

Fedezd fel
a világot!

Csajági Sándor – Dr. Fülöp Ferenc

FIZIKA 9–10.

II. kötet

9–10



OKTATÁSI
HIVATAL

Tananyagfejlesztő: Csajági Sándor, dr. Fülöp Ferenc

Kerettantervi szakértő: Dr. Ádám Péter

Lektor: Varga Balázs

Illusztrációk: Szűcs Édua

Szakgrafika: Hegedűs-Egeresi Ilona Lilla, Szalóki Dezső

Tipográfiai terv: Ökrös Zoltán / Pozitív Logika

Fotók: Flickr, Frank Noschese, Freeimages, NASA, OH-Archívum, Országalbum, Regele György, Shutterstock, Thinkstock, Wikimedia

Szerkesztették az Oktatási Hivatal Tankönyvfejlesztési Osztályának munkatársai.

A tankönyv szerkesztői ezúton is köszönetet mondanak azoknak a tanároknak, íróknak, költőknek, képzőművészeknek, akiknek munkái/alkotásai tankönyveinket gazdagítják.

A könyvben felhasználtuk a Csajági Sándor, Dégen Csaba, Elblinger Gerenc, dr. Fülöp Ferenc, Póda László, Simon Péter Fizika a középiskolák 9. évfolyama számára című művet. Raktári szám: NT-17115; a Dégen Csaba, Póda László, Urbán János Fizika Fizika 10–11. a középiskolák számára című művet. Raktári szám: NT-17205

© Oktatási Hivatal (Nemzedékek Tudása Tankönyvkiadó Zrt.), 2020

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

A kiadásért felel: dr. Gloviczki Zoltán elnök
Tankönyvkiadási osztályvezető: Horváth Zoltán Ákos
Műszaki szerkesztő: Marcsek Ildikó
Nyomdai előkészítés: Buris László
Terjedelem: 18,54 (A/5) ív
Tömeg: 390 gramm
1. kiadás, 2020

Nyomtatta és kötötte az Alföldi Nyomda Zrt., Debrecen
Felelős vezető: György Géza vezérigazgató
A nyomdai megrendelés törzsszáma:



Ez a tankönyv a Széchenyi 2020 Emberi Erőforrás Fejlesztési Operatív Program EFOP-3.2.2-VEKOP-15-2016-00001. számú, „A köznevelés tartalmi szabályozóinak megfelelő tankönyvek, taneszközök fejlesztése és digitális tartalomfejlesztés” című projektje keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Tartalom

HŐTANI FOLYAMATOK

| | |
|--|----|
| 41. A hőmérséklet és a hőmennyiség | 6 |
| 42. A szilárd testek hőtágulása | 11 |
| 43. A folyadékok hőtágulása | 17 |
| 44. A gázok állapotjelzői. A gázok állapotváltozása állandó hőmérsékleten | 21 |
| 45. A gázok állapotváltozása állandó nyomáson | 28 |
| 46. A gázok állapotváltozása állandó térfogaton | 32 |
| 47. Egyesített gáztörvény, az ideális gáz állapotegyenlete | 36 |
| Összefoglalás | 40 |

TERMODINAMIKA

| | |
|--|----|
| 48. Kinetikus gázelmélet, a gáz nyomása és hőmérséklete | 44 |
| 49. A gázok belső energiája. A hőtan I. főtétele | 49 |
| 50. A termodinamikai folyamatok energetikai vizsgálata | 55 |
| 51. A hőtan II. főtétele | 61 |
| 52. Körfolyamatok. A hőtan III. főtétele | 65 |
| 53. Olvadás, fagyás | 69 |
| 54. Párolgás, forrás, lecsapódás | 75 |
| 55. Halmazállapot-változások a természetben | 82 |
| 56. A hó terjedése (Kiegészítő anyag) | 86 |
| 57. Hőtan az otthonunkban | 91 |
| Összefoglalás | 96 |

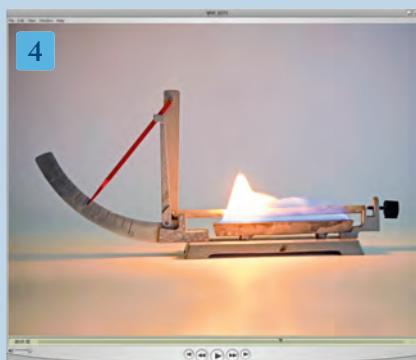
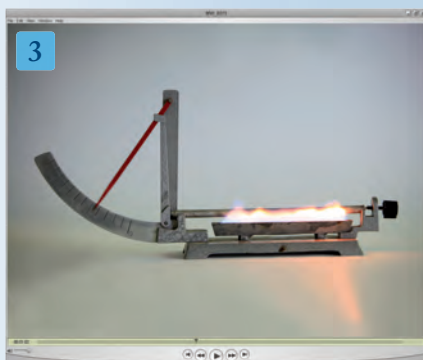
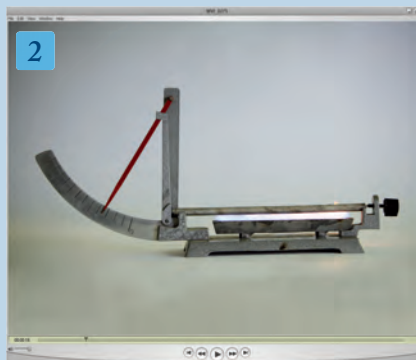
A LECKÉK KIEGÉSZÍTÉSE

| | |
|---|-----|
| Projektfeladat. A 3. Egyenes vonalú egyenletes mozgás című lecke kiegészítése | 100 |
| Projektfeladat. Az 5. Egyenes vonalú egyenletesen változó mozgás című lecke kiegészítése | 101 |

| | |
|--|-----|
| Projektfeladat. A 7. Szabadesés című lecke kiegészítése | 102 |
| 10/a Periodikus jelenségek. A 10. Centripetális gyorsulás című lecke kiegészítése | 104 |
| 10/b A rezgésidő és a lengésidő. A 10. Centripetális gyorsulás című lecke kiegészítése | 108 |
| 10/c A rezgés energiaviszonyai. A 10. Centripetális gyorsulás című lecke kiegészítése | 115 |
| Projektfeladat. A 21. Egyenletes körmozgás dinamikai leírása című lecke kiegészítése | 122 |
| Projektfeladat. A 27. Pontrendszerek című lecke kiegészítése | 123 |
| Projektfeladat. A 31. A súrlódási erő munkája című lecke kiegészítése | 127 |
| Elektromos energia előállítása és felhasználása. A 32. Teljesítmény, hatások című lecke kiegészítése | 129 |
| Projektfeladat. A 35. A légnyomás című lecke kiegészítése | 130 |
| Repülés fizikája. A 39. A közegellenállás című lecke kiegészítése | 131 |
| Napenergia. A 40. Az energia előállítása és felhasználása című lecke kiegészítése | 133 |
| Mi mennyire meleg? A 41. A hőmérséklet és a hőmennyiség című lecke kiegészítése | 135 |
| Az ember energiaháztartása. 49. A gázok belső energiája, A hőtan I. főtétele című lecke kiegészítése | 136 |
| A hőszivattyú. 51. A hőtan II. főtétele című lecke kiegészítése | 137 |
| Egy új konyhatechnológia. 54. Párolgás, forrás, lecsapódás című lecke kiegészítése | 138 |
| Projektfeladat. 55. Halmazállapot-változások a természetben című lecke kiegészítése | 139 |
| Hővezetés a mikrohullámú sütőben. 56. A hó terjedése (Kiegészítő anyag) című lecke kiegészítése | 140 |
| Név- és tárgymutató | 142 |



Emeltyűs pirométerrel végzett hőtágulási kísérlet ■ 11. oldal



Ebben a fejezetben a *hőtani alapjelenségek, folyamatok* értelmezésével foglalkozunk. Ételt főzünk, vagy fűtjük a lakásunkat, hűtjük az élelmiszereinket, emelkedik a testhőmérsékletünk: ezek mindegyike hőtani folyamat. Olyan fizikai mennyiségekkel ismerkedünk meg, amelyek pontosan jellemzik a hőtani folyamatokat.

A gázok tulajdonságait is vizsgáljuk. Mérhető mennyiségekre (nyomás, térfogat, hőmérséklet) és tapasztalati tényekre alapozva mondunk ki törvényeket, tételeket. Ezt a tárgyalási módot szokás fenomenológiai módszernek nevezni.



Hőtani folyamatok

41. lecke

A hőmérséklet és a hőmennyiség



Mi okozza a testek hőmérsékletének, halmazállapotának megváltozását?



Sok betegség magas lázzal jár. A gyógyulás érdekében fontos, hogy pontosan mérjük a beteg testének hőmérsékletét. Hőmennyiség, hőmérséklet gyakran használt fogalmak. Először ezeket a fizikai fogalmakat határozzuk meg, majd a hőmérséklet mérésével is foglalkozunk. *Hogyan lehetne hőmérőt készíteni? Hogyan lehet megmérni a testek hőmérsékletét?*

Hőmérséklet, hőmennyiség

Sok érdekes és lényeges tulajdonságát ismerjük a testeknek: tömeg, elektromos töltés, mágneses tulajdonságok és „hőállapot”. Mi is ez a „hőállapot”? A „hőállapotot” az emberek, állatok, növények is érzékelik. Érzékszerveink azonban bizonytalanok. A langyos vizet melegebbnek érezzük, ha előtte hideg vízbe mártottuk a kezünket és hidegebbnek, ha előtte forró vízbe nyúltunk. **A testek „hőállapotát” számszerűen jellemző fizikai mennyiség a hőmérséklet.**

A tenyerünk összedörzsölésakor a súrlódás következtében (mechanikai kölcsönhatás) felmelegszik. Ha kezünkbe veszünk egy csésze forró teát vagy meleg vízbe nyúlunk, vagyis kezünk magasabb hőmérsékletű anyaggal érintkezik (termikus kölcsönhatás), szintén emelkedik a hőmérséklete. A testek hőmérséklete tehát mechanikai vagy termikus kölcsönhatás során változhat meg.

A termikus kölcsönhatás közben átadott energiát, amely megváltoztatja az anyagok hőmérsékletét, halmazállapotát, hőmennyiségnek vagy röviden hőnek nevezzük. Jele: Q . Mértékegysége: J.

A hőmennyiség a termikus kölcsönhatás közben felvett vagy leadott energiát méri. A hőmennyiséget régen, tévesen, „súlytalan” folyadékknak tekintették.

A hőmérséklet mérése

A hőmérséklet meghatározása, pontos mérése – annak ellenére, hogy közismert, gyakran használt fogalom – régi vágya volt a fizikusoknak. Napjaink-



ban természetesnek vesszük a hőmérséklet mérését, a különböző hőmérők használatát, de ez nem volt mindig így.

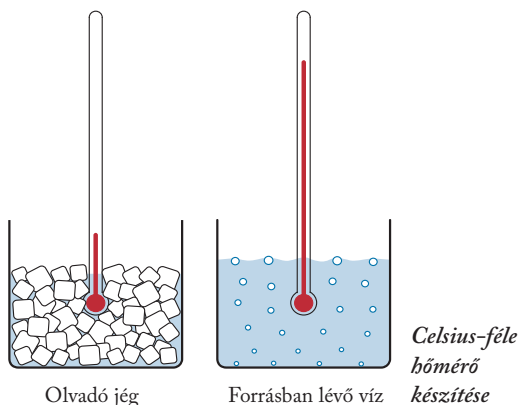
A XVII. században Galileo *Galilei* (1564–1642) készített hőmérőt, amely a gázok térfogatváltozásán alapult. Ez a hőmérő viszonylag érzékeny volt, de pontatlan.

Először Gabriel *Fahrenheit* (1686–1736) német fizikus készített olyan hőmérőt, amely elfogadható pontossággal működött. Alappontokként a jégből, vízből és szalmiáksóból álló keveréket, illetve az emberi test hőmérsékletét választotta. Az angol-szász országokban még ma is használják a Fahrenheit-skálát.

A napjainkban is használatos hőmérőt Anders *Celsius* (1701–1744) svéd csillagász alkalmazta először. Az általa készített hőmérő jól megfelel azoknak a tapasztalati tényeknek, amelyek alapján érzékszerveinktől függetlenül mérhetjük a hőmérsékletet:

- a testek tulajdonságai (hosszúság, elektromos ellenállás) általában függenek a hőmérséklettől;
- különböző hőmérsékletű testek érintkezésekor a hőmérséklet-különbségek kiegyenlítődnek;
- a természetben léteznek jól meghatározható hőmérsékletek, például a víz olvadáspontja és forráspontja.

A Celsius-féle hőmérő az üvegcsőben lévő higanyoszlop hosszának hőmérséklet-változás hatására történő megváltozását használja fel. Az alappontok: normál légnyomáson az olvadó, tiszta jég (0 °C) és a forrásban lévő víz (100 °C) hőmérséklete. A két alappontnak megfelelő jelek közti szakaszt 100 egyenlő részre osztjuk, és így megkapjuk az egységet. A fokbeosztást az alappontokon túl felfelé és lefelé is folytathatjuk.



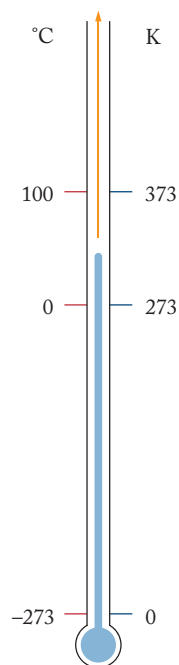
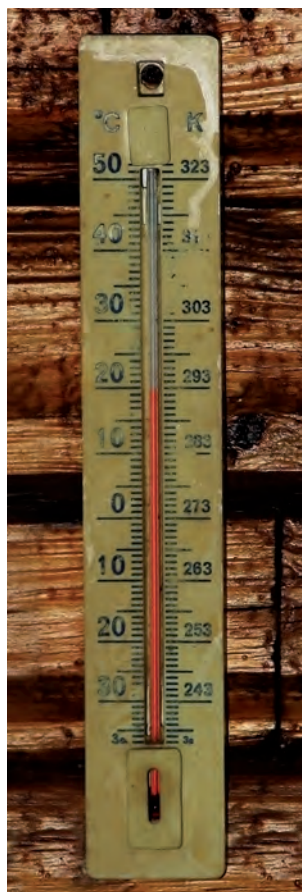
Kelvin-skála

Lord *Kelvin* (William *Thomson*) (1824–1907) angol fizikus vezette be az abszolút hőmérsékleti skálát, melyet később róla neveztek el Kelvin-skálának. Ez a skála nem tartalmaz negatív értékeket, hiszen 0 pontja az abszolút nullapont, aminél nem létezik alacsonyabb hőmérséklet. Ez kerekítve –273 °C. A Kelvin-skálán a hőmérsékletegység megegyezik a Celsius-skála egységével. A két skálán mért adott hőmérséklet-változás egyenlő, azaz:

$$\Delta T (\text{K}) = \Delta T (^\circ\text{C})$$

A hőmérsékletértékek közötti kapcsolat pedig a következőképpen adható meg:

$$T (\text{K}) = T (^\circ\text{C}) + 273$$



Celsius- és Kelvin-skála



Miért nevezik „abszolút jellegű”-nek a Kelvin-skálát?



René-Antoine Réaumur (1683–1757)

Franciaországban, La Rochelle-ben született. Először jogot tanult, majd természettudományokkal foglalkozott. A fizikán kívül az állattan és növénytan is érdekelt. 1703-tól Párizsban élt, tagja volt a Francia Tudományos Akadémiának. Először szesszel, majd higannyal készített hőmérőt. A víz fagyáspontját és forráspontját választotta alappontoknak, akárcsak később *Celsius*, de ezt a szakaszt 80 egyenlő részre osztotta. Ezt a hőmérsékleti skálát tiszteletére Réaumur-skálának nevezték el.

Réaumur foglalkozott az acélglyártás és a horganyzott vaslemezek gyártástechnológiájával is.

Gabriel Daniel Fahrenheit (1686–1736)

Német fizikus, Danzigban (Gdańsk, mai Lengyelország) született. Apja kereskedőnek taníttatta Amszterdamban. Fahrenheitet azonban a gyakorlati természettudományok érdekelték. A hőmérők készítésében nagy ügyességre tett szert. Hőmérőit először borszesszel, később higannyal töltötte meg. Alsó alappontként Danzig 1709. évi leghidegebb hőmérsékletét jelölte. Ezt a hőmérsékletet ammónium-klorid (szalmiáksó), jég és víz keverékével állította elő. Felső alappontnak testének hőmérsékletét választotta. A skálát úgy alakította ki, hogy a két pont által meghatározott szakaszt 96 egyenlő részre osztotta. A víz fagyáspontja ezen a skálán 32, forráspontja 212. *Az általa készített hőmérőt napjainkban az Egyesült Államokban és néhány angol nyelvű országban használják.*

Fahrenheit volt az első, aki a vizet fagypontra alá hűtötte. Élete nagy részét Angliában és Hollandiában töltötte. A Royal Society tagja volt.



Anders Celsius (Olof Arenius festménye, XVIII. század)

Anders Celsius (1701–1744)

Svédországban, Uppsalában született. Azon az uppsalai egyetemen tanult matematikát, fizikát és csillagászatot, ahol apja az asztronómia professzora volt, nagyapja pedig a matematika professzora.

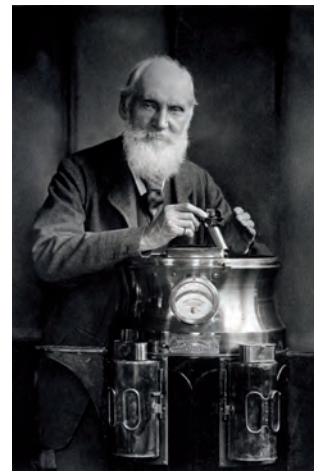
1737-ben tervezte meg a *ma is használt hőmérséklet-skálát*, amely azóta is őrzi a nevét. Celsius azonban a víz forráspontját jelölte 0-val és fagyáspontját 100-zal. A két számot 1750-ben *Strömer* svéd tudós cserélte fel.

Celsius sokat foglalkozott a Nap és Föld távolságának meghatározásával. Szorgalmazta a Gergely-naptár bevezetését a már pontatlan Julianus-naptár helyett. A XVIII. század kiemelkedő tudósa volt. Sírja Uppsala közelében található. A svédén kívül a berlini akadémia és a Royal Society is tagjai közé fogadta.

Lord Kelvin (William Thomson) (1824–1907)

Észak-Írországban, Belfastban született. Glasgow-ban és Cambridge-ben tanult. 1846-ban Glasgow-ban az egyetemen a természettudományok professzora. Termodinamikai alapvetéseket végzett, amellyel hozzájárult az *abszolút hőmérsékleti skála kidolgozásához*. 1892-ben főrendi címet kapott Lord Kelvin néven. Róla nevezték el azt a hőmérsékleti skálát, amely alappontjának az abszolút legkisebb hőmérsékletet tekinti.

Hidrodinamikai vizsgálatokat is végzett. Foglalkozott az elektromosság és mágnesség matematikai leírásával.



Lord Kelvin tájolójával (fényképezte: James Craig Annan, 1902)



Hőmérők típusai

A *maximum–minimum* hőmérők a hőmérsékletnek egy meghatározott időközben elért legnagyobb, illetve legkisebb értékét vagy mind a kettőt mutatják. A *higanyos lázmérő* olyan hőmérő, amelynek alsó részén az üvegcső nagyon kis átmérőjű. A higany melegedéskor átjut rajta, visszahúzódáskor azonban megszakad. Rázással lehet visszajuttatni az alsó részbe. A lázmérő maximumhőmérő. Ma már nem gyártanak higanyos lázmérőket, mivel a töréskor keletkező higanygőz veszélyes az emberi szervezetre.

A fémek és félvezetők ellenállása is változik a hőmérséklet hatására. Ezeket a műszereket *ellenállás-hőmérőknek*, illetve *termisztoroknak* nevezzük.



 Milyen típusú hőmérőket látunk a fényképen?

1 Hogyan befolyásolja a hőmérő tömege és hőmérséklete az 1 dl víz hőmérsékletének mérését?



2 A Kelvin-skála és a Celsius-skála közötti összefüggés:

$T(K) = T(^{\circ}C) + 273$
 a) Hány K a $41^{\circ}C$; $-23^{\circ}C$; $128^{\circ}C$ hőmérséklet?
 b) Hány $^{\circ}C$ a $236 K$; $418 K$ hőmérséklet?

3 A Réaumur-skála és a Celsius-skála közötti összefüggés:

$T(^{\circ}R) = 0,8 \cdot T(^{\circ}C)$
 a) Hány $^{\circ}R$ a $30^{\circ}C$ hőmérséklet?
 b) Hány $^{\circ}C$ a $150^{\circ}R$ hőmérséklet?
 c) A fotón látható hőmérőn melyik beosztás a Celsius-, és melyik a Réaumur-skála?

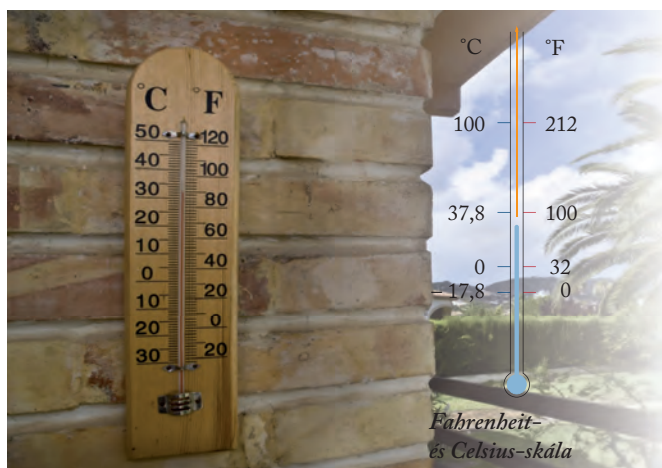


Kérdések és feladatok

4 A Fahrenheit-skála és a Celsius-skála közötti összefüggés:

$$T(^{\circ}F) = 1,8 \cdot T(^{\circ}C) + 32$$

- Hány $^{\circ}F$ a $20^{\circ}C$ hőmérséklet?
- Hány $^{\circ}C$ a $180^{\circ}F$ hőmérséklet?
- Hány fok volt a fotók készítésekor?





41. A hőmérséklet és a hőmennyiség

5 A képen egy hét időjárásának előrejelzése látható.

a) Számítsuk ki minden napra a naponta előre jelzett maximum és minimum hőmérsékletek átlagát!

b) Ábrázoljuk oszlopdiagramon az a) feladatban kapott átlagértékeket!

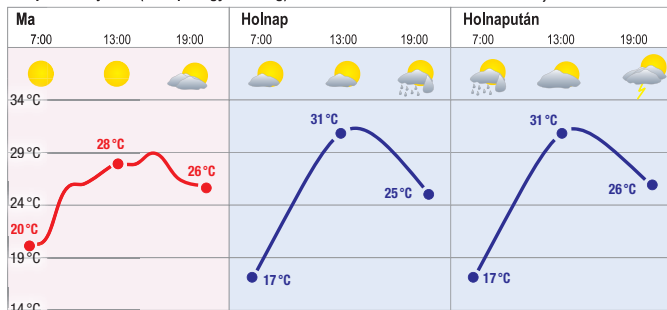


6 A következő grafikonokon három napon keresztül 7 órakor, 13 órakor és 19 órakor mért hőmérsékleteket ábrázoltak.

a) Számítsuk ki minden napra a reggel és este mért hőmérsékletek átlagát!

b) Ábrázoljuk oszlopdiagramon a grafikonról leolvasható, naponta 7 órakor, 13 órakor és 19 órakor mért hőmérsékleteket!

3 napos előrejelzés (Közép-Magyarország) Az előrejelzés frissítve: 17:30



7 A képen öt nap időjárásának előrejelzését tanulmányozhatjuk.

a) Számítsuk ki a reggeli és a délutáni átlag-hőmérsékleteket minden napra!

b) Ábrázoljuk a reggeli és a délutáni átlaghőmérsékleteket közös grafikonon a napok függvényében!

