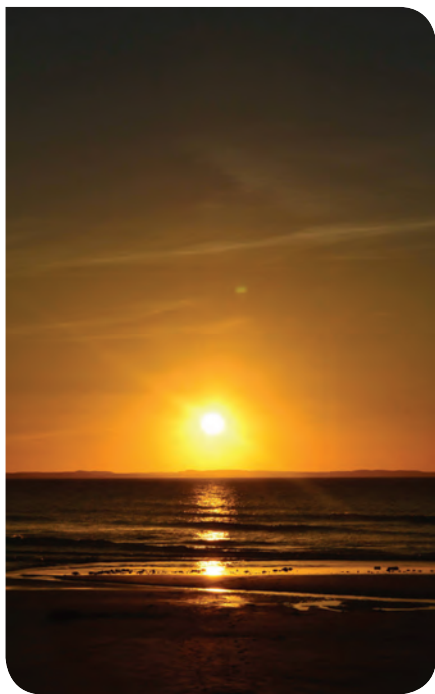
Ez a furcsa tény egyszerű lehetőséget ad az **atommagok kötési energiájának meghatározására**. Nem kell ugyanis semmi mást tennünk, mint megmérni az atommagok tömegét, és ezt az értéket ki kell vonnunk a magban lévő protonok és neutronok egyenkénti tömegének összegéből, majd a tömeghiányt meg kell szoroznunk 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 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 \rightarrow 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



■ A Nap (és más csillagok) energiáját a hidrogén hélium átalakulás energianyeresége biztosítja

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

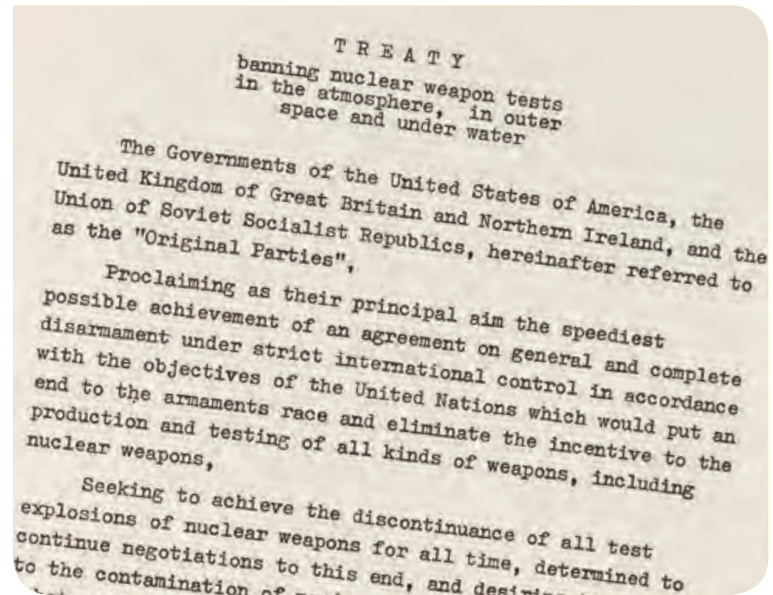
Földi körülmények között atommagfúziót először katonai céllal hoztak létre, amit hidrogénbombának hívunk. Az USA 1952-ben, a Szovjetunió 1953-ban robbantott először ilyen bombát, melyek egymástól eltérő szerkezetűek voltak. Ezekben a bombákban urán vagy plutónium maghasadásával hozzák létre azt a rendkívül 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 reaktornak. 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.

Ma további 50 évre teszik ezek létrejöttét. A feladat ugyanis rendkívüli! Földi körülmények között 100 millió °C-os hőmérsékletet kell előállítani, amiben a magfúzió zajlik. Ilyen hőmérsékleten az atomok teljesen ionizálódnak, vagyis ilyen magas hőmérsékleten egymástól független atommagok és elektronok vannak. 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 tartani, 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 fúzió kivül 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



■ Az 1963-as atomcsendegyezmény első oldala



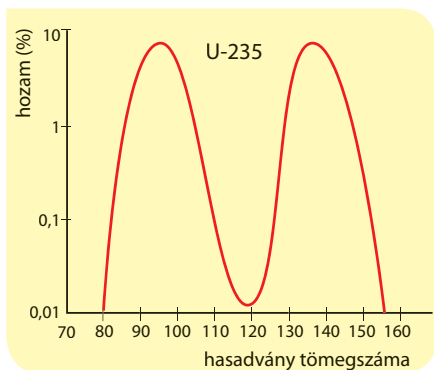
■ Atommagfelhő Hiroshima felett



■ A világ első atommáglója (Chicago, 1942)



■ Az első atommágló helyén Chicagóban ez a Henry Moore-szobor áll, amit az atommágló sikeres begyűjtésének 25. évfordulóján, 1967. december 2-án avattak fel



■ A maghasadási termékek valószínűségi eloszlása urán-235 esetén

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 neutron bo-

csát 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.

Hogyan működik egy atomreaktor?

Mindössze három olyan elemet ismerünk, melyek atomreaktorok fűtőelemeként 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 nagyságúak, 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), azonban a hasadás utáni termékek 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 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot.

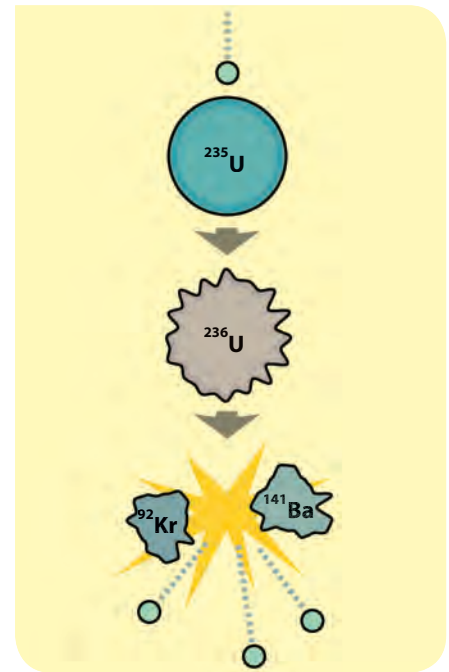
A reaktortartályt hűtő víznek az is fontos szerepe, hogy lelassítsa a keletkező neutronokat, mert csak a lassú neutronok képesek elegendően nagy valószínűséggel további indukált hasadást kiváltani. Az atomreaktorok működésében **kritikus állapot**nak nevezik azt, amikor a reaktortartályban mindig ugyanannyi 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 mozgatásával 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 kisebb neutronelnyelés növeli az aktivitást. A reaktortartályban egyszerre sok helyen mérik a neutronszámot, és így arra van lehetőségünk, hogy helyileg avatkozzunk be a szabályzásba, hiszen egészen másképp viselkedik a tartály közepe, mint ahogy a széle, ahonnan természetesen sokkal könnyebben szökhetnek ki neutronok.