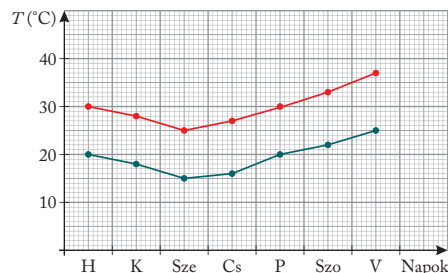
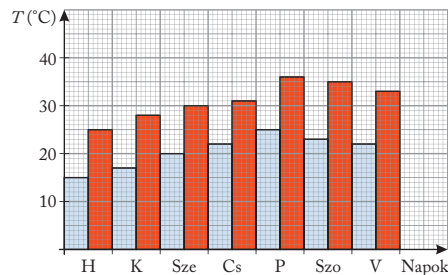
| Napok: | Reggel: | | | Délután: | | |
|----------------------------|---------|-------------|------|----------|-------------|------|
| | Idő | Hőmérséklet | Szél | Idő | Hőmérséklet | Szél |
| 2013. július 7. vasárnap | | 15 és 19 °C | ↓ | | 27 és 32 °C | ↙ |
| 2013. július 8. hétfő | | 15 és 20 °C | ↓ | | 26 és 31 °C | ↙ |
| 2013. július 9. kedd | | 14 és 19 °C | ↙ | | 27 és 32 °C | ↙ |
| 2013. július 10. szerda | | 13 és 19 °C | ↙ | | 29 és 33 °C | ↓ |
| 2013. július 11. csütörtök | | 14 és 20 °C | ↙ | | 28 és 32 °C | ↙ |

8 A következő grafikonok egy hét naponta mért legalacsonyabb és legmagasabb hőmérsékleteit ábrázolják.

a) Olvassuk le a grafikonokról a hetente mért napi legmagasabb és legalacsonyabb hőmérsékleteket!

b) A felső grafikonról olvassuk le a naponta mért legalacsonyabb hőmérsékleteket, és számítsuk ki az átlagukat!

c) Az alsó grafikonról olvassuk le a naponta mért legmagasabb hőmérsékleteket, és számítsuk ki az átlagukat!



42. lecke

A szilárd testek hőtágulása

Mindennapi tapasztalat, hogy a testek mérete megváltozik, ha megváltoztatjuk a hőmérsékletüket. A legtöbb anyag méretei melegítés hatására növekednek. A növekedést szokás hőtágulásnak nevezni. Vannak azonban olyan ötvözetek, műanyagok is, amelyek melegítés hatására összehúzódnak. *Hol alkalmaznak ilyen anyagokat?*

A szilárd testek lineáris hőtágulása

Huzalok, vezetékek, sínek tágulásakor a keresztmetszet változása a hosszváltozáshoz képest elhanyagolható nagyságú. Ha a szilárd test hossza több nagyságrenddel nagyobb, mint a keresztmetszet méretei, akkor a hőtágulás **lineáris hőtágulás**.

KÍSÉRLET

A különböző anyagból készült rudak eltérő nagyságú hőtágulása jól szemléltethető az emeltyűs pirométerrel. A vályúba öntött denaturált szesz elégetésekor keletkező hő melegíti fel a fémrudakat. Azt, hogy mindegyik fémrúd azonos hőmennyiséget kapjon, úgy biztosítjuk, hogy a vályúba azonos térfogatú szeszt töltünk.



Emeltyűs pirométer a kísérlet egyes szakaszaiban



Miért helyezik a hidak, felüljárók egyik végén a pályatestet tömör acélhengerekre?



TAPASZTALAT

A hőmérséklet megváltozására bekövetkező hosszváltozás mellett elhanyagolható a keresztmetszet méreteinek megváltozása. Ilyen esetben **hosszanti** vagy **lineáris hőtágulásról** beszélünk.

A mérések alapján megállapíthatjuk, hogy a hosszváltozás (Δl) egyenesen arányos:

- a hőmérséklet megváltozásával (ΔT);
- az eredeti hosszal (l_0).

KÖVETKEZTETÉS

A két arányosságot egyesítve: $\Delta l \sim l_0 \cdot \Delta T$

Matematikából tanultuk, hogy egyenes arányosság esetén az összetartozó értékpárok hányadosa állandó, azaz:

$$\frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta T} = \text{állandó}$$

Az állandó értéke függ a testek anyagi minőségétől, azaz minden anyag esetén más és más ez az érték. Ezt az állandót α -val jelöljük, és **lineáris hőtágulási együtthatónak** nevezzük.

Mértékegysége: $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ vagy $\frac{1}{\text{K}}$.

A lineáris (vagy hosszanti) hőtágulási együttható megmutatja, hogy mennyivel változik meg a test hossza eredeti hosszához viszonyítva, ha 1 °C-kal (illetve 1 K-nel) változik a hőmérséklete.

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$$

A változás utáni hosszúság (l) kiszámítása:

$$l = l_0 + \Delta l = l_0 + \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T = l_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

| Az anyag neve | $\alpha \left(10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}\right)$ |
|---------------|--|
| alumínium | 2,4 |
| ezüst | 1,9 |
| réz | 1,6 |
| üveg | 1,1 |
| vas | 1,2 |

Néhány anyag lineáris hőtágulási együtthatója



Létezik-e olyan anyag, amelynek negatív a hőtágulási együtthatója?

Szilárd testek felületi hőtágulása

Vékony, szilárd anyagból készült lemezek hőtágulásakor eltekinthetünk a vastagságuk megváltozásától. A vastagságuk mérete több nagyságrenddel kisebb, mint a területük mérete.

A lineáris hőtáguláshoz hasonlóan a terület változása (ΔA) egyenesen arányos:

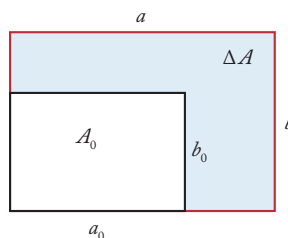
- a hőmérséklet megváltozásával (ΔT);
- az eredeti területtel (A_0).

A két arányosságot összevonva: $\Delta A \sim A_0 \cdot \Delta T$

Az összetartozó értékpárok hányadosa állandó:

$$\frac{\Delta A}{A_0 \cdot \Delta T} = \text{állandó}$$

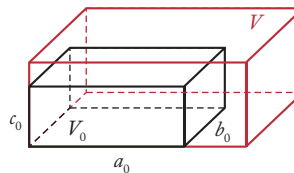
Az állandót **felületi hőtágulási együtthatónak** szokás nevezni. Az értéke kétszerese a lineáris hőtágulási együtthatónak, 2α .



Lemez hőtágulása

Szilárd testek térfogati hőtágulása

Ha a szilárd testek mindhárom kiterjedése nagyságrendileg azonos, akkor egyik méretének megváltozása sem hanyagolható el.



Téglatest alakú test térfogati hőtágulása

A lineáris hőtáguláshoz hasonlóan a test térfogatának megváltozása (ΔV) egyenesen arányos:

- a hőmérséklet megváltozásával (ΔT);
- az eredeti térfogattal (V_0).

A két arányosságot összevonva: $\Delta V \sim V_0 \cdot \Delta T$



Az összetartozó értékpárok hányadosa állandó:

$$\frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta T} = \text{állandó}$$

Az állandó értéke függ az anyagi minőségtől, amit β -val jelölünk, és **térfogati** (vagy köbös) **hőtágulási együtthatónak** nevezzük.

$$\text{Mértékegysége: } \frac{1}{^\circ\text{C}} \text{ vagy } \frac{1}{\text{K}}$$

Az értéke háromszorosa a lineáris hőtágulási együtthatónak, $\beta = 3\alpha$.

A térfogati (köbös) hőtágulási együttható megmutatja, hogy mennyivel változik meg a test térfogata az eredeti térfogatához viszonyítva, ha 1 °C-kal (illetve 1 K-nel) változik a hőmérséklete.

$$\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

A változás utáni V térfogat:

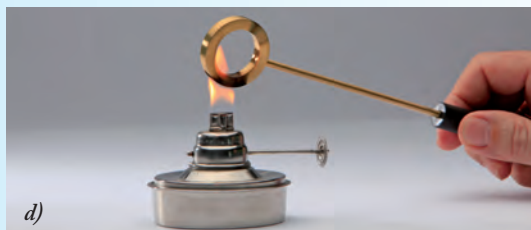
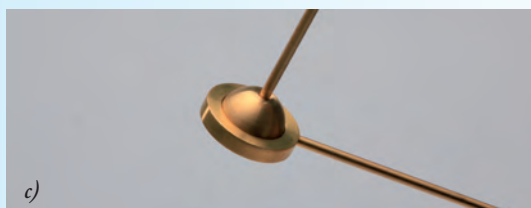
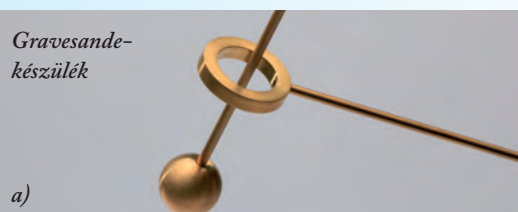
$$V = V_0 + \Delta V = V_0 + \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

$$V = V_0 (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

KÍSÉRLET

Az itt látható kísérlet jól szemlélteti, hogy az üreges testek is úgy tágulnak, mintha tömör anyagból lennének. A kísérleti eszköz (Gravesande-készülék) egy fémgyűrűből és egy ugyanolyan anyagú golyóból áll; a golyó szobahőmérsékleten éppen átfér a gyűrűn (a).

A fémgolyót – például gázlámpán – felmelegítjük (b), amitől kitágul, így nem fér át a gyűrűn (c). A gyűrű felmelegítése után (d) azonban a golyó ismét átfér a gyűrűn (e).



Abronsok régen és ma

Régen a hintók, szekerek kerekét fából készítették. A fa nagyon hamar elkopna, ezért *vasból készült abroncsot* húztak rá. Az abroncsot melegen helyezték a kerékre, az kihűléskor összehúzódva rászorult a fára.

A „technológiát” ma is alkalmazzák a vasúti kocsik kerekének készítésekor. Jó minőségű, kopásálló acélból, melegen abroncs-szerű réteget húznak a kerékre. Az egész kereket felesleges lenne a drága, kopásálló acélból készíteni.

Vasból készült abroncs fakereken

Olvasmány



KIDOLGOZOTT FELADATOK

1. Egy acél csapágygolyó átmérője $8\text{ }^\circ\text{C}$ -on pontosan 2 cm . A csapágyat tartalmazó gépalkatrész működés közben $60\text{ }^\circ\text{C}$ -ra melegszik.

- a) Mekkora lesz a csapágygolyó átmérője?
 b) Milyen arányban csökkent a sűrűsége?

A hiányzó adatokat keressük meg a *Négyjegyű függvény táblázatokban!*

MEGOLDÁS

Adatok:

$$d_1 = 2\text{ cm}$$

$$T_1 = 8\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 60\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\beta_{\text{acél}} = 3,9 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$d_2 = ?, \quad \frac{\rho_2}{\rho_1} = ?$$

a) A csapágygolyó térfogatát a gömb térfogatképletével számítjuk:

$$V_1 = \frac{4 \cdot r_1^3 \cdot \pi}{3}, \quad d_1 = 2 \cdot r_1, \quad r_1 = 1\text{ cm}$$

A tágulás utáni térfogat:

$$V_2 = V_1 (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

Sugarakkal:

$$\frac{4 \cdot r_2^3 \cdot \pi}{3} = \frac{4 \cdot r_1^3 \cdot \pi}{3} (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

Egyszerűsítés és az adatok behelyettesítése után:

$$r_2^3 = 1\text{ cm}^3 \cdot \left(1 + 3,9 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 52\text{ }^\circ\text{C}\right)$$

$r_2 = 1,00067\text{ cm}$, az átmérő pedig $d_2 = 2,0013\text{ cm}$.

b) A sűrűségekre vonatkozó $\rho = \frac{m}{V}$ összefüggés alapján a sűrűségek aránya:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\frac{m}{V_2}}{\frac{m}{V_1}}$$



A golyó tömege állandó, egyszerűsítünk vele, majd behelyettesítjük a V_2 térfogatot:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{V_1 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T)}$$

$$\text{Innen } \frac{\rho_2}{\rho_1} = 0,998.$$

A sűrűség tehát $0,002$ ρ_1 -gyel csökkent!

2. Alumíniumból és vasból készült huzalt egymás mellé helyezünk, hosszuk különbsége 12 cm . Ha melegítjük a huzalokat, azt tapasztaljuk, hogy hosszúságuk különbsége nem változik. Milyen hosszúak voltak? ($\alpha_{\text{Fe}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$; $\alpha_{\text{Al}} = 2,4 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$)

MEGOLDÁS

Adatok:

$$l_{\text{Fe}} - l_{\text{Al}} = 12\text{ cm}$$

$$\alpha_{\text{Fe}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$$

$$\alpha_{\text{Al}} = 2,4 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$$

$$l_{\text{Fe}} = ?, \quad l_{\text{Al}} = ?$$

Alkalmazzuk az $l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$ összefüggést!

$$l_{\text{Fe}} \cdot (1 + \alpha_{\text{Fe}} \cdot \Delta T) - l_{\text{Al}} \cdot (1 + \alpha_{\text{Al}} \cdot \Delta T) = 12\text{ cm}$$

Rendezzük az egyenletet!

$$l_{\text{Fe}} + l_{\text{Fe}} \cdot \alpha_{\text{Fe}} \cdot \Delta T - l_{\text{Al}} - l_{\text{Al}} \cdot \alpha_{\text{Al}} \cdot \Delta T = 12\text{ cm}$$

$$l_{\text{Fe}} - l_{\text{Al}} + \Delta T \cdot (l_{\text{Fe}} \cdot \alpha_{\text{Fe}} - l_{\text{Al}} \cdot \alpha_{\text{Al}}) = 12\text{ cm}$$

$l_{\text{Fe}} - l_{\text{Al}}$ helyébe írjuk be a 12 cm -t!

$$\Delta T \cdot (l_{\text{Fe}} \cdot \alpha_{\text{Fe}} - l_{\text{Al}} \cdot \alpha_{\text{Al}}) = 0$$

Mivel ΔT nem lehet 0 , ezért

$$l_{\text{Fe}} \cdot \alpha_{\text{Fe}} - l_{\text{Al}} \cdot \alpha_{\text{Al}} = 0.$$

Rendezzük át az egyenletet!

$$\frac{l_{\text{Fe}}}{l_{\text{Al}}} = \frac{\alpha_{\text{Al}}}{\alpha_{\text{Fe}}} = 2, \text{ ebből } l_{\text{Fe}} = 2 \cdot l_{\text{Al}}.$$

Ezt helyettesítsük be az $l_{\text{Fe}} - l_{\text{Al}} = 12\text{ cm}$ összefüggésbe!

Így azt kapjuk, hogy

$$l_{\text{Al}} = 12\text{ cm} \text{ és } l_{\text{Fe}} = 24\text{ cm}.$$

Az alumíniumhuzal 12 cm , a vasból készült huzal 24 cm volt.



Bimetallszalag

Kettős fémszalagot (bimetall) úgy készíthetünk, hogy két különböző hőtágulási együtthatójú fémszalagot összeszegecselünk. Melegítéskor a bimetall ívben elhajlik, a nagyobb mértékben táguló lemez a külső, hosszabb ívet képezi. Bimetalltermosztátot alkalmaznak a fűtő- és hűtőkészülékekben a túlmelegedés elleni védelemre. Hőmérők készítésénél is használnak bimetallt.

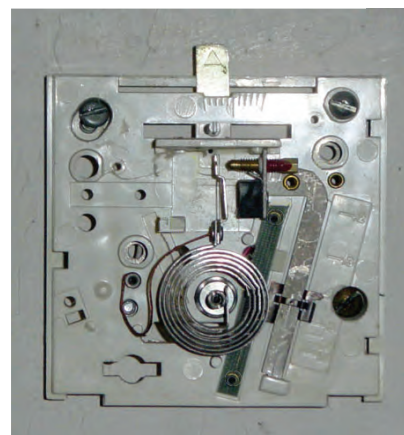


A bimetallszalag melegítéskor elhajlik



Merre hajlik a bimetallszalag?

Olvasmány



Bimetalltermosztát

Vasbeton és kvarcedények

Az építőiparban használt vasbetonban nem keletkeznek feszítőerők hőmérséklet-változás hatására. Ugyanis a vas és a beton hőtágulási együtthatója nagyon kis mértékben tér el egymástól.

A főzéskor, sütéskor használt kvarcedények nagy hőmérséklet-változás hatására sem repednek el. Az ilyen edények anyagának hőtágulási együtthatója nagyon kicsi, $6 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{K}}$. A nem egyenletes melegítés vagy hűtés közben fellépő mechanikai feszültségek is kicsik, az edény nem reped el.

Vasbetonelemek



Hosszú építmények hőtágulása

A hosszú pályatestek *nyáron kitágulnak, télen összehúzódnak*. A hidak esetében a görgőkön elmozdulhat a pályatest, így nem teszi tönkre a pilléreket. A régen épült vasúti síneknél hézagot hagytak, hogy a hőtágulás ne görbítse el a sínpart. Napjaink fejlett rögzítési technikája lehetővé teszi a sínszalak összehegesztését úgy, hogy ne lépjen fel káros deformáció hőtáguláskor. Az ezzel a technikával készített pályákon a vonatkerekek kattogása megszűnt, és a vonatszerelvények sebessége is nagymértékben növelhető.

1 Egy alumíniumból készült elektromos távvezeték hossza 80 km. 20 °C volt a hőmérséklet, amikor építették. Milyen hosszú lesz nyáron 42 °C hőmérsékleten, illetve télen –20 °C-on?

$$\left(\alpha = 2,4 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}\right)$$

2 Egy rézből készült téglatest méretei 5 °C-on 10 cm, 20 cm és 30 cm. A réz hőtágulási együtthatója $1,6 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{C}}$. Mennyivel változnak meg az élei, a felszíne és a térfogata, ha 30 °C-ra nő a hőmérséklete?

3 Az Eiffel-torony 320 m magas 20 °C hőmérsékleten. Szegecseléssel úgy szerelték össze, hogy még 32 cm magasságnövekedést is kibír. Mekkora hőmérséklet-változást tervezett Eiffel mérnök? (A torony acélból készült, $\alpha = 1,17 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$.)

4 Télen a raktárban tárolt rézcsövek sűrűsége 0 °C hőmérsékleten $8920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Mennyi lesz a sűrűségük, ha 250 °C-ra melegítjük a csöveket?

$$\left(\alpha = 1,6 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}\right)$$

5 Nyáron nagy melegben a villamos-, illetve vasúti sínek elhajlanak, felpúposodnak a hőtágulás következtében. Vízzel kell hűteni a sínszálakat, hogy ne történjen baleset. Hajnalban 12 °C-on pontosan 1,4 km hosszú volt a sínszál. Mekkora volt az acélsín hőmérséklete a nap legmelegebb órájában, amikor 1400,5 méter hosszúnak mérték a sínszálakat? ($\alpha = 1,17 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$)

Az Eiffel-tornyot 2,5 millió szegecs tartja össze

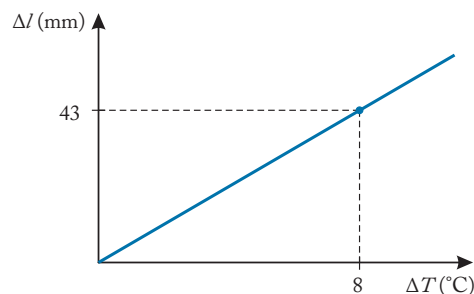
Kérdések és feladatok

6 Építkezésnél használt gerenda hosszúságának megváltozása 60 °C hőmérséklet-változás hatására 0,078% lesz. Mekkora a gerenda anyagának a hőtágulási együtthatója? Milyen anyagból készülhetett a gerenda? (Használjuk a *Négyjegyű függvénytáblázatokat!*)

7 Gépelemek egymáshoz való rögzítésénél mélyhűtési eljárást is alkalmaznak. Az eljárás lényege az, hogy a szegecsek átmérője kicsit nagyobb, mint a furatoké. A szegecseket ezért le kell hűteni, hogy illeszthetők legyenek a furatokba. Egy acélszegecs átmérője 22 °C-on 80 mm. Minimum hány °C-ra kell lehűteni, ha 79,8 mm átmérőjű furatba kell behelyezni?

$$\left(\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}\right)$$

8 A grafikon 300 m hosszúságú huzal hosszváltozását mutatja a hőmérséklet-változás függvényében. Számítsuk ki a huzal lineáris hőtágulási együtthatóját!



9 Vékony alumíniumlemez területe a 14 °C-os raktárban 2,5 m². Mekkora lesz a területe, ha szállítás közben, a tűző napon 35 °C-ra melegszik?

$$\left(\alpha_{\text{Al}} = 2,4 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}\right)$$

10 Két tanuló azon vitakozott, hogy azonos hőmérséklet-változás hatására a testeknek a felszíne vagy a térfogata változik-e meg nagyobb arányban. A kérdést számítással célszerű eldönteni. Melegítés hatására egy test felszíne 1,4%-kal nőtt. Hány százalékkal nőtt a test térfogata?

43. lecke

A folyadékok hőtágulása



Miért használnak a gépjárművek hűtőberendezésénél utántöltő kiegyenlítőtartályt?



A szilárd anyagokhoz hasonlóan a folyadékoknak is megnő melegítéskor a térfogata, amit hőtágulásnak nevezünk. A folyadékok melegítéskor nagyobb mértékben tágulnak, mint a szilárd anyagok. A hőtágulás mértéke függ az anyagi minőségtől. *Miért tilos a hűvös helyiségben benzinnel teletöltött kannát a tűző napra tenni?*

A folyadékok térfogatváltozása

A folyadékoknak nincs önálló alakjuk, mindig a tárolóedény formáját veszik fel. Ezért csak a hőmérséklet-változás hatására bekövetkező *térfogatváltozást* (ΔV) vizsgáljuk. Ezt úgy tehetjük meg, hogy a folyadékot aránylag nagy edénybe tesszük, amely keskeny csőben folytatódik. Az ilyen eszközt szokás *dilatométernek* nevezni.



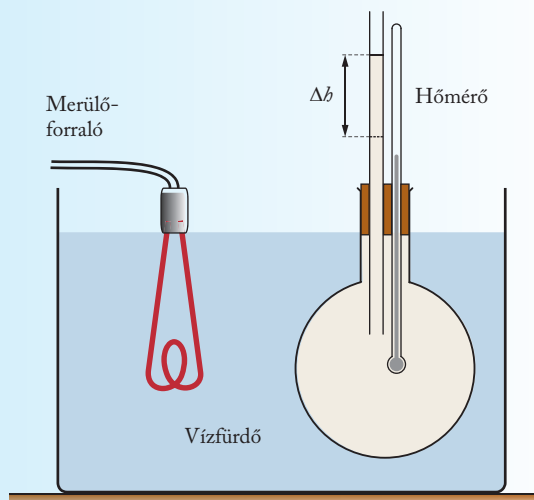
Dilatométer

KÍSÉRLET

Helyezzünk vízfürdőbe egy üvegcsövet és egy hőmérőt tartalmazó, vízzel teli lombikot! MÉRJÜK MEG az üvegcső belső átmérőjét, ebből kiszámíthatjuk a keresztmetszet (A) területét!

MÉRJÜK MEG az üvegcsővön a folyadékoszlop magasságának megváltozását (Δb), miközben a víz hőmérséklete ΔT -vel változik!

A ΔV -t kiszámíthatjuk az $A \cdot \Delta b$ szorzattal.



A dilatométer rajza



TAPASZTALAT

A kísérlet elvégzésekor azt tapasztaljuk, hogy a térfogatváltozás (ΔV) egyenesen arányos a hőmérséklet megváltozásával (ΔT) és az eredeti térfogattal (V_0).