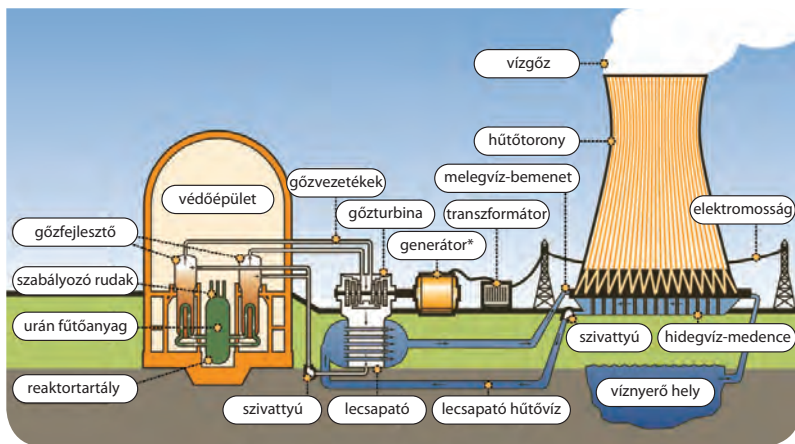
Hogyan működik egy atomerőmű?

Az atomerőművek elektromos energiát állítanak elő áramfejlesztő generátorok segítségével. A generátorokat gőzturbinák hajtják meg ugyanúgy, ahogy a fosszilis 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 $255\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 terciér (harmadlagos) vízkör segítségével. Pakson a terciér vízkör a Duna vizét használja, így Paks alatt $3\text{-}4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb a Duna vizének a hőmérséklete, mint Paks előtt.



- Az U-235 atommagja befog egy neutron, aminek hatására Kr-92-re és Ba-141-re hasad, továbbá három neutron is keletkezik



■ Atomerőmű működését bemutató ábra (*áramfejlesztő generátor)

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 harmadát. 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

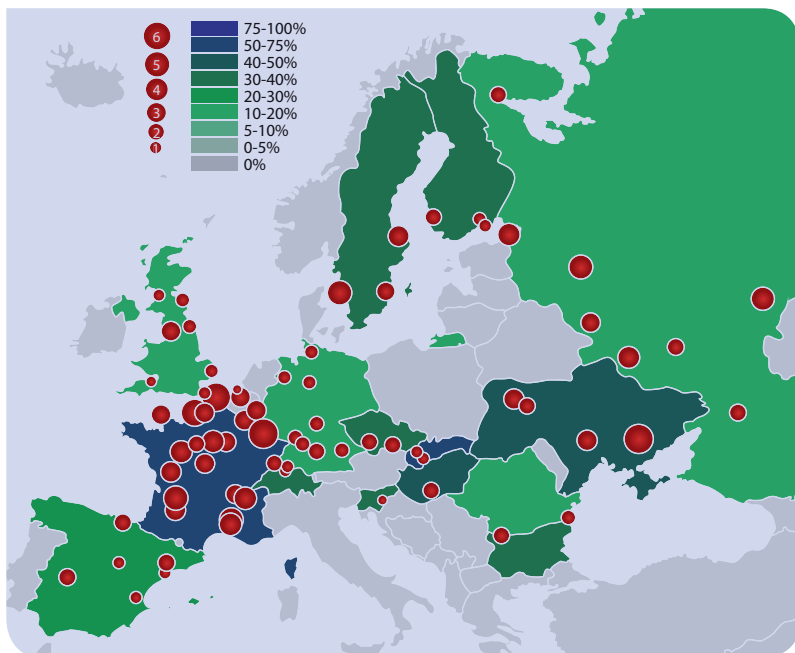
olcsón nagy mennyiségű elektromos energiát állítanak elő, és nem terhelik szennyező anyagokkal a környezetüket, működésük közben gyakorlatilag semmilyen szennyező anyagot nem bocsátanak ki.

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 leállás 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. Bátaapátiban 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 31 országában működik atomerőmű, összesen 439 atomreaktor üzemel. 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 40%. 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 „üzemkötésben 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?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Miért alkalmas kiválóan a víz a gyors neutronok lelassítására?
2. Mennyi egy reaktor hőteljesítménye, és mennyi a reaktor után működő generátorok összteljesítménye? Hány százalékos az elektromos energiatermelést tekintve a Paksi Atomerőmű hatásfoka?
3. Hogyan érik el majd a negyedik generációs reaktorokban a nagyobb hatásfokot?
4. Számítsd ki, hogy hányszor nagyobb a nukleáris energia fajlagos energiasűrűsége az ^{235}U -ös uránizotópban (legyen az egység: MJ/kg), mint a kémiai kötéseket tartalmazó szerves vegyületekben (kőszén, gázolaj stb.)!
5. Hány tonna jó minőségű mecseki kőszén (égéshője 28 MJ/kg) elégetésekor szabadul fel ugyanannyi energia, mint 1 gramm ^{235}U -ös urán teljes tömegének átalakulása során?
6. 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 leányelemek bomlási hőjétől tekintsünk el.)
7. 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!
8. 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%.
 - a) Hány gramm 235-ös izotópot lehetett kinyerni 1 tonna kibányászott ércből? Hány ppm koncentrációban volt a 235-ös izotóp átlagban a kőzetben?
 - b) Hány tonna 235-ös izotópot lehetett a 42 év alatt kitermelni kőzetből?

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-egyenlet alapján megadja az atommagok kötésenergiáját.

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.

38. | Energiagondok

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.

Hasznosítható energia

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 felhasználhatatlan. 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. A csernobili és a fukusimai atomerőmű-balesetek olyan erős félelmeket 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.

Azonban nem csak az atommagok stabilabb magokká történő átalakítása az egyetlen gyakorlatilag kimeríthetetlen energiaforrásunk. Képzeljünk csak el, hogy a tengerek és az óceánok vizét szinte észrevehetetlen mértékben, mondjuk egy ezred fokkal lehűtenénk, és felhasználnánk az így nyert energiát. Az óceánok vizét 1,4 milliárd km^3 térfogatra becsülik, vagyis ennek tömege hozzávetőlegesen $1,4 \cdot 10^{18}$ kg, aminek egy ezredfokos lehűtése közel $6 \cdot 10^{18}$ J energiát jelent. Ez olyan sok energia, amit a paksi atomerőmű nagyjából 100 év alatt termel meg. Ha a tengervizet nem egy ezred fokkal, hanem egy fokkal hűtenénk le, akkor ez 1000 atomerőmű 100 éves energiatermelésével egyezne meg, ami igencsak jelentős mennyiség. Miért nem tudjuk hasznosítani a tengervíz energiáját? Erre a kérdésre egy nagyon általános fizikai törvény, a **hőtan második főtétele** adja meg a választ: a **hő nem folyhat magától hidegebb helyről melegebb hely felé**, vagyis spontán folyamatban nem valósulhat meg, hogy két, termikus kölcsönhatásban álló test közül a melegebb még melegebb, a hidegebb még hidegebb legyen. Ha hasznos munkát szeretnénk kapni a tengervízből, akkor egy gépet, úgynevezett **hőerőgépet** kellene működtetnünk a tengervíz és egy annál alacsonyabb hőmérsékletű másik test között. Azonban a természetben nem áll rendelkezésünkre olyan alacsony hőmérsékletű másik test, mellyel gazdaságosan tudnánk hasznosítani a tengervíz termikus energiáját.

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*



■ A zwentendorfi atomerőmű, melyet megépítése után nem indítottak be

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 ésszerű 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 újraindítását).

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.

Az ENSZ 2005-ös csúcstalálkozója a fenntartható fejlődés „egymással összefüggő és egymást erősítő pillérei” a következőkben állapítja meg: gazdasági fejlődés, társadalmi fejlődés és környezetvédelem. E hármat gyakran az ábrán látható módon ábrázolják, ami megtévesztő, hiszen ezek nem egyenrangúak, hanem egymásba vannak ágyazódva: a gazdaság a társadalom alrendszer, a társadalom pedig az ökoszisztéma alrendszer. Az ökológiai fenntarthatóság a döntő, mert ez határozza meg a társadalmat és ezen keresztül a gazdaságot. Ugyanakkor a három alrendszer megfelelő kezelése elengedhetetlen az eredményes beavatkozáshoz.

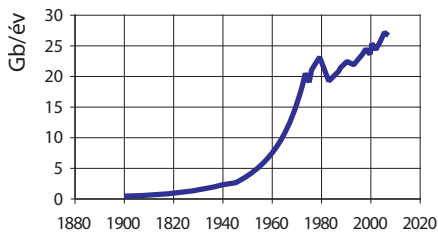
A fenntartható fejlődés szoros kapcsolatban áll a gazdasági növekedésnek azon igényével, hogy lehetővé tegye a gazdaság hosszú távú növekedését anélkül, hogy a természeti erőforrások túlhasználata a hosszú távú fejlődés látná kárát. Számos környezetvédő bírálta a „*fenntartható fejlődés*” kifejezést, mondván, hogy oximoron, mert a gazdasági fejlődés és a hozzá rendelt elméletek és szabályozások az erőforrások állandó fogyasztásában gondolkodnak, mintha az erőforrások mindenkor hozzáférhetőek volnának. Sok erőforrást, mint például a kőolajat és a földgázt az emberiség sokkal nagyobb ütemben fogyasztja, mint ahogy természetes úton újratermelődik, így egyre fogyatkozik a készletük. A kifejezés ellen azzal érvelnek, hogy az üzleti életben a „fenntartható fejlődés” szókapcsolatot úgy használják, mintha a jelenlegi gazdasági fejlődés is fenntartható volna vagy mintha a kapitalizmus környezetbarát volna – félretolva útjukból olyan embereket, akik nem a **gazdasági**, hanem a **környezeti értékeket** hangsúlyozzák. Egy másik érv a kifejezés ellen az, hogy a közgazdászok rendszerint a fenntartható fejlődés alatt állandóan fenntartható gazdasági nö-



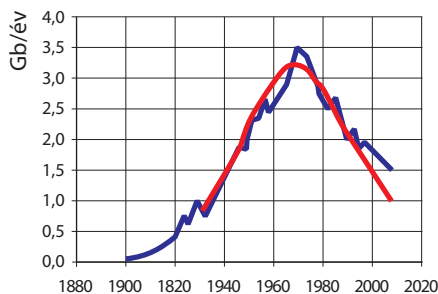
■ A fenntartható fejlődés pillérei

vekedést értenek, amely azonban (mivel a gazdaság a természeti erőforrások használatára alapul) elvileg sem lehetséges, hiszen a Föld véges méretű.

Az utóbbi években a „fenntartható fejlődés” helyett inkább a „fenntarthatóság” vagy a „**fenntartható társadalom**” kifejezést használják, mert így elkerülhető a „fejlődés” szó erőltetetten megengedő értelmezése. Vannak, akik megkülönböztetik a fenntartható növekedést a fenntartható fejlődéstől, mondván, hogy előbbiben többek igyekezünk lenni, utóbbiban jobbak. Szerintük nem érdemes külön fenntartható gazdaságról vagy fenntartható fogyasztásról beszélni, hanem a társadalmi berendezkedés egésze lehet fenntartható vagy fenntarthatatlan. Ez a teljességre törekvő megközelítés azért is fontos, mert jelenleg pont az a rossz gyakorlat, hogy a világ megközelítése túlságosan szektorokra bontott, és az egyes szektorokban történő beavatkozások egymás kárára valósulnak meg, például a természetvédelmi célt a szociális cél rovására valósítják meg; vagy a leggyakoribb az, hogy a gazdasági célt a természeti és társadalmi szektor rovására érik el. Ehelyett rendszerben kellene gondolkodni: olyan rendszert létrehozni, amelyben a természeti, társadalmi és gazdasági célok egyaránt megvalósulnak. A fenntartható fejlődés kérdéskörére a 10. osztályos földrajz keretében visszatérünk.

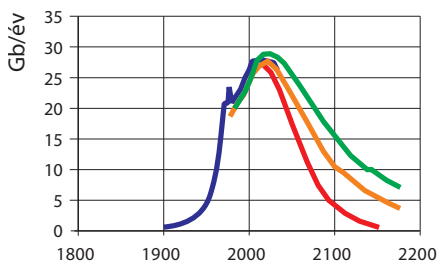


■ A világ kőolajtermelésének növekedése 1900 és 2008 között



— 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

MIKOR FOGY EL A KŐOLAJ? (Olvasmány)

A Föld teljes kőolajtermelése 2008-ban 26,9 Gb/év (giga-hordó/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, mert a különböző helyeken kitermelt olajok sűrűsége nem azonos. 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.

Ember legyen a talpán, aki ezekből az adatokból ki tudja számítani, hogy még hány évre elegendő kőolaj áll az emberiség rendelkezésére! Ilyen ember volt M. King Hubbert, aki 1956-ban egy konferencián tartott előadásában azt jósolta, hogy az Egyesült Államok kőolaj-kitermelése 1970-re éri el a maximumát, és utána csökkenni fog. Matematikai modellt állított fel, amelyben figyelembe vette azt is, hogy még mekkora feltárt készletek állnak az olajtársaságok rendelkezésére. A termelési adatok akkor az Egyesült Államokban nagyon hasonlítottak ahhoz, amit az egész Föld mai helyzetére mutat az ábra. Természetesen senki sem hitt Hubbertnek egészen 1970-ig, amikor valóban tetőzött az Egyesült Államok olajkitermelése, majd utána csökkenni kezdett. A második ábrán az Egyesült Államok 48 államának teljes kőolajtermelése látható az azóta eltelt 50 év alatt, így jól látható az egyezés a valódi adatok és Hubbert extrapolációja között (adatok hiányában Hubbert Alaszkát még nem tudta figyelembe venni).