KÖVETKEZTETÉS

A két arányosságot összevonva:

$$\Delta V \sim V_0 \cdot \Delta T$$

Az összetartozó értékpárok hányadosa állandó, azaz:

$$\frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta T} = \text{állandó}$$

Az állandó értéke függ az anyagi minőségtől, amit β -val jelölünk, és térfogati vagy köbös hőtágulási együtthatónak nevezünk.

Mértékegysége: $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ vagy $\frac{1}{\text{K}}$.

A térfogati (köbös) hőtágulási együttható megmutatja, hogy mennyivel változik meg a folyadék térfogata az eredeti térfogatához viszonyítva, ha 1 °C-kal (illetve 1 K-nel) változik a hőmérséklete.

$$\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot (\Delta T)$$

A változás utáni V térfogat kiszámítása:

$$V = V_0 + \Delta V = V_0 + \beta \cdot V_0 \cdot (\Delta T) = V_0 (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

| Az anyag neve | $\beta \left(10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}\right)$ |
|----------------|---|
| alkohol | 1,1 |
| benzin | 1,0 |
| glicerín | 0,5 |
| higany | 0,18 |
| benzol | 1,25 |
| tömény kénsav | 0,56 |
| sósav (20%-os) | 0,3 |
| víz (18 °C-on) | 0,13 |

Néhány folyadék térfogati hőtágulási együtthatója

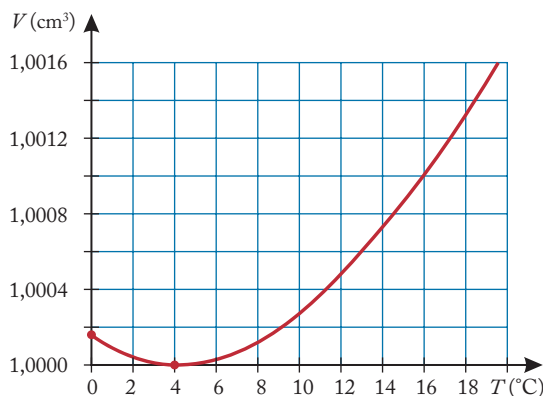
Megfigyelhetjük, hogy ezek az értékek hozzávetőlegesen egy nagyságrenddel nagyobbak a szilárd anyagok köbös hőtágulási együtthatóinál.

A víz térfogatának hőmérséklet-függése

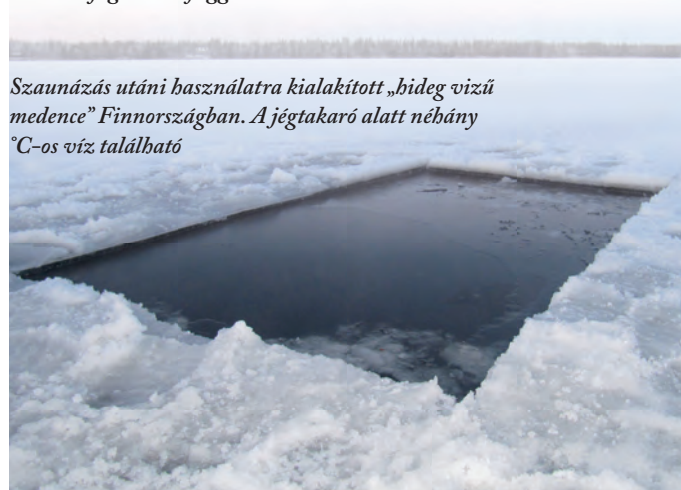
A folyadékok térfogata melegítés hatására nő. Fontos kivétel a víz. 0 °C és 4 °C között melegítéskor csökken a térfogata, nő a sűrűsége. 4 °C-nál nagyobb hőmérsékleten nő a térfogata, csökken a sűrűsége. Ebből az következik, hogy a víz sűrűsége 4 °C-on a legnagyobb.

Az alapkönyv 11. oldalán a tömeg mértékegységénél olvashattuk, hogy 1 kg a tömege 1 dm³ desztillált víznek 4 °C-on és normál légköri nyomáson.

Az is leolvasható az alábbi grafikonról, hogy 4 °C-nál magasabb hőmérsékleten nem lineáris a görbe. A víz térfogatának növekedése nem egyenesen arányos a hőmérséklet növekedésével. A víz különleges hőtágulásával magyarázható, hogy az állóvizek télen nem fagnak be fenéig. Ezzel az 55. leckében foglalkozunk részletesen.



A víz térfogatának függése a hőmérséklettől



Szaunázás utáni használatra kialakított „hideg vizű medence” Finnországban. A jégtakaró alatt néhány °C-os víz található



KIDOLGOZOTT FELADATOK

1. Alkoholos hőmérőnk $-35\text{ }^\circ\text{C}$ -tól $+55\text{ }^\circ\text{C}$ -ig méri a hőmérsékletet. A skálacső hossza 25 cm, belső átmérője 0,4 mm.

- a) Mekkora térfogatú a gömb alakú tartály?
 b) Ha a hőmérőben lévő alkohol térfogata $0,34\text{ cm}^3$, akkor hány $^\circ\text{C}$ hőmérsékletet mutat?
 Az üveg tágulását ne vegyük figyelembe!

MEGOLDÁS

$$\beta_{\text{alkohol}} = 1,1 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}, T_1 = -35\text{ }^\circ\text{C}, T_2 = +55\text{ }^\circ\text{C}$$

$$l = 25\text{ cm}, d = 0,4\text{ mm}, V = 0,34\text{ cm}^3$$

a) $V_1 = ?$, b) $T_3 = ?$

a) $-35\text{ }^\circ\text{C}$ -on csak a gömbben van alkohol, $+55\text{ }^\circ\text{C}$ -on pedig teljesen kitölti a csövet. Legyen V_1 a gömb térfogata, a ΔV pedig a cső térfogata, amit hengerként számítunk ki.

$$\Delta V = V_1 \cdot \beta \cdot \Delta T = r^2 \cdot \pi \cdot l$$

Fejezzük ki V_1 -et!

$$V_1 = \frac{r^2 \cdot \pi \cdot l}{\beta \cdot \Delta T} = \frac{(2 \cdot 10^{-4})^2 \text{ m}^2 \cdot \pi \cdot 0,25\text{ m}}{1,1 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 90\text{ }^\circ\text{C}}$$

$$d = 0,4\text{ mm}$$

A számítás elvégzése után:

$$V_1 = 3,17 \cdot 10^{-7}\text{ m}^3$$

A gömb alakú tartály térfogata $0,317\text{ cm}^3$.

b) A hőmérőben lévő alkohol térfogata egyenlő a gömbben és a csőben (V_{cs}) lévő térfogatok összegével: $V = V_1 + V_{\text{cs}}$

A V_{cs} térfogat kiszámítható:

$$V_{\text{cs}} = V - V_1 = 0,34\text{ cm}^3 - 0,317\text{ cm}^3 = 0,023\text{ cm}^3$$

A V_{cs} térfogat azonos az alkohol térfogatváltozásával (ΔV):

$$\Delta V = V_{\text{cs}} = V_1 \cdot \beta \cdot \Delta T, \text{ azaz } \Delta T = \frac{V_{\text{cs}}}{V_1 \cdot \beta}$$

Helyettesítsük be az adatokat, végezzük el a számítást:

$$\Delta T = \frac{0,023\text{ cm}^3}{0,317\text{ cm}^3 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}} = 65,96\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_3 - T_1, \text{ ebből}$$

$$T_3 = \Delta T + T_1 = 65,96\text{ }^\circ\text{C} - 35\text{ }^\circ\text{C} = 30,96\text{ }^\circ\text{C}$$

A hőmérő $31\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletet mutat.

2. A 10 literes rézfazék $75\text{ }^\circ\text{C}$ -on tele van vízzel. Hány $^\circ\text{C}$ -ra hűlt le, ha még 0,5 dl vizet lehetett beletölteni? A réz hőtágulását is vegyük figyelembe! A víz térfogati hőtágulási együtthatója jó közelítéssel: $5,85 \cdot 10^{-4} \frac{1}{^\circ\text{C}}$.

MEGOLDÁS

$$V = 10\text{ l} = 100\text{ dl}$$

$$T_1 = 75\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{\text{réz}} = 1,6 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}, \beta_{\text{víz}} = 5,85 \cdot 10^{-4} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$T_2 = ?$$

Írjuk fel, mennyivel csökkent a víz térfogata!

$$\Delta V_{\text{víz}} = \beta_{\text{víz}} \cdot V \cdot T = 5,85 \cdot 10^{-4} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 100\text{ dl} \cdot \Delta T$$

Írjuk fel, mennyivel csökkent a rézfazék térfogata!

$$\Delta V_{\text{réz}} = \beta_{\text{réz}} \cdot V \cdot T = 1,6 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 100\text{ dl} \cdot \Delta T$$

A két térfogatváltozás különbsége 0,5 dl.

$$0,5\text{ dl} = \Delta V_{\text{víz}} - \Delta V_{\text{réz}}$$

Helyettesítsük be az ismert mennyiségeket:

$$0,5\text{ dl} = 5,85 \cdot 10^{-4} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 100\text{ dl} \cdot \Delta T -$$

$$- 1,6 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 100\text{ dl} \cdot \Delta T$$

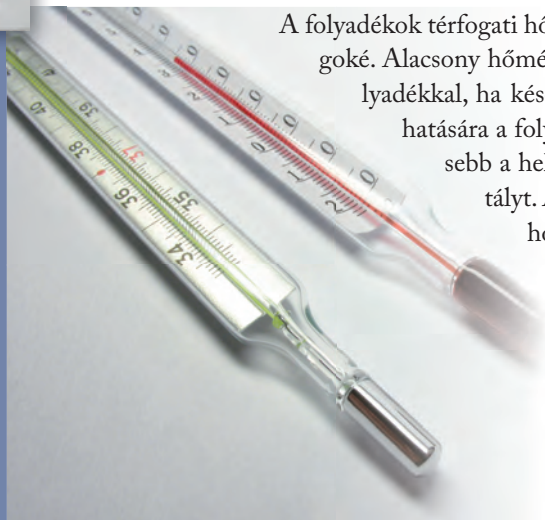
Ebből a ΔT kiszámítható: $\Delta T = 9,3\text{ }^\circ\text{C}$

A $75\text{ }^\circ\text{C}$ ΔT -vel csökkent:

$$T_2 = T_1 - \Delta T = 75\text{ }^\circ\text{C} - 9,3\text{ }^\circ\text{C} = 65,7\text{ }^\circ\text{C}$$

A rézfazék és a benne lévő víz hőmérséklete $65,7\text{ }^\circ\text{C}$ -ra csökkent.





Folyadékok hőtágulása tartályokban

Olvasmány

A folyadékok térfogati hőtágulási együtthatója egy nagyságrenddel nagyobb, mint a szilárd anyagoké. Alacsony hőmérsékleten a tartályokat, edényeket nem szabad teletölteni jól táguló folyadékkal, ha később magas hőmérsékletű helyre visszük. A nagy hőmérséklet-változás hatására a folyadék egy része kifolyik az edényből. A zárt tartályoknál még veszélyesebb a helyzet, hiszen a mechanikai feszítőerők szétrepeszti, tönkreteszik a tartályt. A gépjárművek hűtőberendezésénél azért használnak kiegyenlítőtartályt, hogy a hűtőfolyadék tudjon tágulni, ne feszítse szét a hűtőberendezést és az összekötőcsöveket.

A hőmérőkben olyan folyadékokat alkalmaznak, amelyeknek alacsony a fagyáspontja. A hőmérséklet ezáltal széles intervallumon mérhető. A higanyos hőmérők $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ között, az amil-alkoholt tartalmazók $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ között használhatók. A hőmérőkben a tartály vékony üvegcsőben folytatódik. Ennek az a következménye, hogy néhány fokos hőmérséklet-változás is a folyadék jól látható hosszváltozását eredményezi.

Kérdések és feladatok

1 A gyógyszerár raktárában $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on 2 liter glicerint öntöttek egy tartályba. Mekkora lesz a glicerintérfogata a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os laboratóriumban? Ne vegyük figyelembe a tartály térfogatának megváltozását!

2 Üvegpalackba $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékleten benzint töltünk. Mekkora hőmérsékleten lesz a térfogata 3%-kal kisebb? Az üveg hőtágulását ne vegyük figyelembe!

3 Ismeretlen folyadék hőtágulási együtthatóját szeretnénk meghatározni. Ezért az anyagból 200 ml-t töltünk $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten egy mérőhengerbe. Ha $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra melegítjük, a térfogata 210 ml lesz. Számítsuk ki, hogy mekkora a folyadék hőtágulási együtthatója! A mérőhenger hőtágulását ne vegyük figyelembe! Keressük meg a folyadék nevét a *Négyjegyű függvénytáblázatok* segítségével!

4 A Fertő tó átlagos vízmélységét tekintjük $2,5\text{ m}$ -nek. Jelentősen változik-e a vízszintje, ha a napi hőmérséklet-ingadozás $6\text{ }^{\circ}\text{C}$, és nem vesszük figyelembe a párolgást?

5 A tanulók kémiaórán a konyhasóoldat sűrűségét $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on $1190\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ -nek mérték. Mekkora lesz a sűrűsége $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on?

6 Egy $0,4$ literes, sárgarézből készült kupát teletöltünk vízzel $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékleten. Mennyi víz folyik ki a kupából, ha $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra melegítjük? A réz hőtágulását is vegyük figyelembe!

7 A 16 literes, vasból készült fazék $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékleten tele van vízzel. Mennyi vizet tölthetünk bele, ha $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra lehűl?

A Fertő tó madártávlátból

44. lecke

A gázok állapotjelzői.
A gázok állapotváltozása állandó hőmérsékleten



Hogyan lehet megmérni a futball-labdában lévő levegő tömegét?



Ha összenyomjuk a kerékpárpumpába vagy az orvosi fecskendőbe zárt levegőt, megnő a nyomása. Az állapotjelzők közül a hőmérsékletet állandónak tekinthetjük. *Hogyan kell végrehajtanunk az összenyomást, hogy ne változzon meg számottevően a gáz hőmérséklete?*

A gázok állapotának jellemzése

Ha adott tömegű és térfogatú gáz nyomása és hőmérséklete mindenütt azonos, akkor **egyensúlyi állapotban** van.

A gázok állapotát jól mérhető mennyiségek egyértelműen meghatározzák: a gáz nyomása (p), térfogata (V), hőmérséklete (T) és tömege (m). Ezeket a fizikai mennyiségeket állapotjelzőknek vagy állapothatározóknak nevezzük.

A gázok nyomásáról már tanultunk.

A gázok mennyiségét jellemezhetjük az **anyagmennyiséggel** vagy **mólszámmal** is, jele: n . Mértékegysége: **mol**. Egy mol az az anyagmennyiség, amely annyi elemi egységet (atom, molekula, ion) tartalmaz, mint amennyi atom van 12 gramm 12-es szénizotópban (^{12}C).

$n = \frac{m}{M}$, ahol m a gáz tömege, M pedig a gáz **moláris tömege**, a mólnyi mennyiségű anyag tömege. Mértékegysége alapl mértékegységekkel kifejezve: $\frac{\text{kg}}{\text{mol}}$, de gyakrabban használjuk a $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$ mértékegységet. Például a hidrogén moláris tömege $M_{\text{H}_2} = 2 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$, az oxigéné $M_{\text{O}_2} = 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.

A gázok vizsgálata

Megkönnyíti a gázok vizsgálatát az, hogy anyagi minőségüktől függetlenül sok esetben azonos módon viselkednek. Például, ha állandó a gázok tömege és hőmérséklete, akkor a nyomásuk és a térfogatuk közötti összefüggés minden gáz esetében ugyanaz. Vagy ha állandó a gázok tömege és térfogata, akkor a nyomásuk és a hőmérsékletük közötti összefüggés könnyen megállapítható.

44. A gázok állapotjelzői. A gázok állapotváltozása állandó hőmérsékleten



A gáz hőmérsékletét hőmérővel mérhetjük, a térfogatát a tárolóedény térfogata határozza meg.

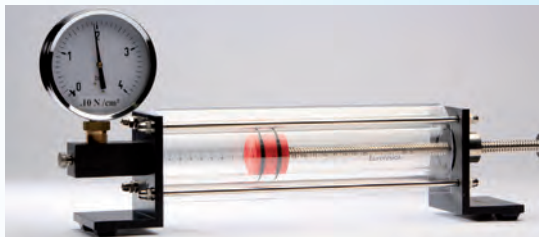
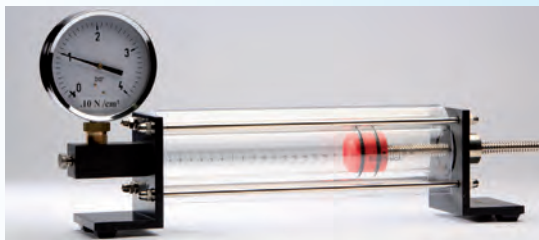
A gáz nyomását, ha az nagyobb, mint a légköri nyomás, nyomásmérővel, ha kisebb, vákuummérővel állapíthatjuk meg. A gáz tömegét úgy kaphatjuk meg, hogy megmérjük a gázt tartalmazó tartályt és a benne lévő gáz együttes tömegét. Ezután kiszivattyúzzuk a gázt, és megmérjük a tartály tömegét. Az így kapott két érték különbsége a gáz tömege.

Izoterm állapotváltozás

Az olyan állapotváltozást, amelynek során az adott tömegű gáz hőmérséklete állandó, izoterm állapotváltozásnak nevezzük.

KÍSÉRLET

Változtassuk meg a térfogatát a dugattyúval lezárt hengerben állandó tömegű gáznak! A gáz hőmérsékletét tekintjük állandónak!



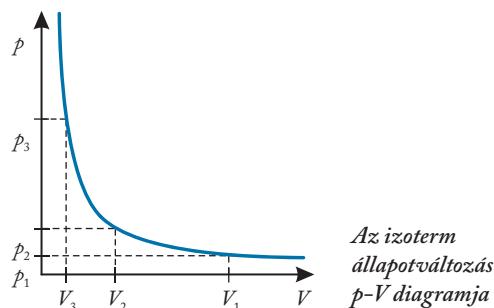
Izoterm állapotváltozás bemutatására készített eszköz

A dugattyú lassú mozgatásával változtassuk meg a bezárt levegő térfogatát! Olvassuk le, milyen értékeket mutat a nyomásmérő! A mérési adatokat foglaljuk táblázatba, majd készítsünk grafikont! A hőmérsékletet állandónak tekintjük.

TAPASZTALAT

Azt tapasztaljuk, hogy a zárt térben lévő gáz térfogatát változtatva a nyomása is változik. A kísérlet adatait ábrázolva a pontok hiperbola mentén helyezkednek el. A hiperbola azonos hőmérsékletű állapothoz tartozó pontokat köt össze, ezért izotermának nevezzük. Az összetartozó p - V értékpárok szorzata állandó.

| | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|
| V (cm ³) | 16 | 8 | 4 |
| p (kPa) | 100 | 200 | 400 |



KÖVETKEZTETÉS

Ebből arra következtethetünk, hogy a térfogat változása és a nyomás változása között fordított arányosság van.

A pontos törvényszerűséget Robert Boyle angol és Edme Mariotte francia fizikusok egymástól függetlenül fedezték fel.

Boyle–Mariotte törvénye: Az állandó hőmérsékletű és állandó tömegű gáz térfogata és nyomása között fordított arányosság van.

$p \cdot V = \text{állandó}$

Több egymás utáni egyensúlyi állapotra:

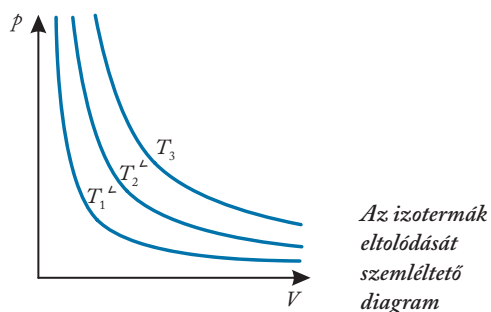
$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \dots = p_n \cdot V_n$$



A feladatok megoldásakor általában két egymás utáni különböző állapotra szükséges csak felírni az egyenlőséget:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Ha a kísérletet magasabb hőmérsékleten végezzük, akkor az állandó értéke is nagyobb. A grafikonon a hiperbolák eltolódnak a nagyobb értékek felé.



Azokat a gázokat, amelyekre érvényes a Boyle–Mariotte-törvény, **ideális gázoknak** nevezzük. Közös körülmények között a gázok ideálisnak tekinthetők.

A kerékpárpumpa működése

A dugattyút lefelé nyomva a pumpában és a tömlőben lévő levegő térfogata csökken. A nyomás megnő, és képes nyitni a kerékpár belső gumijának szelepét.



Kerékpárszelep



Milyen szerepe van a „szelepguminak”?

Ha azt szeretnénk, hogy a pumpában lévő levegő hőmérséklete ne változzon jelentős mértékben, lassan kell összenyomnunk a pumpát. Általánosan is igaz: a gáztartály dugattyújának lassú mozgásával érhetünk el izoterm állapotváltozást.

KIDOLGOZOTT FELADATOK

1. Fémcsőből „dugós puskát” készítünk. A cső keresztmetszetének területe 4 cm^2 . Az egyik végébe jól illeszkedő gumidugót teszünk, a másik végébe könnyen mozgó, jól záró dugattyút. A dugó és a dugattyú távolsága 20 cm . A csőbe zárt levegőoszlop nyomása és a külső nyomás egyaránt 100 kPa . A dugót 120 N nagyságú erő tudja kilőni. A dugattyút lassan betoljuk a csőbe. Ha a dugó és a dugattyú távolsága 8 cm , kirepül-e a dugó?

MEGOLDÁS

Adatok:

$$A = 4 \text{ cm}^2$$

$$l_0 = 20 \text{ cm}$$

$$F = 120 \text{ N}$$

$$p_0 = 100 \text{ kPa}$$

$$l = 8 \text{ cm}$$

$$l_1 = ?$$

Számítsuk ki, hogy mekkora nyomás esetén repül ki a dugó!

$$p = \frac{F}{A} = \frac{120 \text{ N}}{4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 300 \text{ kPa}$$

A csőben 100 kPa nyomás volt, ehhez adódik a 300 kPa , tehát $p_1 = 400 \text{ kPa}$ nyomást kell létrehozni.

Alkalmazzuk a Boyle–Mariotte-törvényt, helyettesítsük be az adatokat!

$$p_1 \cdot V_1 = p_0 \cdot V_0$$

$$400 \text{ kPa} \cdot l_1 \cdot A = 100 \text{ kPa} \cdot 20 \text{ cm} \cdot A$$

Ebből az $l_1 = 5 \text{ cm}$. Nem repül ki a dugó 8 cm -es összenyomásnál, 5 cm -re vagy kisebb távolságra kell betolni a dugattyút!



2. A vattát alkotó szálak között sok a levegő. Hogyan lehetne meghatározni, hogy valójában mekkora térfogatot foglalnak el a vattát alkotó gyapotszálak? Tamás, a kis fizikus, orvosi fecskendő hengerébe helyezte el a vattát. Amikor a dugattyú a 20 cm^3 -es osztási jelnél van, akkor a nyomásmérő 100 kPa -t mutat. A dugattyút lassan a 10 cm^3 -es beosztáshoz tolta és azt tapasztalta, hogy a nyomás 230 kPa lett. Számítsuk ki a vattát alkotó szálak térfogatát! A hőmérsékletet tekintjük állandónak!

MEGOLDÁS

Adatok:

Jelöljük V_x -szel a vattát alkotó szálak térfogatát.

$$V_1 = 20 \text{ cm}^3 - V_x$$

$$V_2 = 10 \text{ cm}^3 - V_x$$

$$p_1 = 100 \text{ kPa}$$

$$p_2 = 230 \text{ kPa}$$

$$V_x = ?$$

$T = \text{állandó}$, azaz az állapotváltozás izoterm.