Hubbert módszerét azóta finomították, és a harmadik grafikonon látható eredményre jutottak a Föld teljes kőolaj-kitermelésének várható alakulásáról. A grafikon azt mutatja, hogy 2020 után éri el a Föld az éves kőolaj-kitermelés maximumát, majd a termelés várhatóan csökkenni fog. A csökkenés üteme attól függ, hogy az emberiség összesen mennyi kőolajat fog kitermelni a története során. Ezt a teljes mennyiséget jelöli a Q_t érték, aminek a nagysága meglehetősen bizonytalan. A $Q_t = 2720$ Gb érték annak felel meg, hogy az emberiség eddig már kitermelt 1146 Gb kőolajat, és a

jelenlegi ismereteink szerint még rendelkezésünkre áll 1574 Gb iparilag kitermelhető kőolaj. A $Q_t = 3730$ Gb érték esetén becslésekkel azt is figyelembe vették, hogy a jövőben még várhatóan felfedeznek további készleteket, melyek ugyancsak kitermelhetők a hagyományos módszerekkel. Az utolsó $Q_t = 5550$ Gb értékben ezeken felül azokat a készleteket is számba vették, melyek ma még nem termelhetők ki (ezeket nevezzük nemkonvencionális készletnek). Ilyenek a „nehéz” olajok, a bitumen, az olajpala és az olajhomok.

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, 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 elegendők.

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 régieket, hanem az, hogy biztonságosabb atomerőműveket építünk, a régebbiek biztonságát fokozzuk, valamint megtaláljuk azokat a helyeket a Földön, ahol a radioaktív hulladékot gyakorlatilag korlátlan ideig biztonságosan tudjuk tárolni.

A világ energiahordozóinak felhasználás szerinti megoszlása jelenleg

Energiahordozó	%
Kőolaj	37,3
Szén	25,3
Földgáz	23,3
Nukleáris energia	5,7
Biomassza	3,8
Vízerőművek	3,2
Termikus napenergia	0,5
Szélenergia	0,3
Geotermikus energia	0,2
Bioüzemanyag	0,2

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.

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

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 ételinkben ötször annyi energiát (kalóriát) fogyasztunk, hanem sokkal inkább azt, hogy a legfejlettebb társadalmakban az élelmiszerek elkészítése és tárolása energiaigényessé vált.

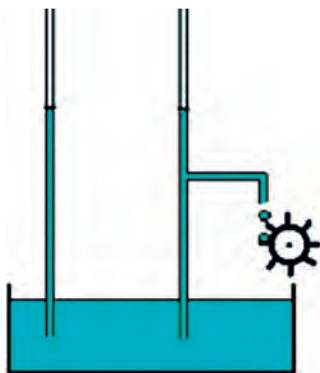
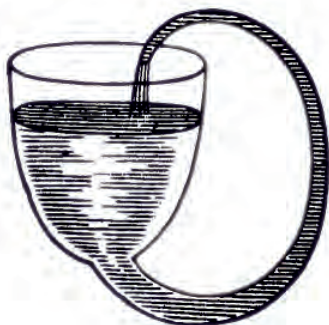
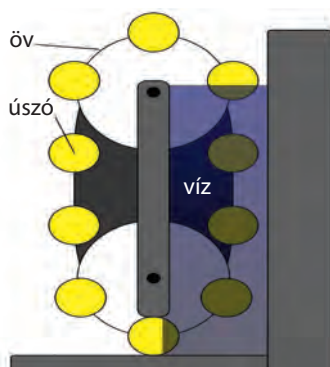
A mai energiafogyasztásunk döntő hányadát a háztartások, az ipar, a mezőgazdaság, a kereskedelem, a szállítás, a hírközlés üzemeltetése igényli, ezért növekedett az információs társadalmakban az energiafogyasztás egy főre vetítve a 120-szorosára. Figyelembe kell vennünk azt is, hogy az elmúlt tízezer 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.

Ennyire sok ember csak akkor élhetne elfogadható szintű, emberhez méltó életet, ha a leggazdagabbak beszüntetnék a pazarló életvitelüket, szerényebben, visszafogottabban, takarékosabban élnének. Viszont a Földön olyan gazdasági-társadalmi környezet alakult ki, amely csak akkor tud sikeresen működni, ha folyamatosan, rohamosan növekszik. A globális piaci környezetben a cégek is, az országok is egymással versenyeznek, akinek lelassul a növekedése, az veszít. Egyelőre senki nem tudja, hogyan lehetne a világot a kapitalista piacgazdaságról átállítani olyan rendszerre, ami nem jár a Föld nyersanyagkincseinek veszélyeztetésével, a források kimerítésével.

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 leckének 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 vizének 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 sűrűlódik, és akármilyen ügyesek vagyunk is, mindig lesz a rendszerben sűrűlódásos veszteség.



■ Néhány örökmozgóötlet. Vajon miért nem mozognak örökké?

Ha csak ez lenne a gond, akkor fokozatosan közeledhetnénk a 100%-os hatásfokú géphez, ahogy egyre ügyesebben oldanánk meg a súrlódásos veszteség csökkentését.

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 gyurma darabot, 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

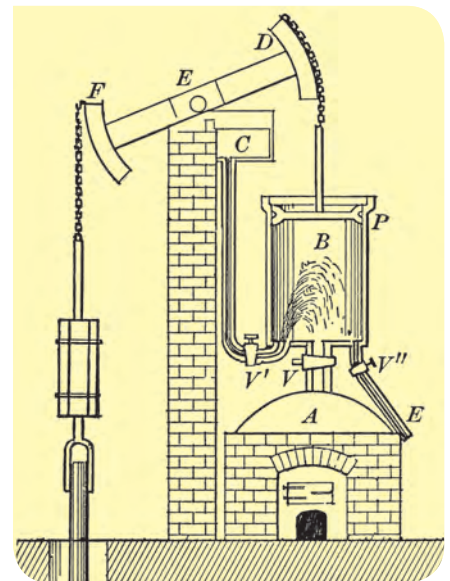
A második főtétel azt mondja ki, hogy még akkor sem lehet egy termikus energiát használó gép hatásfoka 100%-os, ha feltételezzük, hogy a gép úgy működik, hogy benne minden folyamat megfordítható (reverzibilis). Nézzünk meg egy valódi esetet, vizsgáljuk meg a legelső gőzgép, a Newcomen-féle gép működését. 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 újratezdődött.