Alkalmazhatjuk a $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$ összefüggést.

Helyettesítsük be az ismert mennyiségeket:

$$100 \text{ kPa} \cdot (20 \text{ cm}^3 - V_x) = 230 \text{ kPa} \cdot (10 \text{ cm}^3 - V_x)$$

Egyszerűsítsünk:

$$10 \cdot (20 \text{ cm}^3 - V_x) = 23 \cdot (10 \text{ cm}^3 - V_x)$$

A rendezés után megkapjuk V_x -et:

$$200 \text{ cm}^3 - 10 \cdot V_x = 230 \text{ cm}^3 - 23 \cdot V_x$$

$$13 \cdot V_x = 30 \text{ cm}^3$$

$$V_x = 2,31 \text{ cm}^3$$

A vattát alkotó gyapotszálak térfogata $2,31 \text{ cm}^3$.

3. A tó felszínén egy levegőbuborék térfogata 8 mm^3 . Mekkora volt a térfogata 3 m mélységben, ha a hőmérsékletet állandónak tekintjük?

MEGOLDÁS

Adatok:

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\rho_{\text{víz}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_1 = 8 \text{ mm}^3$$

$$h = 3 \text{ m}$$

$$V_2 = ?$$

A vízoszlop nyomása: $p_{\text{víz}} = \rho_{\text{víz}} \cdot g \cdot h =$

$$= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3 \text{ m} = 30 \text{ kPa}$$

$$p_2 = p_1 + p_{\text{víz}} = 130 \text{ kPa}$$

$$p_1 = 100 \text{ kPa}$$

Alkalmazzuk a $p_2 \cdot V_2 = p_1 \cdot V_1$ összefüggést!

Fejezzük ki az V_2 -t, helyettesítsük be az ismert adatokat!

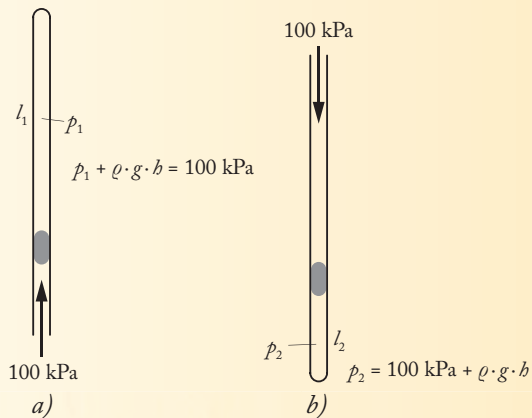
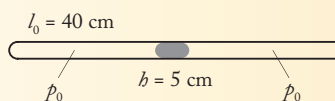
$$V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{p_2} = \frac{100 \text{ kPa} \cdot 8 \text{ mm}^3}{130 \text{ kPa}} = 6,15 \text{ mm}^3$$

A buborék térfogata 3 m mélységben $6,15 \text{ mm}^3$ volt.



4. Vékony, 85 cm hosszú, vízszintes helyzetű üvegcső közepén 5 cm hosszú higanycsepp helyezkedik el. A cső egyik vége zárt. A higanycsepp mindkét oldalán a nyomás 100 kPa. (Az ilyen csövet szokás Melde-csőnek nevezni, Franz *Melde* [1832–1901] német fizikusra emlékeztetve.) Milyen hosszú lesz a higanycsepp által bezárt levegőoszlop, ha a csövet függőleges helyzetbe fordítjuk:

- nyitott végével lefelé;
- nyitott végével felfelé?



Melde-cső különböző helyzetekben

MEGOLDÁS

Jelöljük az üvegcső keresztmetszetét A -val!

$$\rho_{\text{Hg}} = 13\,546 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

a) A higany hidrosztatikai nyomása:

$$p_{\text{Hg}} = \rho_{\text{Hg}} \cdot g \cdot h = 6,773 \text{ kPa}$$

A csőbe zárt levegőoszlop nyomása a külső nyomás és a higanyoszlop nyomásának különbsége:

$$p_1 = 100 \text{ kPa} - 6,77 \text{ kPa} = 93,23 \text{ kPa}$$

A hőmérsékletet állandónak tekintjük, **izoterm állapotváltozás**.

$$p_0 \cdot V_0 = p_1 \cdot V_1$$

A térfogat: $V = A \cdot l$

$$p_0 \cdot l_0 \cdot A = p_1 \cdot l_1 \cdot A$$

A keresztmetszettel egyszerűsítünk, kifejezzük l_1 -et:

$$l_1 = \frac{p_0 \cdot l_0}{p_1} = 42,91 \text{ cm}$$

A csepp által bezárt levegőoszlop 42,91 cm hosszú.

b) A külső nyomás és a higanyoszlop nyomása összeadódik:

$$p_2 = 100 \text{ kPa} + 6,77 \text{ kPa} = 106,77 \text{ kPa}$$

A hőmérsékletet állandónak tekintjük, **izoterm állapotváltozás**.

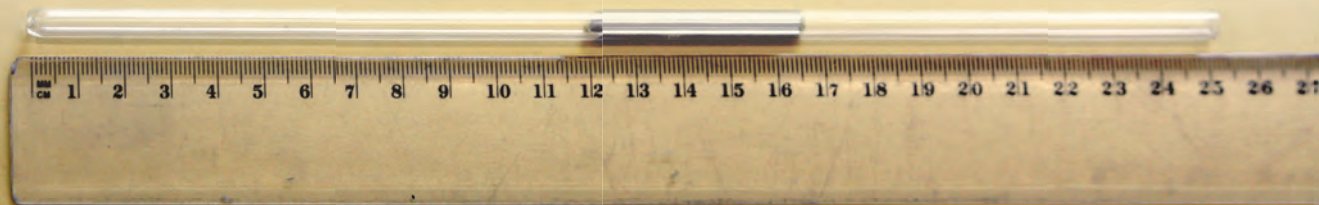
$$p_2 \cdot V_2 = p_0 \cdot V_0$$

$$p_2 \cdot l_2 \cdot A = p_0 \cdot l_0 \cdot A$$

A keresztmetszettel egyszerűsítünk, kifejezzük l_2 -t:

$$l_2 = \frac{p_0 \cdot l_0}{p_2} = 37,46 \text{ cm}$$

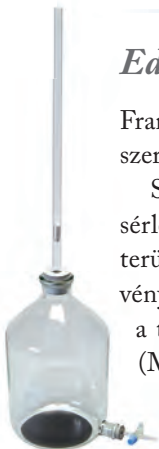
A csepp által bezárt levegőoszlop 37,46 cm hosszú.



Egy Melde-cső vízszintes helyzetben



Milyen hosszú lesz az ábrán látható Melde-csőben a higanycsepp által bezárt levegőoszlop, ha a csövet függőleges helyzetbe fordítjuk nyitott végével felfelé?



A víz kifolyását szabályozó Mariotte-palack

Olvasmány

Edme Mariotte (1620–1684)

Francia bencés szerzetes, egy Dijon melletti kolostor apátja volt. 1666-tól a párizsi akadémia tagja. Mint szerzetes a tudományoknak szentelte életét, kiváltképp a fizikát kedvelte.

Sajnos kísérleti ügyességével nem voltak arányban matematikai ismeretei. A fizikai problémákat kísérletileg helyesen oldotta meg, de matematikai számításait hiányosan végezte. A fizika majd minden területén tett felfedezéseket. Legjelentősebb eredménye a róla és Boyle-ról elnevezett gáztörvény. A törvényt Boyle 18 évvel Mariotte előtt megállapította. Mariotte erről semmit nem tudott, újra felfedezte a törvényszerűséget. Olyan palackokat is szerkesztett, amelyekből a víz kifolyását szabályozni lehet (Mariotte-palack).

Robert Boyle (1627–1691)



Robert Boyle (Johann Kerseboom festménye, 1689)

Angol fizikus és kémikus. 1661-ben jelent meg *Szeptikus kémikus* című munkája, ami párbeszédes formában íródott. Ettől számítjuk a *modern kémia* kezdetét. *Newton* kortársa volt. Kiterjedt kísérleteket végzett a gázok témakörében. 1656-tól 1668-ig az Oxfordi Egyetemen tanított. Alapító tagja volt a Brit Tudományos Akadémiának.

Úttörő kísérleteket végzett, amelyekkel kimutatta a *levegő fizikai jellemzőit*, illetve hogy milyen nagy jelentősége van a levegőnek égéskor, a légzésben, a hang továbbításában.

Ő állított elő először hidrogént. Elektrosztatikával is foglalkozott. Megdörzsölt pálcák elektromos állapotát vizsgálta.

A róla elnevezett gáztörvényt 1661-ben írt tanulmányában jelentette meg. Sirja a Westminsteri Apátságban található, Londonban.

Cartesius-bűvár

Ez az érdekes kísérleti eszköz René *Descartes* (1596–1650) francia tudósról kapta a nevét. (Descartes neve latinosan *Cartesius*.) A képen a *Cartesius-bűvár* műanyag palackból és kémcsőből készített változata látható. Kezdetben a bűvár, azaz a kémcső, a palack felső részén lebeg. Ha megnyomjuk a palack oldalát, az így létrejött többletnyomás Pascal törvénye következtében tovaterjed a vízben, összenyomja a kémcsőbe zárt levegőt. A hőmérséklet állandó, nő a levegő nyomása, csökken a térfogata (Boyle–Mariotte-törvény). A bűvár átlagsűrűsége nő, nagyobb lesz a víz sűrűségénél, lefelé mozdul el. A külső nyomás megszűnése után a bűvár felemelkedik.





Kérdések és feladatok

1 Kompresszor 100 m^3 normál nyomású levegőt (100 kPa) 8 m^3 -es tartályba sűrít. Mekkora a nyomás a tartályban, ha a hőmérsékletet állandónak tekintjük?



2 Orvosi fecskendő dugattyúját a 20 cm^3 -es jelhez állítottuk. A végét gumidugóval lezárjuk. A dugattyút lassú lenyomásával a térfogatot 5 cm^3 -re nyomjuk össze. A kezdeti nyomást vegyük 100 kPa -nak. Ábrázoljuk a folyamatot nyomás-térfogat grafikonon, ha a hőmérséklete nem változik!

3 Nyomásmérővel ellátott autópumpában 500 cm^3 levegő van. Pumpálásakor a szelep 180 kPa nyomásnál nyit. Mekkora ebben az esetben a pumpában levő levegő térfogata? (A hőmérséklet legyen állandó, a kezdeti nyomás 100 kPa .)



4 Orvosi fecskendőt gumicsővel nyomásmérőhöz csatlakoztatunk. A dugattyú kihúzásával a levegő térfogatát 20%-kal megnöveljük. Hány százalékkal csökken vagy nő a nyomása, ha a hőmérséklet állandó?

5 Egyik végén zárt, 35 cm^2 keresztmetszetű hengerben könnyen mozgó dugattyút 40 cm hosszú, 100 kPa nyomású levegőoszlopot zár be. A dugattyúra ható 120 N erővel lassan, állandó hőmérsékleten összenyomjuk a levegőt. Milyen hosszú lesz a levegőoszlop?

6 A tó alján 8 m mélységben dolgozik egy búvár. Az általa kibocsátott légbuborék térfogata hányszorosára nő, amikor felérkezik a víz felszínére? A külső légnyomás 100 kPa , a víz sűrűsége $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, hőmérsékletét tekintjük állandónak!

7 Az $1,5 \text{ dm}^2$ keresztmetszetű hengert könnyen mozgó, kezdetben rögzített dugattyút két részre osztja. A 2 dm^3 térfogatú részben 300 kPa nyomású, a 3 dm^3 részben 200 kPa nyomású, azonos minőségű és hőmérsékletű gáz van. Ha a dugattyú rögzítését megszüntetjük, akkor mennyit mozdul el? A hőmérséklet közben állandó maradt.



45. lecke

A gázok állapotváltozása állandó nyomáson



Miért horpad be a félig megtöltött műanyag palack, ha betesszük a hűtőszekrénybe?



Télen, ha fűtjük a tanterem levegőjét, azt tapasztaljuk, hogy a levegő egy része eltávozik a nyílászárókon (ablak, ajtó) keresztül. A teremben lévő levegő nyomása nem változik. *Mivel magyarázható ez a jelenség?*

Izobár állapotváltozás

Most a gázok hőtágulását fogjuk vizsgálni. Az állapothatározók közül a nyomást állandónak vesszük.

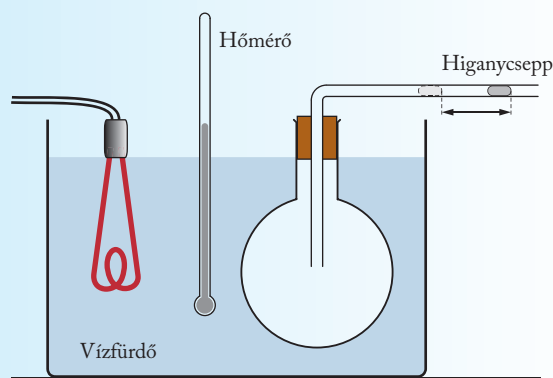
Az olyan állapotváltozást, amelynek során adott tömegű gáz nyomása állandó, izobár állapotváltozásnak nevezzük.

KÍSÉRLET

A gázok állandó nyomáson történő állapotváltozásának vizsgálatához végezzük el a következő kísérletet! Változtassuk meg vízfürdő segítségével a lombikba zárt levegő hőmérsékletét! A víz melegítését merülőforralóval végezzük.

A hőmérséklet értéke egyszerűen leolvasható a hőmérőről. A térfogat változása a higanycsepp eltolódásának (Δl) mérésével és a cső keresztmetszetének (A) ismeretében meghatározható:

$$\Delta V = A \cdot \Delta l$$



Kísérleti összeállítás az izobár állapotváltozás vizsgálatához

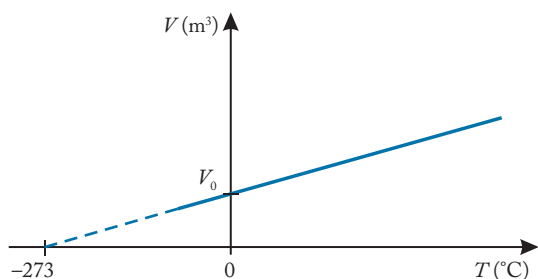


Miért tekinthetjük állandónak a lombikba zárt levegő nyomását?



TAPASZTALAT

Ha a kísérlet során mért értékeket V - T grafikonon ábrázoljuk, akkor olyan egyenest kapunk, amely -273 °C -nál metszi a hőmérséklet tengelyét. Ezzel a hőmérsékletértékkel már találkoztunk a 41. lecke-ben. Azt a pontot, ahol az egyenes metszi a hőmérséklettengelyt, a hőmérséklet abszolút nullpontjának nevezzük. Az olyan skálát, amelynek ez az érték a nullpontja, *Kelvin-féle gázhőmérsékleti skálának* is nevezzük.



Az izobár állapotváltozás V-T diagramja. A hőmérséklet °C-ban van ábrázolva

Jelöljük V_0 -val a gáz térfogatát 0 °C -on!

Az egyenes V_0 -nál metszi a V tengelyt, meredeksége:

$$\frac{V_0}{273\text{ °C}}$$

A függvényt leíró összefüggés:

$$V = V_0 + \frac{V_0}{273\text{ °C}} \cdot T$$

Hasonlítsuk össze képletünket a folyadékok hőtágulásánál kapott összefüggéssel:

$$V = V_0 + \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

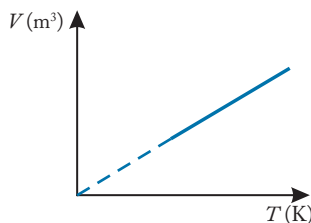
KÖVETKEZTETÉS

A β értéke $\frac{1}{273\text{ °C}}$ -nak adódik, azaz anyagi minőségtől függetlenül a gázok térfogati hőtágulási együtthatója ugyanakkora. A valódi gázok jól megközelítik ezt az értéket. $\left(\frac{1}{273\text{ °C}} = 3,663 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{°C}}\right)$

| Az anyag neve | $\beta \left(10^{-3} \frac{1}{\text{°C}}\right)$ |
|---------------|--|
| hélium | 3,66 |
| hidrogén | 3,662 |
| levegő | 3,675 |
| neon | 3,661 |
| oxigén | 3,674 |

Valódi gázok térfogati hőtágulási együtthatói

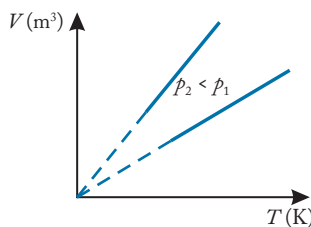
Ábrázoljuk a vízszintes tengelyen a hőmérsékletet K-ben a °C helyett! Ekkor az egyenes a két tengely metszéspontján halad át. A grafikon egyenes arányosságot mutat a térfogat változása és a kelvinben mért hőmérséklet között.



Az izobár állapotváltozás V-T diagramja. A hőmérséklet K-ben van ábrázolva

A grafikonon a szaggatott vonal azt jelzi, hogy 0 K közelében nem érvényes az összefüggés, mert a gáz halmazállapota folyékony lesz.

Ha a kísérlet közben kisebb, de állandó nyomást hozunk létre, akkor a $\frac{V}{T}$ állandó értéke nagyobb lesz. A grafikonon az egyenes meredeksége is nagyobb lesz.



Az izobár állapotváltozások V-T grafikonja kétféle nyomásérték esetén

A pontos törvényszerűséget Joseph *Gay-Lussac* francia tudós fogalmazta meg.

Gay-Lussac első törvénye: Az állandó tömegű és nyomású gáz térfogata és kelvinben mért hőmérséklete között egyenes arányosság van.



Több egymás utáni egyensúlyi állapotra:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots = \frac{V_n}{T_n}$$

A feladatok megoldásakor általában két különböző állapotra szükséges felírni az egyenlőséget:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

KIDOLGOZOTT FELADAT

A meteorológiai léggömbben lévő levegő térfogata állandó nyomáson 15%-kal megnőtt. Mekkora lett a hőmérséklete, ha kezdetben 22 °C volt?

MEGOLDÁS

Adatok:

$$V_2 = 1,15 \cdot V_1$$

$$T_1 = 22 \text{ °C} = 295 \text{ K}$$

$$T_2 = ?$$



Izobár állapotváltozás.

Alkalmazzuk a $\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1}$ összefüggést! Fejezzük ki a T_2 -t:

$$T_2 = \frac{V_2 \cdot T_1}{V_1} = \frac{1,15 \cdot V_1 \cdot 295 \text{ K}}{V_1}$$

Egyszerűsítsünk V_1 -gyel:

$$T_2 = 1,15 \cdot 295 \text{ K} = 339,25 \text{ K} = 66,25 \text{ °C}$$

A léggömbben a levegő hőmérséklete 66,25 °C lett.

Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850)

Olvasmány



Francia fizikus és kémikus. Párizsban az École Polytechnique hallgatója volt. 1809-től a kémia professzora az École Polytechnique-on, a fizikáé a Sorbonne-on. Sokat kísérletezett gázokkal. Megállapította a gázok térfogata és hőmérséklete, valamint a nyomása és hőmérséklete közötti összefüggéseket.

Vizsgálta a *gázok kémiai reakcióit* is. Kiterjedt kémiai tevékenységének egyik fontos eredménye a *bór felfedezése* volt. Jean Baptiste Biot fizikussal 4000 m magasságig emelkedett léggömbön, és a Föld mágneses terét vizsgálták. Egyedül 7000 m magasságig is emelkedett. Megmérte a levegő nyomását és hőmérsékletét. Különböző magasságokban levegőmintákat vett elemzések céljából.

Gay-Lussac és Biot használta először tudományos célokra a léggömbutazást 1804-ben (XIX. század végi illusztráció)



A léggömb

A léggömb vagy légballon *meleg levegővel* vagy a levegőnél kisebb sűrűségű gázzal töltött ballon. Eredetileg légi utazás céljaira találták fel. Manapság is használják a levegőben való felemelkedésre, közlekedésre mint sporteszközt. A műszerekkel felszerelt léggömböket meteorológiai megfigyelésekre alkalmazzák.

A forró levegővel töltött első léggömböt a *Montgolfier testvérek* készítették 1783-ban. Utasai egy juh, egy kakas és egy kacska voltak. A ballon 15 percig volt a levegőben, majd lezuhant. A három megrémült állat túlélte a kísérletet. Egy hónappal később már embert vitt a léggömb gondolója. A repülés sikeres volt, 20 percig tartott.



Az első, embert is szállító léggömb felemelkedése (Ismeretlen festő, 1783)

Kérdések és feladatok

1 A meteorológiai léggömbben lévő levegő térfogata 40 dm^3 . A raktárban, ahol tárolták, a hőmérséklet $24 \text{ }^\circ\text{C}$. Délben kivitték az udvarra, ahol a hőmérséklet $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Mennyivel nőtt a térfogata, ha a léggömbben lévő levegő nyomása nem változott?

2 Egy léggömbben lévő levegő hőmérséklete kelvinben mérve, állandó nyomáson, 40%-kal csökkent. Mekkora lett a térfogata, ha kezdetben $3,2 \text{ dm}^3$ volt?

3 A félig megtöltött műanyag palack a hűtőszekrényben behorpad. A jelenség magyarázata, hogy a palackban lévő levegő lehűl, a nyomása csökken. Mivel a palack nem szilárd anyagból készült, ezért a külső, nagyobb nyomás behorpasztja. A $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -os raktárban 25 literes, műanyagból készült palackokat tároltak. Télen, szállításkor azt tapasztalták, hogy behorpadtak, és

térfogatuk 10%-kal csökkent. Mekkora volt a hőmérséklet szállítás közben?

4 Állandó nyomáson a normálállapotú gázt $150 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra melegítjük. Ábrázoljuk a folyamatot térfogat-hőmérséklet grafikonon!

5 Vízszintes, egyik végén zárt hengerben könnyen mozgó dugattyú levegőt zár be. Ha hűtjük, azt tapasztaljuk, hogy a kelvinben mért hőmérséklete 0,82-szorosára változik. A térfogata 0,46 literrel csökken. Mekkora volt a levegő térfogata a hűtés előtt?

6 A 16 g tömegű normálállapotú hélium hőmérsékletét állandó nyomáson $80 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra növeljük.

- Mekkora lesz a térfogata?
- Mennyivel változik meg a sűrűsége?
- Ábrázoljuk a folyamatot térfogat-hőmérséklet grafikonon!
- Ábrázoljuk a folyamatot nyomás-térfogat grafikonon!



46. lecke

A gázok állapotváltása állandó térfogaton



Miért nehéz lecsavarni a lekvárosüveg tetejét, ha forrón zárták le?

A gázipalackokat óvni kell a nagymértékű felmelegedéstől. A különféle szórópalackokon jelzéssel, sőt szöveggel is figyelmeztetnek arra, hogy még üres állapotban sem dobhatók tűzbe. *Miért nem szabad a tűzbe dobni, illetve 50 °C feletti hőmérsékleten tárolni a hajtógázzal működő palackokat?*

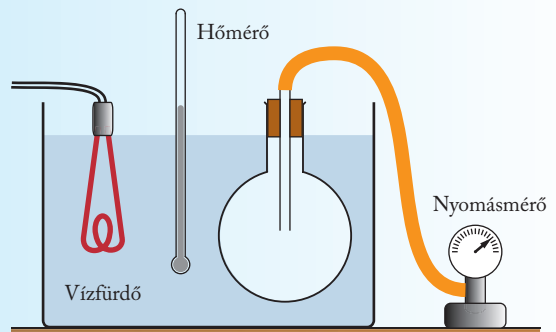
Izochor állapotváltozás

Ebben a leckében azt vizsgáljuk, hogyan változik a gázok nyomása, ha állandó a térfogatuk. A négy állapothatározó közül a tömeget és a térfogatot nem változtatjuk.

Az olyan állapotváltozást, amelynek során az adott tömegű gáz térfogata állandó, izochor állapotváltozásnak nevezzük.