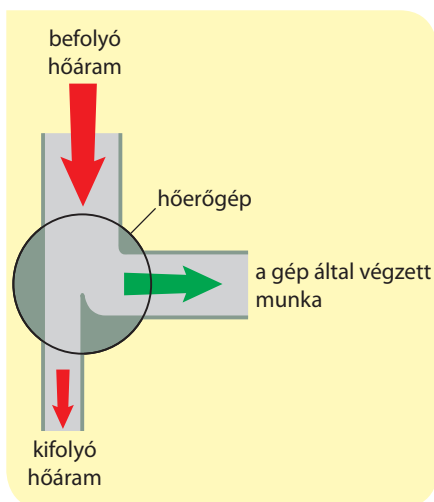
A gép működését áttekintve megállapíthatjuk, hogy a gőz lecsapódásakor fellépő hőveszteséget nem lehet elkerülni, vagyis a víz forralásába befektetett energiát nem tudjuk teljes mértékben a bányaszivattyú működésére fordítani. Általánosságban azt állapíthatjuk meg, hogy akármilyen is egy periodikusan dolgozó gép működési elve, szükségszerűen a folyamatban valamekkora hőleadásnak is kell szerepelnie.



- A „szomjas kacsa” is egy hőerőgép. Keres az interneten kisfilmet, amelyen működés közben látod! Próbáld megmagyarázni a mozgását!



- Newcomen gőzgépe



■ Hőerőgép elvi működési vázlat

A **hőerőgép** egy általános kifejezés, ami minden olyan gépre érvényes, ami hőből mechanikai munkát állít elő. Hőerőgép a gépkocsik benzin- vagy dízel-motorja, a gőzgép, a gőzturbina, a repülőik sugárhajtóműve stb. A következők rajzon egy hőerőgép elvi működését mutatjuk be.

A bemeneti hő pozitív, a hőerőgépből kilépő hő negatív, a kettő előjeles összege a gép által végzett hasznos munka. A hőerőgépek hatásfokát (amit η -val, a görög éta betűvel jelölnek) úgy mérik, hogy a hasznos munkát elosztják a gép által felvett bemeneti hővel:

$$\eta = \frac{W_{\text{hasznos}}}{Q_{\text{felvett}}}$$

Azért ez a hatásfok meghatározása, mert azt fejezi ki, hogy az általunk befektetett hőnek mekkora hányada alakul át hasznos munkává.

A hőerőgépek legismertebb modelljében a gép egy magas hőmérsékletű test (ezt hőtartálynak nevezzük) termikus energiáját alakítja át mechanikai munkává, miközben egy alacsony hőmérsékletű testnek (egy másik hőtartálynak) hőt ad le (ez az elkerülhetetlen hővesztés). Tehát a magasabb hőmérsékletű (T_{magas}) hőtartályból a gép hőt vesz fel, hasznos munkát végez, és hőt ad le az alacsony hőmérsékletű (T_{alacsony}) hőtartálynak. Megmutatható, hogy még abban az esetben sem lehet a gép hatásfoka 100%-os, ha egyáltalán nincs súrlódás a gépben, vagyis a gép reverzibilisen (megfordítható módon) működik. Az elvileg elérhető maximális hatásfok:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_{\text{magas}} - T_{\text{alacsony}}}{T_{\text{magas}}}$$

Az összefüggésben szereplő hőmérsékletek kelvinben mért abszolút hőmérsékletek. Az ilyen ideális reverzibilis hőerőgép hatásfoka csak akkor lenne 100%-os, ha az alacsony hőmérsékletű hőtartály hőmérséklete 0 K lenne, de ezt is szigorú fizikai törvény (a hőtan harmadik főtétele) tiltja.

A hőtan törvényei arra tanítanak bennünket, hogy takarékoskodjunk a hasznosítható energiaforrásainkkal, mert bár az energia megmaradása szerint a hasznosított energia nemvész el, csak átalakul, azonban ha egyszer alacsony

hőmérsékletű termikus energiává alakult (vagyis elégettük a hasznosítható fosszilis energiahordozóinkat), akkor a szétszóródott hőt már nemigen tudjuk felhasználni.

SZÁMOLJUK KI!

Feladat: Egy gépkocsi motorjában az üzemanyag-levegő keverék hőmérséklete eléri a 3000 °C-ot, míg a kipufogógázok hőmérséklete 1000 °C körüli érték. Számítsuk ki a gépkocsi motorja hatásfokának elvileg elérhető maximumát!

Megoldás: Először is a hőmérsékleteket át kell számítanunk kelvinre:

$$T_{\text{magas}} = 3000 \text{ °C} = 3273 \text{ K},$$

$$T_{\text{alacsony}} = 1000 \text{ °C} = 1273 \text{ K}.$$

Alkalmazzuk a maximális hatásfokra megtanult összefüggést:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_{\text{magas}} - T_{\text{alacsony}}}{T_{\text{magas}}} = \frac{2000}{3273} = 0,61 \approx 60\%.$$

Megjegyzés: A gépkocsik motorjának valódi hatásfoka jelentősen alacsonyabb ennél az értéknél, bár a legjobb gépkocsimotorok hatásfoka már eléri a 40-50%-ot.

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!
4. Becsüljük meg, hogy egy hónap alatt a családjunk mennyi energiát fogyaszt (élelmiszerek, villany, gáz, gépkocsiüzemanyag stb.)!
5. Személy szerint mit tudunk tenni annak érdekében, hogy javítsuk a fenntarthatóságot a környezetünkben?

ÖSSZETETT KÉRDÉSEK, FELADATOK

1. Fogalmazd meg többféleképpen a hőtan második főtételét (hatásfok, folyamatok iránya, idő, rendezetlenség stb.)!
2. 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”?
3. Sorolj fel hőerőgépeket! Állítsd sorba a „munkavégzés” hatásfokát tekintve a következő hőerőgépeket alkalmazó járműveket, és add meg az egyes beépített gépek maximális hatásfokát: gőzmozdony, benzinmotoros autó, dízelmotoros tehergépkocsi, gázturbinás helikopter, hibrid autó!
4. Hogyan lehet rendszerszervezéssel (mérésvezérelt energiatermelő és -fogyasztói rendszer létrehozásával) a hosszú időtartamú teljes energiafelhasználás hatásfokát jelentősen javítani ahhoz képest, ha egy hőerőgépet csak egy adott feladatra használunk (pl. csak elektromos energiatermelésre használjuk a kazánt és a turbógenerátort)? Mit jelentenek a következő mozaikszavak és kifejezések: CHP, CCHP, poligeneráció, smart grid?
5. Nézz utána, hogy mit jelentenek ezek a fogalmak: olajhozamcsúcs (peak-oil), ökológiai lábnyom, ökológiai víznyom, Moore-törvény, technológiai szingularitás, túlnépesedés!