KÍSÉRLET

A gázok állandó térfogaton történő állapotváltozásának bemutatásához végezzük el a következő kísérletet! Változtassuk vízfürdő segítségével a lombikba zárt gáz hőmérsékletét! A víz melegítését merülőforralóval végezzük.



Kísérleti összeállítás az izochor állapotváltozás vizsgálatához

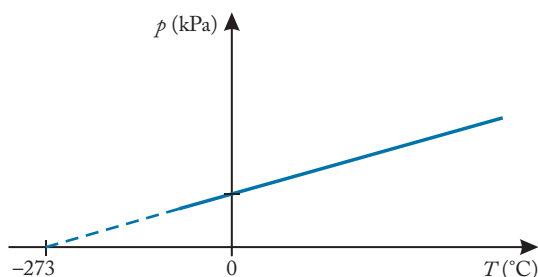
A hőmérőről leolvashatjuk a hőmérséklet változását. A nyomásmérővel könnyen mérhető a lombikba zárt levegő nyomása. A kísérlet során mért értékeket ábrázoljuk p - T grafikonon!





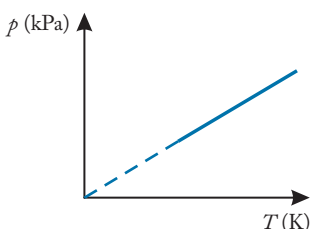
TAPASZTALAT

Az izobár állapotváltozáshoz hasonlóan olyan egyenest kapunk, amely -273 °C -nál metszi a hőmérséklet tengelyét.



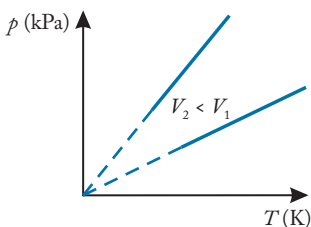
Az izochor állapotváltozás p - T diagramja.
A hőmérséklet $^{\circ}\text{C}$ -ban van ábrázolva

A hőmérséklet tengelyén kelvinben mérjük fel az értékeket, ekkor az egyenes a tengelyek metszéspontján halad át. A grafikonról leolvasható, hogy a nyomás változása és a kelvinben mért hőmérséklet változása között egyenes arányosság van.



Az izochor állapotváltozás p - T diagramja.
A hőmérséklet K -ben van ábrázolva

Ha a kísérletet egy kisebb térfogatú lombikkal végezzük, akkor a $\frac{p}{T}$ állandó értéke nagyobb lesz. Ezzel együtt a grafikonon az egyenes meredeksége is nagyobb lesz.



Az izochor állapotváltozás p - T diagramja kétféle térfogatérték esetén. A hőmérséklet K -ben van ábrázolva



Milyen fizikai jelentése van az egyenesek meredekségének?

KÖVETKEZTETÉS

Joseph *Gay-Lussac* francia tudós fogalmazta meg az izochor folyamatokat leíró törvényszerűséget.

Gay-Lussac második törvénye:

Az állandó tömegű és térfogatú gáz nyomása és kelvinben mért hőmérséklete között egyenes arányosság van.

Több egymás utáni egyensúlyi állapotra:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \dots = \frac{p_n}{T_n}$$

A feladatok megoldásakor általában két különböző állapotra szokás felírni az arányosságokat:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Gay-Lussac II. törvényét másképpen is megfogalmazhatjuk: állandó tömegű és térfogatú gáz nyomásának változása (Δp) egyenesen arányos a 0 °C -on mért nyomással (p_0) és a hőmérsékletének változásával (ΔT).

$$\Delta p = \beta \cdot p_0 \cdot \Delta T$$

A β értéke $\frac{1}{273\text{ °C}}$, megegyezik az állandó nyomáson végzett mérések eredményével.

Ha tűzbe dobjuk a hajtógázzal működő palackokat, a nagy nyomás hatására felrobbannak, és súlyos sérüléseket okozhatnak. **VIGYÁZAT!** Az üres palackban is van gáz. A magas hőmérséklet hatására kialakult nagy nyomás szintén robbanást okoz!





KIDOLGOZOTT FELADATOK

1. Gyakran bosszankodunk azon, hogy a befőttesüveget lezáró fémtetőt nehéz lecsavarni. Végezzünk számítást, hogy mekkora erő nyomja a fedelet! A tartósítás 90 °C-on történt. A tető kör alakú, átmérője 64 mm, a levegő nyomása 102 kPa. A kinyitáskor a befőttesüveg hőmérséklete 22 °C.

MEGOLDÁS

A befőtt felszíne és a tető közötti térfogat állandó, így az állapotváltozás izochor. (Tartósításkor a befőtt felett lévő levegő nyomása megegyezik a légnyomással.)

Adatok:

$$p_1 = 102 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 90 \text{ °C} = 363 \text{ K}, T_2 = 22 \text{ °C} = 295 \text{ K}$$

$$r = 32 \text{ mm} = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$F = ?, \quad p_2 = ?$$

Számítsuk ki a levegő nyomását, ha lehűlt a befőtt!

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_1}{T_1}$$

$$p_2 = T_2 \cdot \frac{p_1}{T_1} = 295 \text{ K} \cdot \frac{102 \text{ kPa}}{363 \text{ K}}$$

$$p_2 = 82,89 \text{ kPa}$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 19,11 \text{ kPa}$$

A nyomóerő a nyomáskülönbség miatt lép fel.

$$F = \Delta p \cdot A$$

$$A = r^2 \cdot \pi = (3,2 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 \cdot \pi = 3,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

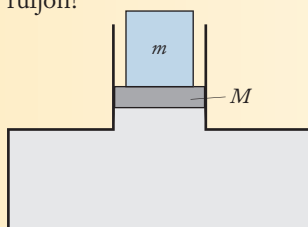
$$F = 19,11 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 3,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Egyszerűsítés után:

$$F = 19,11 \text{ N} \cdot 3,22 = 61,53 \text{ N}$$

A fedelet 61,53 N erő nyomja.

2. A gáztartály tetejére dugattyúval ellátott hengert szereltek. A henger keresztmetszetének területe 60 cm², a dugattyú tömege 200 g. A külső nyomás 100 kPa. Mekkora a tartályban lévő gáz nyomása? A gáz hőmérsékletét 20 °C-ról 40 °C-ra növeljük. Mekkora tömegű testet kell a dugattyúra helyeznünk, hogy a melegítés után eredeti helyzetébe kerüljön?



A tartály hengerrel és dugattyúval

MEGOLDÁS

Adatok:

$$A = 60 \text{ cm}^2, M = 200 \text{ g}, p_k = 100 \text{ kPa},$$

$$T_1 = 20 \text{ °C} = 293 \text{ K}, T_2 = 40 \text{ °C} = 313 \text{ K}$$

$$p_1 = ?, m = ?$$

$V =$ állandó, **izochor állapotváltozás.**

Számítsuk ki a dugattyú és a külső nyomás összegét, ez a gáz kezdeti nyomása:

$$p_1 = p_k + \frac{M \cdot g}{A} = 100 \text{ kPa} + \frac{2 \text{ N}}{6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} = 100,33 \text{ kPa}$$

Alkalmazzuk a $\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_1}{T_1}$ összefüggést, fejezzük ki

a p_2 -t, és helyettesítsük be az adatokat!

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{100,33 \text{ kPa} \cdot 313 \text{ K}}{293 \text{ K}} = 107,18 \text{ kPa}$$

A nyomáskülönbség: $\Delta p = p_2 - p_1 = 6,85 \text{ kPa}$.

A nyomáskülönbséget a dugattyúra helyezett m tömegű test által kifejtett nyomás egyenlíti ki:

$$\Delta p = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A}$$

Fejezzük ki a tömeget! Helyettesítsük be az ismert adatokat, végezzük el a számítást!

$$m = \frac{A \cdot \Delta p}{g} = \frac{6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 6,85 \cdot 10^3 \text{ Pa}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 4,11 \text{ kg}$$

4,11 kg tömegű testet kell helyeznünk a dugattyúra ahhoz, hogy a dugattyú melegítés után az eredeti helyzetébe kerüljön.



Kérdések és feladatok

1 Egy szagtalanító anyagot tartalmazó, hajtógázzal működő palackot reggel $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on kint hagyunk a kerti asztalon. Napközben a tűző napra került, a hőmérséklete $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ lett. Mennyi lett a palackban a nyomás, ha kezdetben 100 kPa volt?

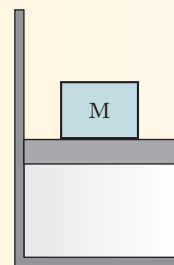
2 Zárt gázipalackot télen a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os lakásból kiviszünk a szabadba. A nyomásmérő azt mutatja, hogy a nyomás $2,4 \cdot 10^5\text{ Pa}$ -ról $2,08 \cdot 10^5\text{ Pa}$ -ra csökkent. Mennyi volt a külső hőmérséklet?

3 Gázipalackot biztonsági szeleppel szereltek fel. $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a túlnyomás 160 kPa . Mekkora nyomásértékre tervezték a biztonsági szelepet, ha az $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on nyit? (A levegő nyomása 100 kPa .)

4 A munkások azt tapasztalták, hogy a jól szigetelt, nyomásmérővel felszerelt gáztartályban a nyomás 30%-kal csökkent. Mekkora lett a hőmérséklete, ha kezdetben $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt?

5 Egy tartályban lévő normálállapotú gázt $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra melegítünk. Ábrázoljuk a folyamatot nyomás-hőmérséklet grafikonon!

6 Egy gáztartályt dugattyúval ellátott henger zár le. A henger keresztmetszetének területe 40 cm^2 , a dugattyú tömege 150 g . A külső nyomás 100 kPa . Mekkora a tartályban lévő gáz nyomása? Hány $^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletre melegíthetjük a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű gázt, ha a dugattyúra helyezett 4 kg tömegű test megakadályozza az elmozdulást?



47. lecke

Egyesített gáztörvény, az ideális gáz állapotegyenlete



Milyen állapotjelzői változnak meg a magasba emelkedő meteorológiai léggömbben lévő gáznak?

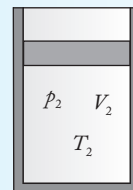
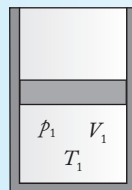
A munkahelyen használt gázpalackok hőmérséklete üzemi balesetekkor nagymértékben megnőhet. *Hogyan lehet megakadályozni, hogy a nagy nyomás következtében ne legyen robbanás a magas hőmérséklet miatt?*

Egyesített gáztörvény

Eddig olyan folyamatokat vizsgáltunk, amikor a tömeg mellett a hőmérséklet, a térfogat és a nyomás közül valamelyik állapotjelzőt állandónak tekintettük. Most azt vizsgáljuk, hogy milyen összefüggést lehet megállapítani, ha állandó tömeg mellett a másik három állapotjelző (p , V , T) egyszerre változik.

GONDOLATI KÍSÉRLET

Legyenek a mozgatható dugattyúval elzárt hengerben levő gáz kezdeti jellemzői: p_1 , V_1 , T_1 , a gáz tömege legyen állandó! Melegítsük a gázt! Melegítés hatására nő a gáz nyomása, változik a térfogata is, hiszen a dugattyú elmozdulhat. A végállapotban a gáz állapotjelzői: p_2 , V_2 , T_2 . A folyamat közben mind a három állapotjelző megváltozott.



A folyamat közben mind a három állapotjelző megváltozott

A Boyle–Mariotte-törvényből és Gay-Lussac II. törvényéből levezetett összefüggés azokra az állapotváltozásokra érvényes, amelyek során a nyomás, a térfogat és a hőmérséklet is változhat. Ezt az összefüggést **egyesített gáztörvénynek** nevezzük.

Az egyesített gáztörvény:

Állandó tömegű gáz nyomásának és térfogatának szorzata egyenesen arányos a kelvinben mért hőmérsékletével.

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{állandó}$$





Több egymás utáni egyensúlyi állapotra:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \dots = \frac{p_n \cdot V_n}{T_n}$$

Ha a gáz tömege is változik a folyamat során, akkor az egyesített gáztörvény:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{m_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{m_2 \cdot T_2}$$

$$\frac{p \cdot V}{m \cdot T} = \text{állandó}$$

Az összefüggést tovább alakíthatjuk, ha a számlálót és a nevezőt is elosztjuk a V térfogattal:

$$\frac{p}{\frac{m}{V} \cdot T} = \text{állandó}$$

A sűrűséget bevezetve $\left(\rho = \frac{m}{V}\right)$, az egyesített gáztörvény újabb alakját kaphatjuk:

$$\frac{p}{\rho \cdot T} = \text{állandó, illetve}$$

$$\frac{p_1}{\rho_1 \cdot T_1} = \frac{p_2}{\rho_2 \cdot T_2}$$

Általános gázállandó

A feladatok megoldásakor általában két különböző állapotra szokás felírni az arányosságokat:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{állandó}$$

Hogyan lehetne meghatározni az állandó értékét? Célszerű feltételezni, hogy a vizsgált gáz mennyisége 1 mol, és normálállapotban van:

$$p_0 = 101,3 \text{ kPa}, \quad T_0 = 273 \text{ K}, \quad V_0 = 22,4 \text{ dm}^3$$

$$\begin{aligned} \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} &= \frac{101,3 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{273 \text{ K}} = \\ &= 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = R \end{aligned}$$

A mértékegységben a *mol* azt jelenti, hogy 1 mol gázra számítottuk ki az állandó értékét.

A $8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ -t **általános (vagy egyetemes) gázállandónak nevezzük**, és Henri Victor *Regnault* (1810–1878) francia tudós tiszteletére **R** -rel jelöljük.

Az ideális gáz állapotegyenlete

Ha a gáz tömege nem 1 mol, akkor az állandó értéke

$$n \cdot R, \text{ hiszen } \frac{p \cdot V}{T} = n \cdot \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0}.$$

Az n a már megismert mólszámot jelöli.

A $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ összefüggést az ideális gázok állapotegyenletének nevezzük.

Mivel $n = \frac{m}{M}$, ezért:

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

Az utóbbi összefüggés tartalmazza a gáz tömegét is. Ezt az egyenletet átalakítva:

$$\frac{p \cdot V}{m \cdot T} = \frac{R}{M} = \text{állandó egy adott minőségű gázra.}$$

A lecke elején feltett kérdésre az állapotegyenlet segítségével adhatjuk meg a választ.

A $p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$ egyenletben az M és R mennyiségek állandók. Az egyenlet bal oldala állandó a bevezetőben szereplő feladat szerint. A jobb oldal akkor marad változatlan a hőmérséklet növeledésekor, ha a gáz tömegét csökkentjük. Ezt könnyen megtehetjük a palackon lévő csap megnyitásával vagy biztonsági szeleppel.



KIDOLGOZOTT FELADATOK

1. Péter reggel az iskolába menet kerékpárjának tömlőjében a nyomást 200 kPa-nak mérte, a hőmérséklet 20 °C-ot mutatott. Hazafelé induláskor megnézte a hőmérőt, ami 40 °C-ot jelzett. A nyomás is megnőtt. Hányadrészét engedte ki Péter a tömlőben lévő levegőnek, ha a nyomás újra 200 kPa lett? Este a levegő lehűlt, a hőmérséklet 20 °C lett. Mekkora mértékben mért Péter a tömlőben lévő levegő nyomását?



MEGOLDÁS

Adatok:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_2 = 200 \text{ kPa} \\ T_1 &= 20 \text{ °C} = 293 \text{ K} \\ T_2 &= 40 \text{ °C} = 313 \text{ K} \end{aligned}$$

a) $\frac{m_2}{m_1} = ?$, b) $p_3 = ?$

a) Az állapotegyenletet írjuk fel az első és a második egyensúlyi állapotra!

$$1. \quad p_1 \cdot V_1 = \frac{m_1}{M} \cdot R \cdot T_1$$

$$2. \quad p_2 \cdot V_2 = \frac{m_2}{M} \cdot R \cdot T_2$$

Péter a kerékpártömlő térfogatát változatlanak tekintette: $V_1 = V_2$

A két egyenlet bal oldala egyenlő, így a jobb oldala is.

$$\frac{m_2}{M} \cdot R \cdot T_2 = \frac{m_1}{M} \cdot R \cdot T_1$$

Az egyszerűsítés után az arány kiszámítható.

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{293 \text{ K}}{313 \text{ K}} = 0,94$$

$$m_2 = 0,94 \cdot m_1$$

A levegő 6%-át engedte ki Péter.

b) Írjuk fel az egyenletet az első és a harmadik állapotra! Péter ismét nem vette figyelembe a térfogatváltozást.

$$1. \quad p_1 \cdot V_1 = \frac{m_1}{M} \cdot R \cdot T_1, \quad T_1 = T_3, \quad m_2 = m_3$$

$$3. \quad p_3 \cdot V_3 = \frac{m_3}{M} \cdot R \cdot T_3$$

Osszuk el a 3. egyenletet az 1.-vel!

$$(V_1 = V_3, \quad T_1 = T_3 \text{ és } m_2 = m_3)$$

$$\frac{p_3}{p_1} = \frac{m_3}{m_1} = \frac{m_2}{m_1} = 0,94$$

$$p_3 = 188 \text{ kPa}$$

188 kPa-nak mérte Péter este a tömlőben lévő levegő nyomását.

2. Állandó tömegű ideális gáz térfogata 25%-kal nőtt, a kelvinben mért hőmérséklete 12%-kal csökkent. Mekkora lett a nyomása, ha kezdetben 120 kPa volt?

MEGOLDÁS

Adatok:

$$\begin{aligned} V_2 &= 1,25 \cdot V_1 \\ T_2 &= 0,88 \cdot T_1 \\ p_1 &= 120 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$p_2 = ?$$

Alkalmazzuk az egyesített gáztörvényt!

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$\text{Fejezzük ki a } p_2\text{-t: } p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{V_2 \cdot T_1}$$

Helyettesítsük be az ismert adatokat, végezzük el a számítást:

$$p_2 = \frac{120 \text{ kPa} \cdot V_1 \cdot 0,88 \cdot T_1}{T_1 \cdot 1,25 \cdot V_1} = 84,48 \text{ kPa}$$

Az ideális gáz nyomása 84,48 kPa lett.



3. A 40 l térfogatú tartályban $2,5 \cdot 10^5$ Pa nyomású, 27°C hőmérsékletű hidrogéngáz van.

a) Hány mól gázt töltöttek a tartályba?

b) Mekkora lesz a hőmérséklete, ha állandó nyomáson kiengedik a gáz tömegének 20%-át?

MEGOLDÁS

Adatok:

$$V = 40 \text{ l} = 40 \text{ dm}^3 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$p = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}, R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$T_1 = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$$

$$M_{\text{H}_2} = 2 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$m_2 = 0,8 \cdot m_1$$

a) $n = ?$, b) $T_2 = ?$

a) Alkalmazzuk az állapotegyenletet:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\text{Fejezzük ki a mólok számát: } n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = 4 \text{ mol}$$

4 mol gázt töltöttek a tartályba.

b) $p =$ állandó, $V =$ állandó

Alkalmazzuk az egyesített gáztörvény tömeget is tartalmazó alakját!

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{m_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{m_2 \cdot T_2}$$

Mivel a nyomás és térfogat állandó, ezért egyszerűsítünk velük:

$$m_2 \cdot T_2 = m_1 \cdot T_1 \text{ és } 0,8 \cdot m_1 \cdot T_2 = m_1 \cdot T_1$$

m_1 -gyel egyszerűsítünk, kifejezzük T_2 -t:

$$T_2 = \frac{T_1}{0,8} = 375 \text{ K} = 102^\circ\text{C}$$

102°C lesz a hőmérséklete, ha állandó nyomáson kiengedik a gáz tömegének 20%-át.

1 Egy tartályról leesett a térfogatot jelző címke. A fizikaszakkör tanulói azt a feladatot kapták, hogy határozzák meg a térfogatát. Tudták, hogy 1,4 kg nitrogén van benne, a hőmérsékletét 27°C -nak, a nyomását 3 MPa-nak mérték. Mekkora a tartály térfogata?

2 Állandó tömegű ideális gáz térfogata 15%-kal csökken, nyomása 20%-kal nő. Mekkora lesz a hőmérséklete, ha eredetileg 16°C volt?

3 A motorkerékpár tömlőjében a reggel 12°C -on mért nyomás 160 kPa. Tulajdonosa a forró aszfaltúton hagyta, ahol a hőmérséklet 48°C . A gumitömlőben mért nyomás 170 kPa. Hány százalékkal nőtt meg a térfogata?

4 A 30 l-es oxigénpalackon lévő nyomásmérő elromlott. A helyiség hőmérséklete 20°C , az oxigén tömege 0,4 kg. Számítsuk ki a nyomását!

Kérdések és feladatok

5 Meteorológiai vizsgálatokhoz használt rugalmas léggömböt héliummal töltöttek meg. Nagy magasságban lévő felhőben haladva, ahol a hőmérséklet -30°C , térfogata 6 m^3 , a hélium nyomása $1,4 \cdot 10^4$ Pa. Mekkora a térfogata a Földre való visszatéréskor, ha a hőmérséklet 24°C , a nyomás pedig 10^5 Pa?

6 A gázgyárban az 50 dm^3 -es palackokba 10 kg gázt töltöttek, a gáz nyomása $1,54 \cdot 10^7$ Pa.
a) Mekkora hőmérsékleten történt a töltés?
b) A palackból 2 kg gázt elhasználtunk 22°C hőmérsékleten. Mekkora lesz a palackban az oxigén nyomása?



Az egyesített gáztörvény:

Állandó tömegű gáz nyomásának és térfogatának szorzata egyenesen arányos a kelvinben mért hőmérsékletével.

Az ideális gázok állapotegyenlete:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Az olyan állapotváltozást, mely során az adott tömegű gáz térfogata állandó, **izochor állapotváltozásnak** nevezzük.

Gay-Lussac második törvénye:

Az állandó tömegű és térfogatú gáz nyomása és kelvinben mért hőmérséklete között egyenes arányosság van.

$$\frac{p}{T} = \text{állandó}$$

A termikus kölcsönhatás közben átadott energiát, amely megváltoztatja az anyagok hőmérsékletét, halmazállapotát, **hőmennyiségnek** vagy röviden **hőnek** nevezzük.

Gay-Lussac első törvénye:

Az állandó tömegű és nyomású gáz térfogata és kelvinben mért hőmérséklete között egyenes arányosság van.

$$\frac{V}{T} = \text{állandó}$$



A **lineáris** (hosszanti) **hőtágulási együttható** megmutatja, hogy mennyivel változik meg a test hossza eredeti hosszához viszonyítva, ha 1 °C-kal változik a hőmérséklete.
 $\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$

A **térfogati** (köbös) **hőtágulási együttható** megmutatja, hogy mennyivel változik meg a szilárd test vagy a folyadék térfogata az eredeti térfogatához viszonyítva, ha 1 °C-kal változik a hőmérséklete.
 $\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T$

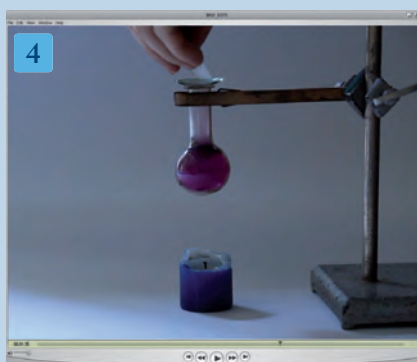
A gázok állapotát négy jól mérhető mennyiség egyértelműen meghatározza: a gáz nyomása, térfogata, hőmérséklete és tömege. Ezeket a fizikai mennyiségeket **állapotjelzőknek** vagy **állapothatározóknak** nevezzük.

Az olyan állapotváltozást, amelynek során az adott tömegű gáz hőmérséklete állandó, **izoterm állapotváltozásnak** nevezzük.

Boyle–Mariotte törvénye:
Az állandó hőmérsékletű és állandó tömegű gáz térfogata és nyomása között fordított arányosság van.
 $p \cdot V = \text{állandó}$



A jód szublimációja és lecsapódása ■ 77. oldal



Az előző fejezetben tapasztalati tényekre alapozva foglalmaztuk meg a hőtani alapjelenségek törvényeit. Ez a fenomenológiai módszer. A *termodinamika*, vagy más néven molekuláris hőelmélet az anyagot felépítő részecskék kölcsönhatását vizsgálja. Ezt korpuszkuláris módszereknek nevezzük. A gázok nyomását és hőmérsékletét az atomok és a molekulák mozgására vezeti vissza. Ebben a fejezetben megismerkedünk a hőtani főtételeivel és alkalmazásukkal. Tanulmányozzuk a hűtőgépek és a hőerőgépek működését. Mindkét fent említett módszert alkalmazva foglalkozunk a fagyás, az olvadás, a párolgás, a forrás és a lecsapódás jelenségével, valamint a hőterjedésével.



Termodinamika

48. lecke

Kinetikus gázelmélet, a gáz nyomása és hőmérséklete



Miért végeznek zezugos mozgást a porszemcsék?



Milyen távolságra lehetnek egymástól a gázok molekulái? Tegyük fel, hogy a normálállapotú oxigén molekulái egy-egy kis kocka közepén helyezkednek el. Milyen hosszú ezen kockák éle, azaz normálállapotban mekkora az oxigénmolekulák átlagos távolsága?

Brown-mozgás

A gáz a folyadékokhoz és a szilárd testekhez hasonlóan részecskékből (atomokból, molekulákból) áll. A gárrészecskék hő hatására rendezetlen mozgást, úgynevezett hőmozgást végeznek. Robert Brown (1773–1858) angol botanikus 1827-ben mikroszkóppal megfigyelte, hogy a virágporszemcséi a víz felületén szabálytalan, zezugos mozgást végeznek. Az ilyen mozgást szokás **Brown-mozgás**-nak nevezni. Hasonló jelenséget látunk akkor, ha mikroszkóppal por- vagy füstszemcsék mozgását tanulmányozzuk a levegőben.

A gárrészecskék hőmozgásával magyarázhatjuk a diffúzió jelenségét. Két különböző gáz molekulái addig keverednek egymással, amíg a molekulák eloszlása egyenletes nem lesz. Jól párologó illóolaj molekulái összekeverednek a levegő részecskéivel, ezért bizonyos idő múlva mindenütt érezzük az olaj illatát.



A gyertyaláng hatására gyorsabban párolog az illóolaj



Mólnyi mennyiség

Kémiai tanulmányainkból tudjuk, hogy a gázok atomokból, illetve molekulákból állnak. Mennyi részecske található egy adott tömegű gázban?

Amadeo *Avogadro* olasz tudós fogalmazta meg:

Minden ideális gáz egyenlő térfogatában – ugyanazon a hőmérsékleten és nyomáson – egyenlő számú molekula van. Ez Avogadro törvénye.

Az Avogadro-szám: minden anyag mólnyi mennyiségében azonos számú, azaz $6 \cdot 10^{23}$ darab részecske van.

Az Avogadro-állandó jele: N_A .

$$\text{Azaz } N_A = 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}.$$

A mólnyi mennyiség tömegének meghatározása: **egy mólnyi gáz annyi gramm, amennyi az adott gáz moláris tömege.** Például 1 mol oxigéngáz (O_2) 32 g, 1 mol héliumgáz (He) 4 g.

Kinetikus gázelmélet

Az előző fejezetben úgy foglalkoztunk a gázok állapotváltozásaival, hogy nem vizsgáltuk a gázrészecskék tulajdonságait.

A következő leckékben a gázok molekuláris elméletével ismerkedünk meg. A kinetikus gázelmélet a molekuláris elmélet egyszerűsített változata.

A kinetikus gázelmélet alapfeltevései:

- az ideális gáz rendkívül nagyszámú egyenlő tömegű részecskékből áll;
- a részecskék mérete nagyon kicsi a tartály méretéhez és a közöttük lévő távolsághoz képest;
- a részecskék állandó mozgásban vannak, egymással és a tartály falával tökéletesen rugalmasan ütköznek;
- az ütközések során a részecskék sebességének nagysága és iránya folytonosan változik, de az átlagsebességgel jellemezhető a mozgásuk;
- a tartály falai tökéletesen merevek;
- eltekintünk a részecskékre ható gravitációs erőtől és a részecskék közötti vonzóerőtől;
- a részecskék rendezetlenül, nagy sebességgel mozognak.

A gázok molekuláinak távolsága és mérete

Milyen távolságra vannak egymástól a részecskék? Az előzőek alapján könnyen megválaszolható a kérdés. 1 mol oxigénben, azaz 32 g-ban $6 \cdot 10^{23}$ db molekula van. Normálállapotban a térfogata 22,4 dm³. 1 dm³-ben $\frac{6 \cdot 10^{23}}{22,4} = 2,678 \cdot 10^{22}$ db molekula van. Helyezkedjenek el egyenesen ezek a molekulák egy 1 dm élű kockában! Ekkor minden él mentén $\sqrt[3]{2,678 \cdot 10^{22}} \approx 2,99 \cdot 10^7$ db molekula található. A közöttük lévő távolság:

$$\frac{1 \text{ dm}}{2,99 \cdot 10^7} = 3,34 \cdot 10^{-8} \text{ dm} = 3,34 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Mekkora az atomok, molekulák mérete? Pontosabb számítások alapján például a hidrogénatom átmérője $4,16 \cdot 10^{-10}$ m, a H_2 -molekula átmérője $4,9 \cdot 10^{-10}$ m. A többatomos molekulák mérete nagyobb, de a nagyságrend (10^{-10}) azonos.

Az ideális gáz nyomása

Az ideális gáz nyomását a kinetikus modellel könnyen értelmezhetjük. A gázrészecskék rendezetlen hőmozgást végezve rugalmasan ütköznek a tartály falával. Az ütközés következtében megváltozik a sebességük. A sebesség megváltozása a lendületük megváltozását eredményezi. Az idő függvényében történő lendületváltozás erőt hoz létre (Newton II. törvénye). Az ütközések száma nagyon nagy, hiszen a gázok sok-sok részecskét tartalmaznak (Avogadro-szám). Az erőhatásokat összegezve megkapjuk a tartály falára ható átlagos erőt. A tartály falának területét ismerve kiszámíthatjuk az átlagos nyomást. Egy hosszabb matematikai levezetés végeredményeként általánosan is megadható az átlagos nyomás képlete.

A v átlagsebességű részecskékből álló, m tömegű,

V térfogatú gáz nyomása: $p = \frac{m \cdot v^2}{3V}$, azaz átren-

dezve: $p \cdot V = \frac{1}{3} \cdot m \cdot v^2$

A hőmérséklet értelmezése

A kinetikus modell nyomásértelmezésének

$$\left(p \cdot V = \frac{1}{3} \cdot m \cdot v^2 \right) \text{ és a gázok állapotegyenletének}$$

$(p \cdot V = n \cdot R \cdot T)$ összehasonlításából adódik:

$$\frac{1}{3} m \cdot v^2 = n \cdot R \cdot T$$

Az egyenlet mindkét oldalát szorozzuk meg 3-mal, és osszuk el 2-vel:

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot T = E_{\text{mozg}}$$

A kapott összefüggés azt mutatja, hogy a mozgási energia egyenesen arányos a hőmérséklettel.

Egy részecske átlagos mozgási energiája:

$$E_{0\text{mozg}} = \frac{E_{\text{mozg}}}{N} = \frac{3n \cdot R \cdot T}{2N}$$

Vegyük figyelembe, hogy $N = n \cdot N_A$,

ahol $N_A = 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$ az Avogadro-állandó.

Míndezek alapján az egy részecskére jutó átlagos mozgási energia:

$$E_{0\text{mozg}} = \frac{E_{\text{mozg}}}{N} = \frac{3n \cdot R \cdot T}{2n \cdot N_A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{N_A} \cdot T$$

Az $\frac{R}{N_A}$ hányadost Ludwig Boltzmann osztrák fizikus tiszteletére **Boltzmann-állandó**nak nevezzük, és k -val jelöljük.

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

A k bevezetésével a fenti egyenlet alakja:

$$E_{0\text{mozg}} = \frac{3}{2} k \cdot T$$

Ez az összefüggés a hőmérséklet mikroszkopikus értelmezését jelenti a kinetikus gázelméletben. Fejezzük ki az egyenletből az abszolút hőmérsékletet:

$$T = \frac{2}{3k} \cdot E_{0\text{mozg}}$$

Az abszolút hőmérséklet egyenesen arányos a molekulák átlagos mozgási energiájával: $T \sim E_{0\text{mozg}}$

Van-e a gázcsepp mozgási energiájának alsó határa? Lehet-e a mozgási energiájuk nulla? Ez azt jelentené, hogy a sebességük nulla, vagyis nem mozognak. Azt a hőmérsékletet, amelyen ez következne, abszolút nullapontnak nevezzük, ez kerekítve $-273 \text{ }^\circ\text{C}$. Laboratóriumi körülmények között nagy pontossággal megközelíthető ez a hőmérséklet, de nem érhető el. Bonyolult kísérletekkel sikerült a 0 K hőmérsékletet 10^{-10} K nagyságrendben megközelíteni. A 45. leckében tanultuk, hogy $V = V_0 + \frac{V_0}{273 \text{ }^\circ\text{C}} \cdot T$. Az összefüggésbe a $T = -273 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot helyettesítve a gázok térfogata nullának adódik, ami a gyakorlatban lehetetlen. Így nem véletlen, hogy nem állítható elő ez a hőmérséklet.

Az olyan skálát, amelynek nullapontja az abszolút nullapont, Kelvin-féle vagy **abszolút hőmérsékleti skálának** nevezzük. A Kelvin-fokban (K) mért hőmérsékletet **abszolút hőmérsékletnek** hívjuk.

0 K hőmérséklet közelében az anyagok, például a hélium, nagyon különleges tulajdonságokat mutatnak. A hélium sűrűdés nélkül folyik a csőben, atomnyi vastagságú rétegben „felkúszik” az edény falán. Az ilyen jelenségeket szuperfolyékonyságnak nevezzük. Ezt a jelenséget az 1930-as évektől vizsgálják. A hélium szuperfolyékonyságának magyarázatát a modern fizika egyik fejezete, a kvantumfizika, ezen belül a kvantum-hidrodinamika adja meg.

Az állapotegyenlet Boltzmann-állandóval

Alakítsuk át az ideális gázok $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ állapotegyenletét!

Tudjuk, hogy $N = n \cdot N_A$, tehát $n = \frac{N}{N_A}$. Helyettesítsük be ezt n helyébe:

$$p \cdot V = \frac{N}{N_A} \cdot R \cdot T$$

Az $\frac{R}{N_A}$ hányados a Boltzmann-állandó, azaz:

$$p \cdot V = N \cdot k \cdot T$$

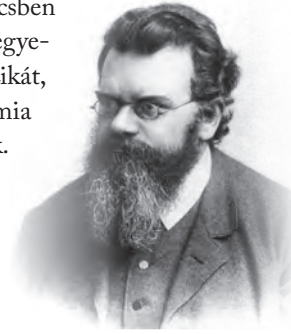


Ludwig Eduard Boltzmann (1844–1906)

Osztrák fizikus és matematikus, Bécsben született. Egyetemi tanulmányait Bécsben végezte, ott is doktorált 1866-ban a gázok kinetikus elméletéből. Több város egyetemén volt professzor: Bécs, Graz, München és Lipcse. Kísérleti és elméleti fizikát, matematikát tanított. 1885-ben az Osztrák Császári Tudományos Akadémia tagja lett. 1900-ban a Magyar Tudományos Akadémia kültagjának választották. Elméleti munkái közül a legérdekesebbek a kinetikai gázelmélettel, a termodinamikával, a mechanikával és az elektromágneses elmélettel foglalkozók. A *kinetikus gázelmélet* megalkotója. Elméleti megfontolásainál feltételezte az anyag atomos, molekuláris felépítését. Tudományos értekezéseken kívül fizikatankönyveket és népszerűsítő cikkeket is írt.

Bécs városa által adományozott díszsírhelyen temették el.

Olvasmány



Ludwig Eduard Boltzmann
(1902-ben készült fotó)

Amadeo Avogadro (1776–1865)

Olasz fizikus, Turinban (Torino) született. Tekintélyes piemonti nemesi család sarja. 1796-ban a jogtudományok doktorává avatták. Magántanulmányaiban a fizikával foglalkozott. 1809-től gimnáziumi fizikatanár, 1820-tól a turini egyetem matematika–fizika tanszékének oktatója volt. Sok fizikai és kémiai tartalmú tanulmányt írt. A róla elnevezett Avogadro-törvényt 1811-ben jelentette meg a *Juornal de Physique* folyóiratban. Az Avogadro-szám értékét először Josef Loschmidt (1821–1895) osztrák fizikus határozta meg 1865-ben.

A Tyndall-jelenség

A redőny résein a szobába bejövő fénycsíkokban a porszemek zezgugos mozgást végeznek. Ez a jelenség akkor is megfigyelhető, ha a szoba levegője teljesen nyugalomban van, nincs légáramlás.

A lebegő porszemcsék mozgására John Tyndall (1820–1893) ír fizikus adott először tudományos magyarázatot. A jelenséget tiszteletére Tyndall-jelenségnek nevezzük. Azzal magyarázta a zezgugos mozgást, hogy a porszemekbe beleütköznek a levegő molekulái, és mivel az ütközések nagyságát és irányát tekintve véletlenszerűek, így az erőhatások véletlenszerűen mozgatják a porszemeket. A Tyndall-jelenség azt bizonyítja, hogy a gázmolekulák rendezetlen mozgást végeznek.

A kolloid oldatok jellemző tulajdonsága, hogy a bennük lévő finoman elkevert részecskéken a fény szóródik. Ezt az érdekes, látványos jelenséget is Tyndall-jelenségnek nevezzük.

A Tyndall-jelenség a fák ágai között átszűrődő fénycsíkokban is megfigyelhető

KIDOLGOZOTT FELADAT

Anikó szerint a He-atomok átlagsebessége nagyobb, mint a levegőben mért hangsebesség. Gábor szerint ez nem lehetséges. Kinek van igaza?

a) Mekkora a He-atomok sebessége, ha a gáz normálállapotban van? Vegyünk 1 mol gázt!

b) Ha ezt a héliumgázt 3,2 dm átmérőjű gömb alakú tartályba tennénk, mekkora lenne a nyomása?

MEGOLDÁS

Adatok:

$$a) V = 22,4 \text{ dm}^3; M_{\text{He}} = 4 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$m = n \cdot M = 4 \text{ g} \text{ az } n = \frac{m}{M} \text{ összefüggésből}$$

$p = 101,3 \text{ kPa}$ a hélium nyomása normálállapotban

$$b) d = 3,2 \text{ dm}$$

$$a) v = ?, b) p_1 = ?$$

a) Fejezzük ki a sebességet a $p \cdot V = \frac{1}{3} \cdot m \cdot v^2$ egyenletből! Helyettesítsük be az ismert mennyiségeket a

$$v = \sqrt{\frac{3p \cdot V}{m}} \text{ összefüggésbe:}$$

$$v = \sqrt{\frac{3 \cdot 101,3 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{4 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}} = 1304,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A hang sebességét $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ -nak tekintve, a hélium-részecskék sebessége ezen értéknek majdnem négyszerese. Tehát Anikónak volt igaza.

b) Számítsuk ki a tartály térfogatát!

$$V = \frac{4 \cdot r^3 \cdot \pi}{3} = \frac{4 \cdot (1,6 \cdot 10^{-1} \text{ m})^3 \cdot \pi}{3} = 17,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Helyettesítsük be az ismert mennyiségeket

a $p = \frac{m \cdot v^2}{3 \cdot V}$ egyenletbe, és számítsuk ki a nyomást!

$$p_1 = \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \left(1304,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{3 \cdot 17,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 132,2 \text{ kPa}$$

A hélium nyomása 132,2 kPa lenne.

1 A kémiaszertárban azt hitték, hogy az egyik gázpalack teljesen kiürült. Pontos mérések után kiderült, hogy még 6 g héliumot tartalmaz.

a) Mennyi a gáz anyagmennyisége?

b) Hány atom van a palackban?

2 A fizikasakkörön a tanulók kiszámították, hogy egy oxigéntartályban $3,8 \cdot 10^{26}$ db molekula van. Mekkora a gáz tömege?

3 Az Avogadro-szám ismerete érdekes feladatok megoldását teszi lehetővé. Hogyan lehet kiszámítani a héliumatom tömegét? (Vegyünk 1 mol héliumot!)

4 A hegesztőműhelyben használt 15 literes gázpalackban 8 kg gázt tárolnak. A palackra szerelt nyomásmérő 1,8 MPa nyomást mutat.

a) Mekkora a részecskék átlagos sebessége?

b) Hány darab részecske van a palackban, ha a hőmérséklet $18 \text{ }^\circ\text{C}$?

Kérdések és feladatok

5 Élelmiszerek tartósításánál gyakran alkalmaznak a vákuumcsomagolást. A darált kávé, felvágott, tökehús csomagolásakor a dozból vagy zacskóból kiszívják a levegő nagy részét. Az ételek, élelmiszerek eltarthatóságának idejét ugyanis nagyban csökkenti az oxigén. Hús csomagolásakor a 100 kPa nyomást a csomagológép 10 kPa-ra csökkentette a levegő kiszívásával. A tasak térfogata 20%-kal csökkent. A levegőmolekulák száma hány százalékkal csökkent, ha csomagolás közben a húst lehűtötték $15 \text{ }^\circ\text{C}$ -ról $4 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra?



49. lecke

A gázok belső energiája. A hőtan I. főtétele



Mi hozza mozgásba a légpuska lövedékét?

A mindennapi életben sok helyen használjuk a gázokat munkavégzésre. A légkalapácsot sűrített levegő működteti. Nagyon sok kéziszerszám is sűrített levegővel használható. *Miért tud munkát végezni a sűrített levegő? Miből származik az energiája?*

Az anyagok belső energiája

A belső égésű motorokban felrobbanó gáz nagy nyomása dugattyút mozgat. A forró gáz tágulásakor munkavégzés történik. A légpuskába helyezett löszert is sűrített levegő lövi ki. Az elsütőbillentyű meghúzásakor egy összenyomott rugóval mozgatott dugattyú összenyomja a hengerben lévő levegőt, a megnövekedett nyomás kirepíti a lövedéket.

A felsorolt példák azt mutatják, ha az anyagok egy bizonyos állapotba kerülnek, például összepréselődnek vagy berobbannak, akkor képesek munkát végezni. Ebből az következik, hogy az anyagoknak van energiájuk, mely a belső szerkezetükkel, belső tulajdonságaikkal kapcsolatos. Ezt az energiát az anyagok addig tárolják magukban, amíg a szerkezeti változás be nem következik.

Egy anyagban tárolt energiát, mely az anyag belső szerkezetével kapcsolatos, az adott anyag belső energiájának nevezzük.

Jele: E_b . Mértékegysége: 1 J.

A munkavégzés során a sűrített levegő sűrűsége, a berobbanó benzín anyagának szerkezete megváltozott, ezáltal megváltozott a belső energiájuk is. A továbbiakban csak a gázokat vizsgáljuk, de hangsúlyozzuk, hogy következtetéseink, a leírt törvények minden anyagra érvényesek.

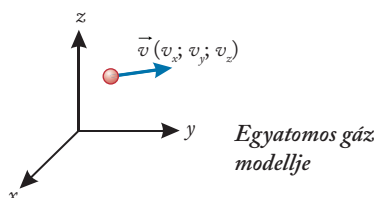
A gázok belső energiája a részecskék hőmozgásával kapcsolatos.

Az ideális gáz belső energiája egyenlő a részecskék mozgásából származó összes mozgási energiával.



Az előző leckében levezettük a kinetikus modell segítségével, hogy egy részecske mozgási energiája:

$$E_{0\text{mozg}} = \frac{3}{2} k \cdot T = \frac{1}{2} m_0 \cdot v^2 = \frac{1}{2} m_0 \cdot v_x^2 + \frac{1}{2} m_0 \cdot v_y^2 + \frac{1}{2} m_0 \cdot v_z^2$$



Ez az összefüggés az egyatomos gázok esetén érvényes. Ilyenek a nemesgázok: He, Ne stb.

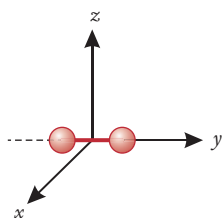
Az atomok csak haladó mozgást végeznek a háromdimenziós térben. Három egymástól független sebesség-összetevővel rendelkeznek, azaz a szabadsági fokok: $f = 3$, **f a szabadsági fok jele.**

A molekulák egyszerre végeznek haladó- és forgómozgást. A kétatomos molekulák esetében két forgástengelyt kell figyelembe vennünk. Az atomok középpontján áthaladó tengely körüli forgást elhanyagolhatjuk. A kétatomos molekulákból álló gázok (O_2 , H_2) szabadsági foka:

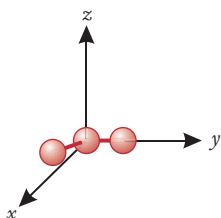
$$f = 3 + 2 = 5$$

A többatomos gázok esetében (CO_2 , CH_4) mindhárom forgástengelyt figyelembe kell vennünk. A szabadsági fokok száma:

$$f = 3 + 3 = 6$$



Kétatomos molekulából álló gáz modellje



Többatomos molekulából álló gáz modellje

Egy gázrészecske átlagos energiája: $E = \frac{f}{2} \cdot k \cdot T$

Az N részecskéből álló gáz esetén a gáz belső energiája: $E_b = \frac{f}{2} \cdot N \cdot k \cdot T$

Az ekvipartíció tétele

A szabadsági fok megegyezik a gázrészecskék energiáját meghatározó képletben szereplő négyzetes tagok számával. Egyatomos gázok, például héliumgáz esetében egy részecske energiája (ϵ):

$\epsilon = \frac{1}{2} m_0 \cdot v_x^2 + \frac{1}{2} m_0 \cdot v_y^2 + \frac{1}{2} m_0 \cdot v_z^2$. A képletben szereplő négyzetes tagok száma 3, így a szabadsági fok: $f = 3$.

Kétatomos gázok, például oxigén, hidrogén esetében a két atomból álló molekula forgómozgást is végez. A forgási energiát az $\frac{1}{2} \Theta \cdot \omega^2$ képlettel számítjuk.

$$\epsilon = \frac{1}{2} m_0 \cdot v_x^2 + \frac{1}{2} m_0 \cdot v_y^2 + \frac{1}{2} m_0 \cdot v_z^2 + \frac{1}{2} \Theta_x \cdot \omega_x^2 + \frac{1}{2} \Theta_z \cdot \omega_z^2$$

A szabadsági fok: $f = 5$. Az y tengely körüli forgást elhanyagoltuk. (Lásd az előző ábrát!)

Láttuk, hogy egy gázrészecske átlagos energiája $E = \frac{f}{2} \cdot k \cdot T$. Érdekes kérdés: ez az energiája hogyan oszlik el az $f = 3$, illetve az $f = 5$ szabadsági fok között? A választ az *ekvipartíció tétele* adja meg: minden egyes szabadsági fokra ugyanannyi, azaz $\frac{1}{2} k \cdot T$ energia jut. Ez az energia egyenletes eloszlásának elve.

Termikus egyensúly

Ha egy testnek és környezetének a hőmérséklete különböző, akkor a hidegebb test belső energiája nő, amit a hőmérséklet növekedése jelez. A melegebb test belső energiája és hőmérséklete pedig csökken. Az ilyen kölcsönhatást termikus kölcsönhatásnak nevezzük. A termikus kölcsönhatás addig tart, amíg a két test hőmérséklete azonos nem lesz. A test környezetével **termikus egyensúlyi állapot**ba kerül.