NE FELEDD!

A minket körülvevő tárgyakban, anyagokban hatalmas mennyiségű energia van, ugyanakkor az ember számára hasznosítható energiaforrások mennyisége az emberiség nagy száma miatt kezd igazán csak 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.

A hőtan első és második főtétele alapján érthetjük meg, hogy nem minden energia hasznosítható.

NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ

A, Á

ABS 41
abszolút hőmérséklet 203
általános energiamegmaradás 105
amplitúdó 131
átlagsebesség 26
Arisztotelész 43, 79
Arkhimédész 40, 122
atomenergia 218
atomerőmű 226
atommag 10, 219
atomóra 18, 128
atomreaktor 222

B

Barényi Béla 34
Bay Zoltán 16
belsőégésű motor 168
benzin 168
biogáz 184
biomassza 188
bolygómozgás 79

C

cunami 147

CS

csatolt inga 137
csatolt rezgés 137
csavar 123
csillapítatlan szabad rezgés 135
csillapított szabad rezgés 136
csúszási súrlódás 49

D

dinamika alaptörvénye 38
dízelmotor 169

E, É

égéshő 159
egyenletes körmozgás 55, 133
egyenletes körmozgás dinamikai feltétele 56
egyensúlyi helyzetek 118
egyoldalú emelő 121

egyszerű gép 121
Einstein, Albert 218
ék 123
elmozdulás 25
elsőfajú örökmozgó 230
első kozmikus sebesség 73
emelési munka 94
emelő 122
energia 99, 152, 154, 159
energiamegmaradás 105
epicentrum 144
eredő erő 42
eredő erő munkája 96
erő 38
erőkar 110
etalon 15

F

fajhő 160
féktávolság 32
felhajtóerő 199
felületi hullám 145
fenntartható fejlődés 227
Fermi, Enrico 222
fonálinga 132
fordulatszám 55
forgatónyomaték 110
forráshő 159
fosszilis energiahordozók 179
Foucault-inga 133
Föld 8, 89
földrengés 144
földrengések hatása 146
frekvencia 130, 141
fűtés 189, 210
fűtőérték 155, 172

G

Galilei, Galileo 59, 132
geocentrikus modell 79
geotermikus erőmű 183
globális felmelegedés 155, 178, 201
globális klímaváltozás 201
Google Earth 20
Google Sky 20

gördülési ellenállás 51, 104, 124
 GPS 18, 129
 gravitáció 60
 gravitációs kölcsönhatás 62

GY

gyorsulás 28, 39

H

hajítás 60
 haladó hullám 141
 harmonikus rezgőmozgás 130
 hasznosítható energia 226
 hatásfok 113, 153, 232
 heliocentrikus modell 80
 helyzeti energia 101
 hibrid autók 175
 hidrogénhajtású autók 176
 hipocentrum 144
 Hold 89
 Hook, Robert 13
 hó 153
 hőáramlás 199
 hőátadás 196
 hőerőgép 226, 231
 hőkapacitás 160
 hő mechanikai egyenértéke 160
 hőszugárzás 201
 hőszugárzási törvény 202
 hőszivattyú 182, 213
 hőtan második főtétele 226
 hőveszteség 153, 205
 hővezetés 196, 206
 hullámhossz 141
 hullám terjedési sebessége 141
 Huygens, Christian 13, 139

I

ideális motor 111
 idő 8
 impulzus 68
 inerciarendszer 38
 ingamozgás 132

J

joule 94, 106
 Joule, James Prescott 94

K

kalória 162
 károsanyag-kibocsátás 170
 Kelvin-skála 203
 kémiai energia 159
 kényszerrezgés 136
 Kepler I. törvénye 83
 Kepler II. törvénye 85
 Kepler III. törvénye 85
 Kepler, Johannes 83
 kerületi sebesség 55
 kétoldalú emelő 122
 kitérés 130
 konzervatív erő 104
 Kopernikusz, Nikolauusz 80
 kölcsönhatás törvénye 40
 kőolaj 171, 180, 228
 követési távolság 32
 közegellenállás 105, 112, 135, 154
 közeg-ellenállási erő 52, 70, 136, 154
 közlekedésbiztonság 34
 kritikus állapot 223
 különleges meghajtású járművek 174

L

labilis 119
 lejtő 123
 lemeztectonika 144
 lendület 67
 lendületmegmaradás törvénye 69
 lendülettel 68
 lengésidő 132
 l-hullám 145
 lóerő 98, 158
 longitudinális hullám 140
 lökeshullám 140

M

másodfajú örökmozgó 230
 második kozmikus sebesség 74
 mechanikai energia 102

mechanikai energiamegmaradás
törvénye 104
mechanikai hullám 140
megfordítható folyamat 231
megújuló energiák 181, 211
merev test egyensúlya 117
metastabil 119
Mikola Sándor 25
motor 111, 168
mozgás 25
mozgási energia 99
munka 94, 152
munkatétel 97
műhold 18, 71

N, NY

napállandó 187
napelem 192, 211
napenergia 187
napkohó 194
napkollektor 189, 211
napóra 12
naprendszer 78
naptár 8
négyütemű motor 168
nehézségi erő 45, 62
nehézségi gyorsulás 45, 62
nem megújuló energia 227
nem megfordítható folyamat 231
Newton I. törvénye 38
Newton II. törvénye 39
Newton III. törvénye 40
nukleon 220
nyomás 47
nyomóerő 45
nyújtási munka 96

O, Ó

oktánszám 171
óra 128
Otto, Nikolaus August 168

Ö

ökológiai fenntarthatóság 227
örökmozgó 107, 230
összetett hőterjedési folyamatok 205

P

p hullám 145
pályasugár 55
párolgáshő 172
passzívház 215
periódusidő 55, 130
pillanatnyi sebesség 29
pontoszerű test egyensúlya 116
potenciális energia 101
Ptolemaiosz, Claudius 80

R

rakétahajtás 67
rendezetlen energiaátadás 153
rezgésidő 130
rezgőmozgás 130
rezonancia 137
rezonanciakatasztrófa 135
r-hullám 145
Richter-skála 146
Römer, Olaf 15
rugalmas energia 101
rugalmas erő 40
rugóerő 40

S

s hullám 145
sajátfrekvencia 136
sebesség 25
stabil 119
Stirling-motor 194
súly 45
súlypont 118
súlytalanság 46, 64
súlyvonal 118
súrlódás 49, 135, 153
súrlódási együttható 49
sűrűség 39

SZ

szabadesés 60
szélergia 181
szénhidrogének 171
Szilárd Leó 221
szögelfordulás 56
szögsebesség 56

T

tapadási súrlódás 49, 110, 118, 153
tartóerő 45, 118
tehetetlenség 38, 132
teljesítmény 97, 156
teljes lengés 132
Teller Ede 222
tér 8
terjedési sebesség 140
tökéletesen rugalmatlan ütközés 68
tömeg 39
tömeghiány 218

tömegvonzás 60
transzverzális hullám 142
tűzelőanyag-cella 177
Tycho de Brache 18, 81

Ú, Ű

út 24
üvegházhatás 155, 211
üzemanyag 67, 152, 168

V

vákuumcső 190
vízi energia 181
vízszintes hajítás 71
vonatköztatási rendszer 38

W

Wilberforce-inga 139
Wigner Jenő 222

KÉPEK JEGYZÉKE

A szám az oldalszámot, a betű az oldalon belüli sorrendet jelöli, a szám után a szerző, majd zárójelben a licenc típusa látható, ahol nincs, az szabad felhasználású (public domain) kép:

7 NASA, 8 Sakurambo (cc-by-sa 3.0), 9a, 9b Chris Schnepf (cc-by-sa 3.0), 10, 11, 12a Johann Jaritz (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), 20a Google Earth, 20b Google Earth, 20c Google Earth 21c Mariordo (cc-by-sa 2.0), 21a Google SKy, 21b Google Sky, 22a High Contrast (cc-by-sa 3.0), 22b Noli Fernan Perez (cc-by-sa 2.0), 22c, 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), 30 Brady Holt (cc-by-sa 3.0), 32 Kdhenrik (cc-by-sa 2.5), 33 Jacklee (cc-by-sa 3.0), 34b Losonczy István, 36a Rei (cc-by-sa 2.5), 36b dontwory (cc-by-sa 2.5), Vincent Baas (cc-by-sa 3.0), 37 Mark McArdle (cc-by-sa 2.0), 38a, 38b Feliciano Guimaraes (cc-by-sa 2.0), 39b, 39c, 40a Brian Snelson (cc-by-sa 2.0), 40b liftarn (cc-by-sa 2.0), 40c chetvorno (cc-by-sa 1.0), 40d RX-Guru (cc-by-sa 3.0), 40e Morio (cc-by-sa 3.0), 42a Nevit Dilmen (cc-by-sa 3.0), 42b, 43a, 43b, 44a, 44b, 46, 47, 52a Magnus Manske (cc-by-sa 3.0), 52b Maripimenta (cc-by-sa 3.0), 53a, 52c Mussklprozz (cc-by-sa 3.0), 53a, 53b Dregcia (cc-by-sa 3.0), 54 Natalia Spatar (cc-by-sa 1.0), 55 Morio (cc-by-sa 3.0), 57a johnthescone (cc-by-sa 2.0), 57b greenski (cc-by-sa 3.0), 58, 59a Aleposta (cc-by-sa 3.0), 59b freepenguin (cc-by-sa 3.0), 59c Bin im garten (cc-by-sa 3.0), 60a, 60b, 62, 63a, 63b Jim Thomas (cc-by-sa 3.0), 64a, 64b, 64c, 67b, 72a, 72b, 73 Pline (cc-by-sa 2.5), 74, 75, 76a, 76b, 76c Brocken Inaglority (cc-by-sa 3.0), 78, 79a, 79c, 80a Cultiris ©, 80b, 80c, 80d, 81a, 81b, 81c, 83, 84, 86, 87a, 88a, 89a, 89b, 90, 92a, Niels Noordhoek (cc-by-sa 3.0), 92b, 92c Harietta171 (cc-by-sa 3.0), 94a Magnus Manske (cc-by-sa 3.0), 94b Stu Pivack (cc-by-sa 2.0), 94c Dragfyre (cc-by-sa 3.0), 95 Joost J Bakker (cc-by-sa 2.0), 98a, 98b Didier Duforest (cc-by-sa 3.0), 100a Mark McArdle (cc-by-sa 2.0), 100b Fveauleger (cc-by-sa 3.0), 101a, 101b, 102 Jay Clark (cc-by-sa 2.0), 103 Mathias Stang (cc-by-sa 2.5), 104 Fanny Schertzer (cc-by-sa 3.0), 106a Raiden32 (cc-by-sa 3.0), 106b, 106c Rlvente (cc-by-sa 3.0), 108a Horemu (cc-by-sa 3.0), 108b Craig Nagy (cc-by-sa 2.0), 108c, 110, 111 Tennen Gas (cc-by-sa 2.5), 112 TMOF (cc-by-sa 2.0), 113 realname (cc-by-sa 2.0), 114a Francesco Crippa (cc-by-sa 2.0), 114b annandbilly (cc-by-sa 2.0), 117 RolandZh (cc-by-sa 3.0), 119a JcMaxwell (cc-by-sa 3.0), 121a Cultiris ©, 121b, 122a Pe-Jo (cc-by-sa 1.0), 122b Oarsome (cc-by-sa 3.0), 123a, 123b Tamasflex (cc-by-sa 3.0), 123c, 124a, 124b Horemu (cc-by-sa 3.0), 125a Olek Remesz (cc-by-sa 2.5), 125b, 125c, 125d, 126 Honza Groh (cc-by-sa 3.0), 128 Alejandro Linares Garcia (cc-by-sa 3.0), 129 Jorg Brehrens (cc-by-sa 3.0), 130 Andreas Praefcke (cc-by-sa 3.0), 132 Joh3-16 (cc-by-sa 3.0), 133 Javi Masa(cc-by-sa 2.0), 135a, 135b Kevin Maden (cc-by-sa 3.0), 138a RB30DE (cc-by-sa 3.0), 138b Luis Nunes Alberto (cc-by-sa 3.0), 138c Katt Dod (cc-by-sa 2.0), 138d, 139a Wolf (cc-by-sa 2.0), 139b, 140a Armin Küelbeck (cc-by-sa 3.0), 140b Roger McLassus (cc-by-sa 3.0), 142b, 144a, 144b, 145 Z22 (cc-by-sa 3.0), 146, 148a, 148b, 149 Truth Seeker (cc-by-sa 3.0), 152 Shyaulis Andrjus (cc-by-sa 3.0), 153a Stahlkocher (cc-by-sa 3.0), 153b Devchonka (cc-by-sa 3.0), 153c Mariordo (cc-by-sa 2.0), 153d, 154, 155, 157, 159, 160, 163 Greaint Owen (cc-by-sa 2.0), 168 Roo72 (cc-by-sa 3.0), 169a Marek Czerwinski (cc-by-sa 3.0), 169b Mcapdevila (cc-by-sa 3.0), 170 Nozilla (cc-by-sa 3.0), 171, 172 Dunnd75 (cc-by-sa 3.0), 174, 175a Neodarkshadow (cc-by-sa 3.0), 175b, 176a Sergei Sobolev (cc-by-sa 3.0), 176b Navigator84 (cc-by-sa 3.0), 176c Claus Ableiter (cc-by-sa 3.0), 179 Michael C Rygel (cc-by-sa 3.0), 180 Educerva (cc-by-sa 3.0), 181 Obra19 (cc-by-sa 3.0), 182a Raiden32 (cc-by-sa 3.0), 182b Ardferrn (cc-by-sa 3.0), 183a Mike Gonzales (cc-by-sa 3.0), 183b Rene Blumensaadt (cc-by-sa 2.5), 183c Kapilbutani (cc-by-sa 3.0), 184a Gerfiedc(cc-by-sa 3.0), 184b fmvh (cc-by-sa 3.0), 187, 189a Daniel Tar (cc-by-sa 3.0), 189c, 191 Ra Boe (cc-by-sa 2.5), 192a Magnus Manske (cc-by-sa 2.0), 192b EclipseSX (cc-by-sa 3.0), 193a, 193b King Jing (cc-by-sa 3.0), 193c Milko Vuile (cc-by-sa 4.0), 193d, 194a, 194b, 200c Putney Mark (cc-by-sa 2.0), 202a, 202b, 204, 205a, 205b, 208, 209a Lionel Allorge (cc-by-sa 3.0), 209b Abderitastatos (cc-by-sa 3.0), 210b, 211b, 212a CERP (cc-by-sa 3.0), 212b, 212c, 212d Littleha (cc-by-sa 2.5), 213 Norbert Blau (cc-by-sa 3.0), 214 Volkerschmidt (cc-by-sa 3.0), 215 Kmcrazy (cc-by-sa 3.0), 216 Gralo (cc-by-sa 3.0), 218, 219 Indrajit Das (cc-by-sa 4.0), 220 Luan (cc-by-sa 3.0), 221a, 221b, 222a Just (cc-by-sa 1.0), 222b, 223, 226 Beroesz (cc-by-sa 2.5), 230a, 230b, 230c, 230d, 231a, 231b