A kovács a felforrósított szerszámait egy vödör vízben hűti le: a fogók lehűlnek, a víz hőmérséklete nő, kialakul a termikus egyensúly

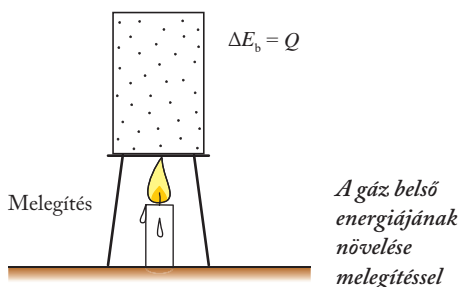


A hőtan I. főtétele

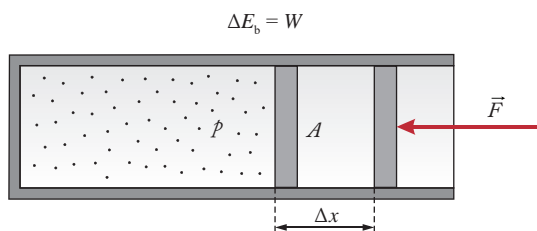
Az ideális gáz belső energiáját kétféle módon lehet megváltoztatni:

1. Termikus kölcsönhatás közben: melegítjük vagy hűtjük a gázt.

$$\Delta E_b = \frac{f}{2} \cdot N \cdot k \cdot \Delta T$$



2. Mechanikai kölcsönhatás közben: összenyomjuk vagy engedjük tágulni a gázt.



A gáz belső energiájának növelése munkavégzéssel

A dugattyú mozgatásakor munkát végzünk, ezt térfogati munkának nevezzük. A **térfogati munka** a gázon végzett munka. A gáz nyomása legyen állandó!

$$W = F \cdot \Delta x = p \cdot (A \cdot \Delta x) = p \cdot \Delta V$$

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

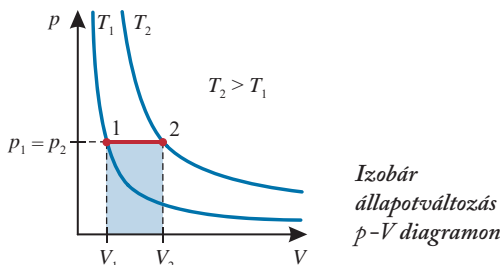
A térfogati munka előjeles skalármennyiség. A gáz tágulásakor a dugattyúra ható külső erő és az elmozdulás ellentétes, tehát a térfogati munka negatív, a gáz összenyomásakor pedig pozitív.

$$W = -p \cdot \Delta V$$

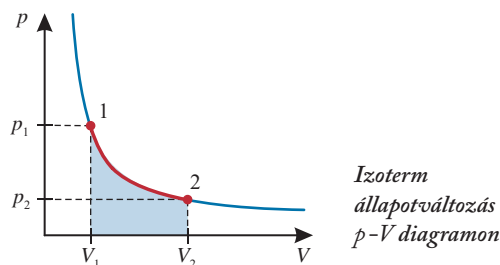
Tágulásakor: $\Delta V > 0$, $W < 0$

Összenyomásakor: $\Delta V < 0$, $W > 0$

Ha a gázok állapotváltozását nyomás-térfogat (p - V) grafikonon ábrázoljuk, akkor a görbe alatti terület mérőszáma a munkavégzés számértékével egyenlő. Izobár állapotváltozáskor a nyomás állandó, így a konstans függvénygörbe alatti terület egy téglalap területe.



Izoterm állapotváltozáskor a gáz nyomása és térfogata is változik. A görbe alatti terület kiszámítása közelítő eljárással vagy integrálszámítással történhet (ezzel itt nem foglalkozunk).



Izochor állapotváltozáskor a munkavégzés nulla.

Ha a termodinamikai folyamatban hőközlés és munkavégzés is történik, akkor a belső energia megváltozása: $\Delta E_b = Q + W$

A gáz belső energiájának megváltozása egyenlő a gáz által felvett vagy leadott hőmennyiség és a munkavégzés összegével. Ezt az összefüggést a hőtan (vagy a termodinamika) I. főtételének nevezzük.

$$\Delta E_b = Q + W$$

A hőtan I. főtétele az energiamegmaradás törvényének az általánosítását fejezi ki.

A munkavégzés többféle lehet: elektromos, súrlódási stb. Sokszor ez a munkavégzés a gáz térfogatváltozásával kapcsolatos *térfogati munka*.



Melegítés munkavégzéssel

Munkavégzéssel növelhetjük a testek hőmérsékletét. Ha két tenyerünket összedörzsöljük vagy megdörzsöljük a karunkat, meleget érzünk. Súrlódás következtében a mechanikai munka hővé alakul.

Az ősember tűzgyújtásra alkalmazta ezt a jelenséget. A puha fadarabba kővel mélyedést alakított ki. A mélyedésbe keményebb farudat szorított. Két tenyere között nagyon gyorsan addig forgatta, amíg a keletkezett hőtől izzani kezdett a farúd vége.

Az I. főtétel alkalmazásai

A következő leckében termodinamikai folyamatokat elemzünk majd az I. főtétel segítségével.

A körfolyamatok vizsgálatakor is alkalmazzuk az I. főtételt.

A kémiai energia hővé alakulása az I. főtétel speciális esete. Az atomok közötti kémiai kötések felbomlanak, termikus energia keletkezik. Például szerves anyagok égetésekor, oxigén segítségével hő jön létre. A hőtermelő (exoterm) és a hőfogyasztó (endoterm) folyamatok lejátszódásakor is érvényes az első főtétel. Az ehhez hasonló folyamatokkal a termokémia foglalkozik részletesen.

Az élőlények táplálkozásakor energiákat alakítanak át. Testük hőmérsékletét, a mozgásukat és egyéb életfunkcióikat energia felhasználásával végzik. A bioenergiák kiszámításánál figyelembe kell venni az első főtételt. A biológiai folyamatok vizsgálatakor is alkalmazható az I. főtétel. Ne feledjük, hogy az élő szervezetekben nagyon bonyolult biokémiai folyamatok mennek végbe, nem egyszerűsíthetők le csak fizikai jelenségekre.

Geológiai modellek létrehozásánál is figyelembe kell venni az I. főtételt. A Föld egyirányú fejlődése

a termodinamika első főtételével bizonyítható. Égéstestek keletkezésekor a gravitációs erők összehúzzák az anyagot, közben hő keletkezik. Geotermikus energia kitermelésekor, hasznosításakor is számolni kell az I. főtétellel.

Általános energiatétel

Az általános energiatétel kimondja, hogy energia semmilyen folyamatnál nem keletkezik, nem semmisül meg, csak átalakul.

Például a mechanikai energia átalakulhat a gáz belső energiájává.

Az energiatételből következik, hogy nem lehet olyan periodikusan működő gépet szerkeszteni, amely munkát végezne anélkül, hogy valamilyen energiát ne használna fel. Az ilyen gépet elsőfajú perpetuum mobilének (örökmozgónak) nevezünk.

A termodinamika I. főtétele nem más, mint az energiatétel alkalmazása hőtani folyamatokra. Az I. főtétel is az elsőfajú perpetuum mobile lehetetlenségét fejezi ki.



A Popular Science 1920. októberi címlapján egy feltaláló az örökmozgó megalkotásán dolgozik (Norman Rockwell grafikája, 1920)





KIDOLGOZOTT FELADATOK

1. Hogyan lehet megbecsülni, hogy mennyi a levegő belső energiája a $8\text{ m} \times 5\text{ m} \times 3\text{ m}$ méretű tanteremben?

MEGOLDÁS

Hasonlítsuk össze a gázok állapotegyenletét és a belső energia kiszámítására kapott összefüggést:

$$E_b = \frac{f}{2} n \cdot R \cdot T$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Ha az $n \cdot R \cdot T$ helyébe beírjuk a $p \cdot V$ -t, a következő összefüggést kapjuk: $E_b = \frac{f}{2} \cdot p \cdot V$

A levegő főleg oxigénből és nitrogénből áll: $f = 5$

Vegyük a nyomást 100 kPa -nak! Számítsuk ki a térfogatot! $V = 8\text{ m} \cdot 5\text{ m} \cdot 3\text{ m} = 120\text{ m}^3$

Helyettesítsük be az ismert mennyiségeket:

$$E_b = \frac{5}{2} \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 120\text{ m}^3 = 30\text{ MJ}$$

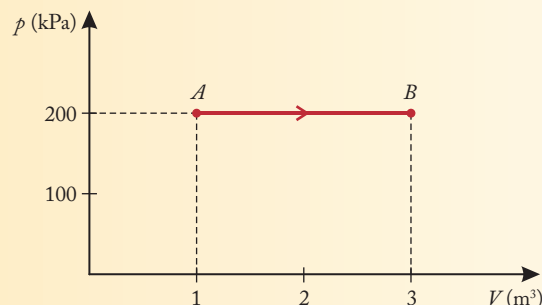
A tanterem levegőjének belső energiája 30 MJ .

2. A grafikonon a hidrogén állapotváltozása látható.

a) Milyen állapotváltozás figyelhető meg a grafikonon?

b) Mekkora munkát végez a gáz?

c) Mekkora a belső energia megváltozása?



MEGOLDÁS

Adatok:

Hidrogén, szabadsági fokok száma: $f = 5$

A grafikonról leolvasható:

$$\Delta V = 2\text{ m}^3, \quad p = 2 \cdot 10^5\text{ Pa}$$

a) Milyen állapotváltozás történt?

b) $W = ?$, c) $\Delta E_b = ?$

a) A nyomás az állapotváltozás során állandó: **izobár állapotváltozás**.

b) A grafikonról leolvasható, hogy

$$\Delta V = 2\text{ m}^3 \text{ és } p = 2 \cdot 10^5\text{ Pa.}$$

Alkalmazzuk a térfogati munka kiszámítására kapott képletet!

$$W = -p \cdot \Delta V = -400\text{ kJ}$$

A térfogatváltozás pozitív, tehát a térfogati munka negatív: -400 kJ .

c) A gázok állapotegyenlete: $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$. Ha változik a hőmérséklet, változik a térfogat, hiszen a nyomás állandó: $p \cdot \Delta V = n \cdot R \cdot \Delta T$

Alkalmazzuk a belső energia kiszámítására kapott összefüggést! Ha változik a hőmérséklet, változik a belső energia:

$$\Delta E_b = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$\text{Az } n \cdot R \cdot \Delta T = p \cdot \Delta V, \text{ tehát: } \Delta E_b = \frac{5}{2} \cdot p \cdot \Delta V = 1\text{ MJ.}$$

Ennyivel nőtt a gáz belső energiája.

1 Hogyan működnek a képeken látható „örökmozgók”? Milyen fizikai jelenségekkel lehet indokolni, hogy csak „látszólag” örökmozgók?



2 Mekkora a hőmérséklete 60 g héliumnak, ha belső energiája 45 kJ?

3 A bűvárok oxigénpalackjában 4 kg 17 °C-os gáz van. Mekkora a belső energiája?

4 A tanulók – a fizikaszakkörön – azt a feladatot kapták, hogy számítsák ki, mennyi volt a 2 kg nitrogént tartalmazó palack belső energiája hűtés előtt, ha hűtés közben 5%-kal csökkent. Mekkora lett a nitrogén hőmérséklete a hűtés után, ha előtte 22 °C volt?

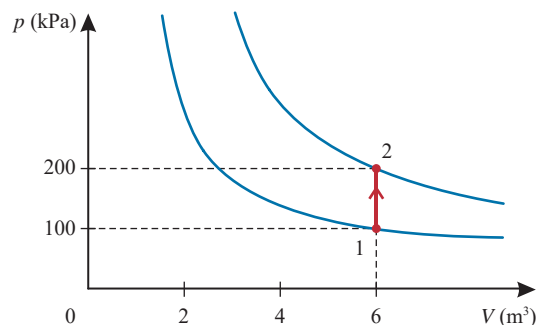
5 Egy sűrűdásmentes dugattyúval lezárt hengerben ideális gáz van, amelynek a nyomása 120 kPa. Állandó nyomáson 800 cm³ térfogatról 200 cm³-re összenyomjuk. A folyamat közben a gáz 1400 J hőt ad át a környezetének.

Kérdések és feladatok

a) Mennyi a térfogati munka értéke?
b) Mennyivel változott meg a gáz belső energiája?

6 Az ábrán kétatomos molekulákból álló gáz állapotváltozása látható. A gáz hőmérséklete a kezdeti (1) állapotban 300 K.

a) Mennyivel változik a belső energiája?
b) Mennyi hőt vett fel a környezetéből?

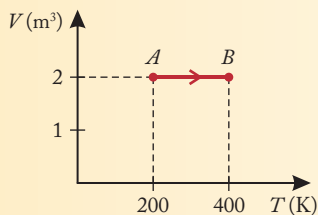


Az állapotváltozás p - V diagramja

7 A grafikonon a nitrogén állapotváltozása látható.

a) Milyen állapotváltozás figyelhető meg a grafikonon?

b) Mennyi hőt vett fel a környezetéből, ha az A állapotban a nyomás 140 kPa?



8 Sűrűdásmentes dugattyúval lezárt hengerben 120 g, 20 °C hőmérsékletű hélium van.

A hőmérsékletét 140 kPa állandó nyomáson 60 °C-ra növeljük. A térfogata 3 dm³-ről 6 dm³-re nő.

a) Mennyivel változott meg a belső energiája?

b) Mekkora a térfogati munka?

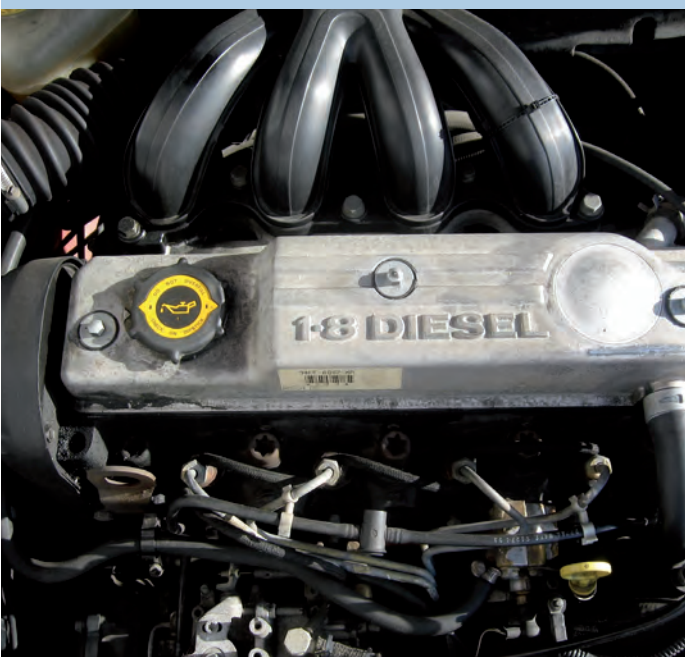
c) Mennyi hőt vett fel a környezetéből?

50. lecke

A termodinamikai folyamatok energetikai vizsgálata



Hogyan működik a dízelmotor?



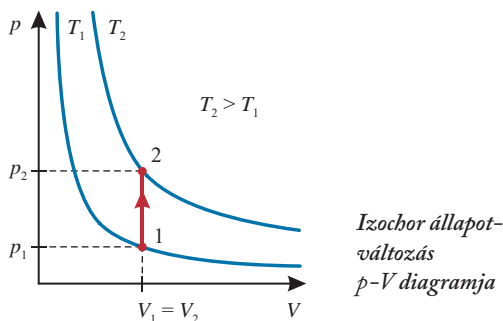
A szifonpatron becsavarásakor érdekes jelenséget figyelhetünk meg. Még nyáron, nagy melegben is, a patron külső része deres lesz. A levegőben lévő vízpára ráfagy a felületére. *Mivel magyarázható a patron nagymértékű lebhűlése?*

Termodinamikai folyamatok

A gáz az állapotváltozáskor munkát végez, vagy munkát végeznek rajta, hőt ad le vagy hőt vesz fel, megváltozik a belső energiája. Az ideális gázok esetén jól elemezhetők azok a folyamatok, amelyekben valamilyen feltételt szabunk. Az I. főtétel segítségével négy speciális termodinamikai folyamatot elemzünk. A vizsgálatok közben a gáz tömegét állandónak tekintjük. Három folyamattal már az előző leckékben is találkoztunk, ezek az izochor, az izobár és az izoterm folyamatok. Ezért egyes ismereteinket ismételni fogjuk. A negyedik fajta állapotváltozáskor a gáz és a környezete között nincs hőcsere, ezt adiabatikus állapotváltozásnak nevezzük.

Izochor állapotváltozás

Az ideális gáz térfogata a folyamat közben állandó. Térfogati munkavégzés nincs: ez a nyomás-térfogat grafikonról is egyszerűen leolvasható.



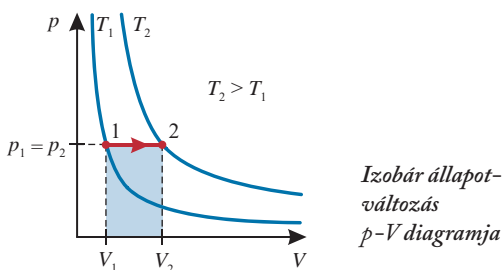
$W = 0$, mert nincs térfogatváltozás,
 $\Delta E_b = Q + W = Q$

Izochor folyamat esetén a gáz belső energiáját csak a hőmennyiség változtatja meg. Ha hőt közlünk a gázzal, akkor a belső energiája nő, ha hőt vonunk el a gáztól, akkor a belső energiája csökken.

Izobár állapotváltozás

A folyamat közben állandó az ideális gáz nyomása. **Izobár folyamat esetén a termikus és mechanikai kölcsönhatás egyszerre határozza meg a belső energia megváltozását.**

$$\Delta E_b = Q + W = Q - p \cdot \Delta V$$



A térfogati munka mértéke egyenlő a téglalap területével.

Izoterm állapotváltozás

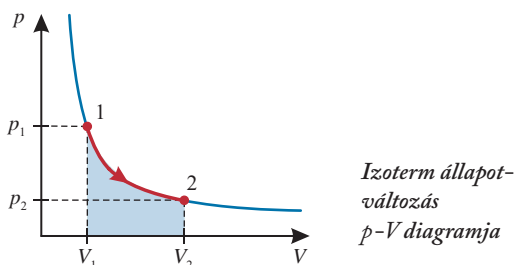
A folyamat közben állandó az ideális gáz hőmérséklete. A belső energia változása zérus:

$$\Delta E_b = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = 0, \text{ mert } \Delta T = 0$$

$$\Delta E_b = Q + W = 0, \text{ azaz } Q = -W$$

Izoterm állapotváltozáskor a gázzal közölt hőmennyiség teljes egészében térfogati munkává alakul. Másképp fogalmazva:

- Izoterm összenyomáskor a gáz a munkával egyenlő nagyságú hőt ad le a környezetének.
- Izoterm táguláskor pedig a gáz a munkával egyenlő nagyságú hőt vesz fel a környezetéből.

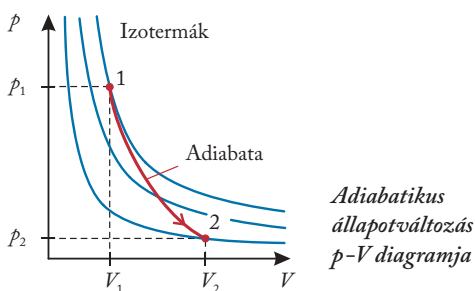


A térfogati munkát a görbe alatti terület jelenti. Kiszámítása bonyolultabb matematikai művelettel történhet (integrálszámítás).

Adiabatikus állapotváltozás

A folyamat során az ideális gáz és a környezet között nincs hőcsere, azaz $Q = 0$. Ez úgy valósítható meg, ha az állapotváltozás közben tökéletesen elszigeteljük a gázt a környezetétől. Úgy is létrehozhatunk ilyen folyamatot, hogy nagyon gyorsan, rövid idő alatt valósítjuk meg. Ilyen esetben a gyorsaság miatt nem történik számottevő hőfelvétel vagy hőleadás.

$$\Delta E_b = Q + W = W$$



Adiabatikus állapotváltozáskor a gáz belső energiájának megváltozása egyenlő a gázon végzett munkával. Adiabatikus táguláskor a gáz lehűl, $\Delta E_b < 0$. A szifonpatron becsavarásakor a patronban lévő szén-dioxid-gáz nagy sebességgel a szifonba áramlik. A jelenség adiabatikus tágulásnak tekinthető, ezzel magyarázható a patron hirtelen lehűlése. Adiabatikus összenyomáskor a gáz felmelegszik, $\Delta E_b > 0$.



A dugattyú hirtelen lenyomásakor az alkohollal átitatott vatta lángra lobban

Miért lángol a szesszel átitatott vatta?



Az ideális gázok hőkapacitása és fajhője

Laboratóriumi mérések azt mutatják, hogy a különböző anyagok melegítéséhez szükséges hőmennyiség (Q) egyenesen arányos a hőmérséklet megváltozásával (ΔT).

$$Q \sim \Delta T, \text{ tehát a } \frac{Q}{\Delta T} = \text{állandó.}$$

A $\frac{Q}{\Delta T}$ állandó jellemzi a gáz anyagi minőségét.

Neve: hőkapacitás. **Jele:** C .

$$C = \frac{Q}{\Delta T}. \text{ Mértékegysége: } 1 \frac{\text{J}}{\text{K}} = 1 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}}.$$

A hőkapacitás definíciójából következik, hogy két test közül annak kisebb a hőkapacitása, amelynek 1°C -kal való felmelegítéséhez kevesebb hőre van szükség. Egy tányér ételnek kisebb a hőkapacitása, mint egy tele lábasának. A sportcsarnokban lévő nagy tömegű levegő hőkapacitása sokkal nagyobb, mint egy kis szobában találhatóé. Gondoljunk arra, mennyivel kevesebb fűtőanyaggal melegíthetjük fel a szoba levegőjét!

A különböző gázok hőkapacitása akkor is különböző, ha a tömegük egyenlő. A hidrogén hőkapacitása állandó nyomáson például 14-szerese a vele azonos tömegű nitrogénének. A **fajhővel** jellemezhetjük a gázoknak azt a tulajdonságát, hogy azonos tömeg esetén különböző a hőkapacitásuk.

A gáz fajhőjén hőkapacitásának és tömegének hányadosát értjük. Jele: c .

$$c = \frac{C}{m}, \quad c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}, \text{ azaz } Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$\text{Mértékegysége: } 1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Egy adott gáz fajhője megmutatja, hogy mekkora hőmennyiség felvételére vagy leadására van szükség ahhoz, hogy 1 kg tömegű anyag hőmérséklete 1°C -kal (1 K-nel) megváltozzon.

Az ideális gázokkal közölt hőmennyiség nem mindig a gáz belső energiáját változtatja meg, hanem

térfogati munkára is fordítható. A gázok fajhője tehát függ a hőközlés módjától is. Megkülönböztünk állandó nyomáson (c_p) és állandó térfogaton (c_v) értelmezett fajhőt.

A $c_p > c_v$, mert állandó nyomáson a hőmennyiség egy része a munkavégzésre fordítódik:

$$\Delta E_b = Q + W$$

Állandó térfogaton kevesebb hővel lehet melegíteni vagy hűteni a gázokat, mert nincs munkavégzés.

| Gáz | $c_p \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$ | $c_v \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$ |
|----------|---|---|
| hidrogén | 14,236 | 10,112 |
| oxigén | 0,916 | 0,653 |
| hélium | 5,234 | 3,161 |
| nitrogén | 1,038 | 0,741 |
| metán | 2,161 | 1,637 |
| levegő | 0,997 | 0,712 |

Néhány gáz fajhője állandó nyomáson és állandó térfogaton

KIDOLGOZOTT FELADATOK

1. A kerékpárpumpa használatakor megközelítőleg adiabatikus folyamat játszódik le.

Legyen a pumpa hengerének hossza 60 cm. A levegő hőmérséklete a pumpálás kezdetekor 24°C . Azt tapasztaljuk, hogy a pumpa használat közben 80°C -ra melegszik. A külső légnyomás 100 kPa. A pumpa hengerének átmérője 3 cm. Mekkora munkát végeztünk, ha hirtelen egyszer összenyomtuk a levegőt?