JÓ TANÁCSOK a TANULÁSHOZ

Legalább
egyszer
próbáld ki,
megéri!



Mindig a célnak megfelelő módon gondolkodj!

- Értsd meg a problémát!
- Készíts tervet a probléma megoldására!
- Hajtsd végre a tervedet!
- Ellenőrizd az eredményt, és gondold át, hogyan lehetne javítani rajta!

Pólya György: A gondolkodás iskolája

- Olvasd el figyelmesen a tartalomjegyzéket! Milyen logikai rendezőelvet fedezel fel benne?
- Keresd a tankönyvben minél több segítséget ahhoz, hogy egy-egy témakör vagy lecke tartalmát gyorsan átlásd! (Például névmutató, kislexikon, kronológia.)
- Nézd át figyelmesen a tankönyv leckéit, hogy megértsd belső szerkezetüket!



Használd ki
a tankönyv által
kínált segítségeket!



Ne add fel, ha valami
nehezen érthető!

- Azonosítsd azokat a részeket a leckében, amelyeknek a megértése nehézséget okoz a számodra!
- Ellenőrizd, hogy van-e olyan szó, amelynek a jelentése nem világos a számodra! Ha van ilyen, keresd meg a szó jelentésének magyarázatát a tankönyvben vagy egy lexikonban!
- Fogalmazd meg kérdések formájában is, mi az, amit nem értesz!
- Olvasd el újra a leckét, nézd meg figyelmesen az ábrákat úgy, hogy a problémát okozó kérdésekre keresd a választ!
- Keresd egy másik könyvet (pl. lexikon, enciklopédia), vagy az interneten kulcsszavas kereséssel próbáld találni egy olyan témájú oldalt, amelyről tanulsz!
- Ha így sem sikerül, kérj bátran segítséget egy társadtól, a testvéredtől vagy a tanárodtól!

- Alakítsd át az alcímeket kérdésekké!
- Ha valami érdekes és hasznos gondolat jut az eszedbe, rögtön írd le!
- A lecke elolvasása után vedd számba, mi volt az, amit már korábban is tudtál!
- Válaszd ki, mi volt a legérdekesebb újdonság! Fogalmazd meg, miért tartod ezt érdekesnek!
- Gondold végig, mi volt az, amit korábban másképpen tudtál vagy gondoltál!
- Fogalmazd meg olyan kérdéseket, amelyek a lecke olvasása közben jutottak az eszedbe, de amelyekre a lecke írója nem tért ki! Ezeket a kérdéseket is érdemes emlékeztetőként leírni!



Gondolkodj arról,
amit tanulsz!



Ha valamit
szeretnél pontosan
megjegyezni, foglalkozz
vele külön is!

- Olvasás közben készíts magadnak jegyzetet!
- A legfontosabb részletekről és összefüggésekről készíts magadnak saját vázlatot!
- Készíts kérdéskártyákat azokról az információkról és kérdésekről, amelyeket a legfontosabbnak tartasz a leckéből! Ezek segítségével teszteld a tudásod, és memorizáld az ismereteket!
- Próbáld emlékezetből egy összefüggésvázlatot készíteni, és annak segítségével valakinek azt, amiről tanultál!

- Mik voltak a legérdekesebb dolgok?
- Mi az, amit kedved lenne ebből másnak is megmutatni, elmondani és elmagyarázni?
- Mikor és hogyan tudnád hasznosítani a tanultakat?
- Milyen korábbi ismeretek és tapasztalatok jutottak közben eszedbe?
- Mennyire vannak összhangban azzal, amit eddig tudtál?
- Mik voltak azok az új ismeretek, amelyekkel már korábban is találkoztál?
- Mit lenne jó még megtudni vagy megtanulni e témával kapcsolatban?



Ha egy lecke
vagy egy témakör
végére érsz, értékelj!

Raktári szám: FI-505040901

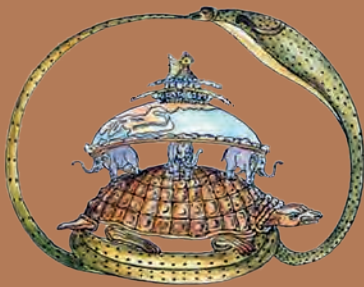
ISBN 978-963-682-834-9



9 789636 828349

„A természet fantáziája sokkal-sokkal nagyobb, mint az emberé. Vajon mennyivel bámulatosabb kép például az, hogy valami titokzatos vonzerő hatására valamennyien hozzátapadtunk (az emberiség fele ráadásul fejjel lefelé) egy pörgő golyóhoz, amely évmilliárdok óta a világűrben kering, mint az, hogy a feneketlen tengerben úszó teknőc hátán álló elefánt hordoz bennünket a hátán!”

Richard Feynman



A teljes tankönyv interneten keresztül is megtekinthető az Oktatókutató és Fejlesztő Intézet honlapján (ofi.hu).