MEGOLDÁS

Adatok:

$$T_1 = 24^\circ\text{C} = 297 \text{ K}$$

$$T_2 = 80^\circ\text{C} = 353 \text{ K}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 56 \text{ K}$$

$$p_1 = 100 \text{ kPa}$$

$$d = 3 \text{ cm}$$

$$r = 1,5 \text{ cm}$$

$$l = 60 \text{ cm}$$

$$W = ?$$

A levegőmolekulák szabadsági foka: $f = 5$



A pumpa hengerének térfogata: $V_1 = r^2 \cdot \pi \cdot l$

$$V_1 = 1,5^2 \text{ cm}^2 \cdot 3,14 \cdot 60 \text{ cm} = 4,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

A folyamat adiabatikus: $Q = 0$

Alkalmazzuk a belső energia kiszámítására kapott összefüggést:

$$\Delta E_b = W = \frac{5}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

Az $n \cdot R$ szorzat kiszámítható, ha az összenyomás előtti helyzetre alkalmazzuk az állapotegyenletet!

$$p_1 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T_1$$

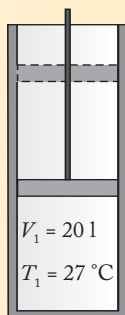
$$n \cdot R = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = 0,143 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$n \cdot R$ ismeretében a munkavégzés kiszámítható:

$$W = \Delta E_b = \frac{5}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = 20 \text{ J}$$

Tehát, ha hirtelen egyszer összenyomtuk a levegőt, akkor 20 J munkát végeztünk.

2. Könnyen mozgó dugattyúval lezárt hengerben 20 liter térfogatú, 300 kPa nyomású hélium van. A dugattyú hirtelen elmozdulásával, adiabatikus folyamatban, a térfogat kétszeresére nő. A gáz kezdeti hőmérséklete legyen 27 °C! A folyamat közben a gáz belső energiája 3340 J-lal csökkent.



- a) Mennyi lesz a végső állapotban a hőmérséklete?
- b) Mennyi a gáz nyomása a végső állapotban?
- c) Ábrázoljuk a folyamatot p - V diagramon!

MEGOLDÁS

Adatok:

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$V_1 = 20 \text{ l} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3, V_2 = 40 \text{ l} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$T_1 = 27 \text{ °C} = 300 \text{ K}$$

Hélium, a szabadsági fokok száma: $f = 3$

$$p_1 = 300 \text{ kPa}$$

$$\Delta E_b = 3340 \text{ J}$$

Adiabatikus állapotváltozás: $Q = 0$

a) $T_2 = ?$, b) $p_2 = ?$

a) Alkalmazzuk a belső energia kiszámítására kapott összefüggést!

$$\Delta E_b = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

Írjuk fel az állapotegyenletet a kezdő állapotra:

$$p_1 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T_1$$

Fejezzük ki az $n \cdot R$ szorzatot:

$$n \cdot R = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = 20 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

A belső energia kiszámítására kapott összefüggésből fejezzük ki a hőmérséklet-változást!

$$\Delta T = \frac{2 \cdot \Delta E_b}{3 \cdot n \cdot R} = \frac{6680}{3 \cdot 20} \text{ K} = 111,3 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 - \Delta T = 188,67 \text{ K}$$

A végső állapotban a gáz hőmérséklete 188,67 K, azaz $-84,33 \text{ °C}$.

b) Alkalmazzuk az egyesített gáztörvényt:

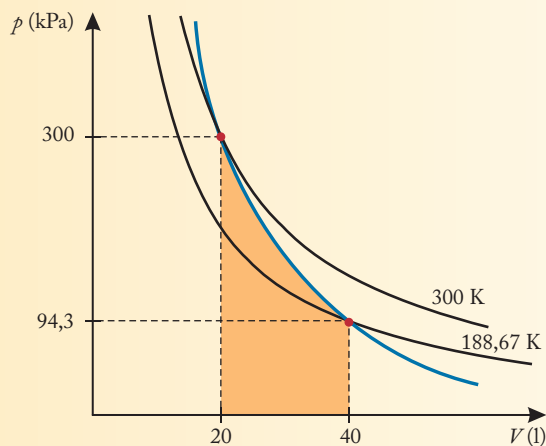
$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Fejezzük ki a nyomást! Helyettesítsük be az adatokat!

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot V_2} = \frac{300 \text{ kPa} \cdot 20 \text{ l} \cdot 188,67 \text{ K}}{300 \text{ K} \cdot 40 \text{ l}} = 94,3 \text{ kPa}$$

A végső állapotban a gáz nyomása 94,3 kPa.

c) A p - V diagram megrajzolása:





A dízelmotor működése

A dízelmotorokban levegőt nyomnak össze adiabatikus módon. A nagy sűrítés közben olyan magas lesz a levegő hőmérséklete, hogy a befecskendezett üzemanyag felrobban. A munkavégző szakaszban adiabatikus tágulás közben csökken a nyomás, a hőmérséklet, a belső energia. A belső energia csökkenése közben munkavégzés történik. A dízelmotor munkát végez.

Első ütem (szívás): a hengerben a dugattyú lefelé mozog, a motor levegőt szív be. A grafikonon az **EA** izobár szakasz felel meg ennek az ütemnek.

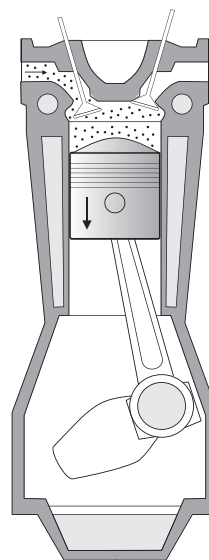
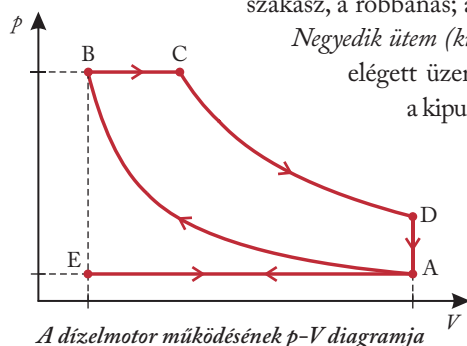
Második ütem (sűrítés): a hengerben a dugattyú felfelé mozog, a levegő 500-700 °C-ra melegszik. A grafikonon a sűrítés az **AB** adiabatikus görbe mentén történik.

Harmadik ütem (munkavégzés): az adagolószivattyú dízelolajat fecskendez a hengerbe, amely a magas hőmérsékleten elég. A dugattyú lefelé mozog, ez a munkavégzés üteme. A grafikonon: a **BC** izobár szakasz, a robbanás; a munkavégzés a **CD** adiabata mentén történik.

Negyedik ütem (kipufogás): a felfelé mozgó dugattyú kinyomja a hengerből az elégett üzemanyagot. A grafikonon: a **DA** izochor szakaszon kinyílik a kipufogószelep, és az **AE** izobár szakaszon megtörténik a kipufogás.

A harmadik ütemben az égés nem pillanatszerű, ezért a dízelmotort lassú égésű motornak is nevezzük. A lassú égés, illetve a nagy összenyomás miatt a dízelmotorok hatásfoka nagyobb, mint a benzinmotoroké.

A dízelmotorok négy- vagy kétüteműek lehetnek. A kétütemű motorok működésével most nem foglalkozunk.



A dízelmotor hengere

A négyütemű benzinmotor működése

A benzinmotorokban a benzin-levegő keverék megközelítőleg szintén adiabatikus módon nyomódik össze a hengerben. A hőmérséklet nő, de ez nem elég a keverék meggyújtásához. A benzinmotorok esetében a robbanás létrehozásához a gyújtógyertya elektromos szikrája szükséges.

Első ütem (szívás): a hengerben a dugattyú lefelé mozog, a nyitott szívószelepen benzin-levegő keverék jut a hengerbe. A grafikonon az **EA** izobár szakasz.

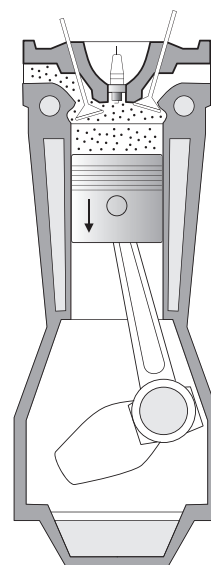
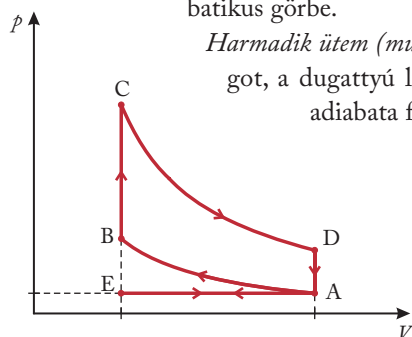
Második ütem (sűrítés): szelepek zárva, a dugattyú felfelé mozog. A grafikonon az **AB** adiabatikus görbe.

Harmadik ütem (munkavégzés): a gyújtógyertya szikrája felrobbantja az üzemanyagot, a dugattyú lefelé mozog. **BC** izochor szakasz. A munkavégzésnek a **CD** adiabata felel meg.

Negyedik ütem (kipufogás): a **DA** izochor szakaszon kinyílik a kipufogószelep. A felfelé mozgó dugattyú a nyitott kipufogószelepen keresztül kinyomja a hengerből az égéstermékét, **AE** izobár szakasz.

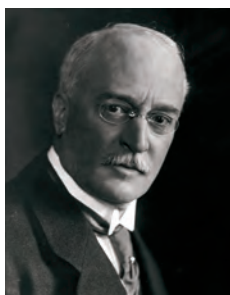
A szelepeket a „bütykös tengely” vezérli. A motor egyenes működését lendítőkerékkel, illetve több henger (2-4-6-8) alkalmazásával biztosítják.

Kisebbs teljesítményű motorokat kétütemű változatban is gyártanak. Ezek működését nem ismertetjük.



A benzinmotor hengere

Rudolf Diesel (1858–1913)



Német feltaláló és gépészmérnök. Párizsban született, tanulmányait Párizsban, Augsburgban és Münchenben végezte. 1880-ban gépészmérnöki oklevelet kapott kitűnő minősítéssel. Több híres cégnél is dolgozott. Főleg motorok tervezésével foglalkozott. 1892-ben szabadalmaztatta *belső égésű motorját*, amely levegősűrítéssel, gyújtógyertya nélkül működött. A motort olajmotornak nevezték, mert gázolajat használtak az üzemeltetésekor. A dízel-motor kis fogyasztása miatt – tökéletesített formában – máig népszerű. Diesel javasolta a növényi olajok üzemanyagként való felhasználását is.

Rudolf Diesel (Ismeretlen fényképész felvétele)

Olvasmány

Kérdések és feladatok

1 A súrlódásmentesen mozgó dugattyúval hengerbe zárt oxigén tömege 80 g. Melegítés hatására a hőmérséklete $20\text{ }^\circ\text{C}$ -ról $80\text{ }^\circ\text{C}$ -ra nő. Az oxigén fajhője állandó nyomáson $920\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$.

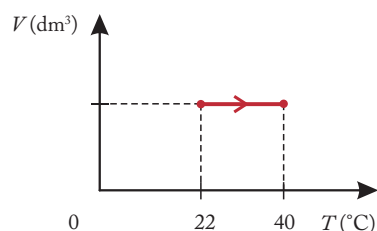
- a) Mekkora hőmennyiséget vett fel az oxigén a környezetétől?
- b) Mennyi a belső energia megváltozása?
- c) Mekkora a térfogati munka?

2 A 100 g tömegű, $17\text{ }^\circ\text{C}$ -os hidrogéngáz adiabatikus összenyomásakor 40 kJ munkát végeztünk.

- a) Mekkora a belső energia megváltozása?
- b) Mekkora a hőmérséklet az új állapotban?

3 Zárt tartályban 15 kg neongáz van. Szállítás közben a hőmérséklete megemelkedett. A neon állandó térfogaton mért fajhője $620\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$. A hiányzó adatokat olvassuk le a grafikonról!

- a) Mennyi hőt közöltünk a gázzal melegítés közben?
- b) Mennyivel nőtt a neon belső energiája?



4 Jól hőszigetelt falú hengerben 2 kg $17\text{ }^\circ\text{C}$ -os levegő van. Adiabatikus folyamatban a hőmérséklete $-17\text{ }^\circ\text{C}$ -ra csökken. A levegő fajhője állandó térfogaton $710\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$.

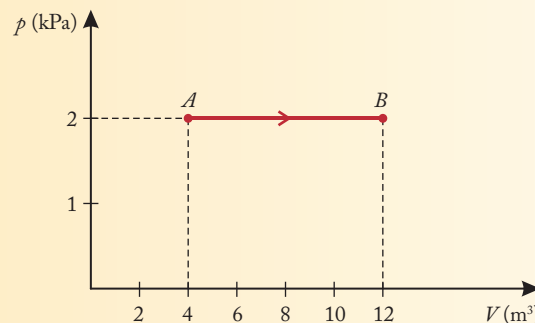
- a) Mekkora a belső energia megváltozása?
- b) Mekkora a munkavégzés?

5 Ideális gáz izoterm folyamat közben 12 kJ hőmennyiséget adott át környezetének.

- a) Mekkora a gáz belső energiájának megváltozása?
- b) Hogyan változott a térfogata?
- c) Hogyan változott a nyomása?

6 Az ábrán kétatomos molekulákból álló gáz állapotváltozása figyelhető meg.

- a) Milyen típusú az állapotváltozás?
- b) Mekkora a gáz által végzett munka?
- c) Hogyan változott a gáz belső energiája, ha az A állapotban a hőmérséklete $7\text{ }^\circ\text{C}$ volt?
- d) Mennyi hőt vett fel a gáz a környezetétől?



51. lecke

A hőtan II. főtétele



Lehet-e olyan erőművet építeni, amely a tengerekből elvont hőt használja fel?

A hideg tányérba mert forró leves lehűl, a tányér felmelegszik. Lejátszódhatna-e ez a folyamat fordítva: előfordulhat-e, hogy a forró leves még melegebb és a hideg tányér még hidegebb lesz, miután a levest a tányérba tettük?

Megfordítható és nem megfordítható folyamatok

Ebben a fejezetben a hőtani folyamatok megfordíthatóságát, illetve megfordíthatatlanságát vizsgáljuk. Az I. főtétel kimondja, hogy a természetben lejátszódó folyamatokban nem változik az összes energia. Azt azonban nem mondja meg, hogy egy folyamat egy adott irányba vagy éppen azzal ellentétes irányba játszódik-e le. Az I. főtétel azt is megengedné, hogy a hideg tányér lehűljön, és a forró leves tovább melegedjen. Megfigyeléseink és tapasztalataink azonban mást mutatnak. A természetben lejátszódó folyamatokat **reverzibilis**, azaz **megfordítható** és **irreverzibilis**, azaz **nem megfordítható** folyamatokra oszthatjuk fel.

Jó példa a **reverzibilis** folyamatra a padlón rugalmasan pattogó labda. A rugalmas labda visszapattan eredeti helyzetébe, és a padlón sem figyelhetünk meg maradandó alakváltozást. (A példa nem tökéletes, mert a labda padlóra csapódásakor egy kevés hő fejlődik.) Általában a súrlódás és a hőfejlődés nélküli mechanikai folyamatok reverzibilisek.

Az **irreverzibilis** folyamatok során nem hanyagolható el a súrlódás vagy a közegellenállás miatt keletkezett hő. A súrlódási munka hővé alakul, amely a környezetben eloszlik. A termodinamikai folyamatok nagy része irreverzibilis.

A hőtan II. főtétele meghatározza, hogy egy folyamat önmagától milyen irányba játszódik le. A tételnek több megfogalmazása is létezik, de a lényege minden esetben azonos az alábbi megfogalmazással.

A hőtan II. főtétele: A testek termikus kölcsönhatásakor mindig a melegebb test ad át energiát a hidegebb testnek. Ennek a folyamatnak az iránya önmagától nem változik, csak külső beavatkozással fordítható meg.

A hőtan II. főtételének értelmezése a gázok kinetikus modelljével

A természetben lejátszódó folyamatok közben megváltozik a folyamatban részt vevő részecskék (molekulák, atomok) rendezettsége.

Amikor a vonat megáll az állomáson, a fékezés-kor a mechanikai energia hővé alakul (súrlódás). A vonat mozgási energiája a részecskék rendezett mozgásából adódott. A keletkezett hőt elnyeli a környezet (levegő). A levegő részecskéi rendezetlen hőmozgást végeznek.

Ha két golyó rugalmatlanul ütközik, csökken a mozgási energiájuk. Deformálódnak a golyók, csökken a részecskék rendezettsége.

Általában igaz, hogy a magukra hagyott rendszerekben a folyamatok iránya a rendezetlenséget növeli. A fizikusok egy nagyon jól használható mennyiséggel fejezik ki valamely rendszer rendezettségét, ez az **entrópia**. Ha nő egy rendszer rendezetlensége, akkor nő az entrópiája.

Energiaátalakítás, hatásfok

Az energiaátalakításkor azt kell vizsgálnunk, hogy az *energiaátalakító gép – hőerőgép* – működése közben milyen mértékben hasznosítja a bevitt energiát. Tanulmányozzuk tehát a hőerőgépek hatásfokát! A hőerőgépek hőmennyiség befektetése árán hasznos mechanikai munkát végeznek.

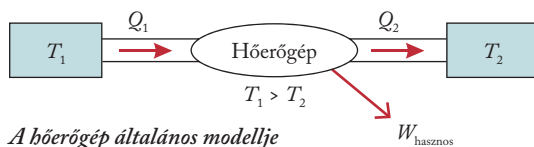
Az előző tanévben a mechanikában már megismertük a **hatásfok** fogalmát. A termodinamikában is hasonló módon határozzuk meg:

$$\eta = \frac{\text{kimenő, hasznos munka}}{\text{bemenő energia (befektetett munka)}}$$

A hőerőgép Q_1 hőt vesz fel a T_1 hőmérsékletű tartályból (kazánból), és $Q_2 < Q_1$ hőt ad le a T_2 hőmérsékletű tartálynak (hűtőnek). A gép által végzett munka (hasznos munka): $W = Q_1 - Q_2$

$$\text{A hatásfok: } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

A leadott Q_2 hő nem lehet 0-val egyenlő, ezért ideális esetben sem lehet a hatásfok 1, azaz 100%.



A hőerőgép általános modellje

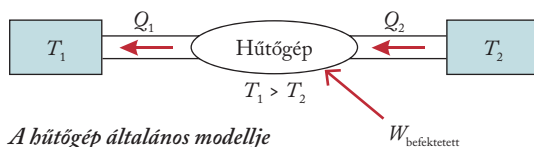
Ideális gázok esetén az elérhető legjobb hatásfok

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \text{ alakban is felírható.}$$

A *hűtőgép vagy hőszivattyú* a T_2 hőmérsékletű tartályt (hűtőszekrény) a környezeténél (T_1) alacsonyabb hőmérsékleten tartja. Q_2 hőt von el a T_2 tartálytól, amely most a hasznos munka. A befektetett munka: $W = Q_1 - Q_2$

$$\text{A hatásfok: } \eta = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Ezt a hatásfokot szokás a hűtőgép *jósági tényezőjének* nevezni, jele: ε .



A hűtőgép általános modellje

Másodfajú perpetuum mobile

A lecke elején felvetett problémát másképpen megfogalmazva: Létezik-e olyan berendezés, amely egy hőtartálytól (talaj, légkör, óceán) hőt von el, és ezt a hőt minden egyéb beavatkozás nélkül teljes egészében munkává alakítja? Az ilyen gép ingyen termelne munkát, mert a talaj, a légkör, az óceán hőmérséklete gyakorlatilag kimeríthetetlen. Ezt a gépet *másodfajú perpetuum mobilének* szokás nevezni. A tapasztalat azt mutatja, hogy ilyen szerkezetet nem lehet előállítani.

A hőtan II. főtételének Max Planck német fizikustól származó megfogalmazása: Nem lehet olyan periodikusan működő gépet szerkeszteni, amely egy hőtartályból hőmennyiséget von el, és azt egyéb változások bekövetkezése nélkül munkává alakítja át.



Max Planck (1858–1947)

Német fizikus, a kvantummechanika megalapítója. Kielben született. Egyetemi tanulmányait Münchenben és Berlinben végezte. Doktori értekezésének témája: *A mechanikai hőtan második főtétele*. A kielői és a berlini egyetemen elméleti fizikát tanított. 1894-től a Porosz Tudományos Akadémia tagja volt. 1918-ban Nobel-díjat kapott a kvantumelmélet kidolgozásáért.

Max Planck (Ismeretlen fényképész felvétele)

Olvasmány

A hőtan II. főtétele mint általános törvény

A második főtétel a kémiában a spontán folyamatok irányát szabja meg. Meghatározza, hogy a kémiai reakciók hogyan játszódjanak le. A kémiai potenciálok leírásánál alkalmazott Gibbs-függvény is a II. főtétel alkalmazása.

A biológiában fontos szerepet játszó vegyületek kialakulásánál is érvényesül a törvény. A modern kémiai és biológiai modellek kialakítása nem lehetséges a II. főtétel figyelembevétel nélkül.

A műszaki tudományokban, a műszaki gyakorlatban is alapvető törvény a II. főtétel. A műszaki hőtan, a hőtechnika és egyéb műszaki tantárgyakban olvashatjuk az alkalmazásait. A mérnöki gyakorlatban fontos téma az energiaforrások, az energiaátalakítások vizsgálata, például a geotermikus energia felhasználásának lehetőségei. Fontos kérdés itt az, hogy az anyagok belső energiáját milyen arányban lehet munkává alakítani.

Nagyon érdekes összefüggést vizsgált Szilárd Leó, akinek főleg atomfizikai eredményeit tanuljuk a 10. osztályban. Azt kutatta, hogy milyen összefüggés van az emberi értelem információtermelő szerepe és a második főtétel között. Ezeket a vizsgálatokat tekintjük az informatika és az agy kutatás közötti kapcsolat létrehozásának.

Az élő szervezetek és a hőerőgépek

Az élőlények az elfogyasztott táplálékot feldolgozzák, energiává alakítják. Az energia egy részéből testük hőmérsékletét szabályozzák, például hővé alakítják. Az energiát mechanikai munkavégzésre is használhatják végtagjaik izmainak segítségével. Az alvó ember energiájának nagy részét hővé alakítja, kisugározza a környezetének. A súlyemelő nagy mechanikai munkát végez, energiájának nagy részét erre használja. Lényeges különbség, hogy a hőerőgépeknél a befektetett energia és a munkavégzés időben nem választható szét, az élő szervezeteknél igen. A súlyemelő nem akkor reggelizik,

amikor versenyez, már a szervezetében felhalmozta a szükséges energiát.

Érdekes kérdés, hogy mekkora a határfoka az élő szervezeteknek. Nehéz vizsgálni, de lehetséges, a vizsgálat során azonban figyelembe kell venni azt, hogy az élő szervezetek nem hőerőgépek, csak vannak közöttük lényeges hasonlóságok.



Súlyemelő

KIDOLGOZOTT FELADAT

Egy termodinamikai gépben a gáz legkisebb hőmérséklete $17\text{ }^\circ\text{C}$, a legnagyobb $247\text{ }^\circ\text{C}$.

- a) Mekkora a hatásfoka, ha ez a gép hőerőgép?
b) Mekkora a jósági tényezője, ha ez a gép hűtőgép?

MEGOLDÁS

Adatok:

$$T_2 = 17\text{ }^\circ\text{C} = 290\text{ K}; \quad T_1 = 247\text{ }^\circ\text{C} = 520\text{ K}$$

a) $\eta_{\text{hőerőgép}} = ?$, b) $\varepsilon_{\text{hűtőgép}} = ?$

a) Alkalmazzuk a hőerőgép hatásfokának kiszámítására kapott összefüggést:

$$\eta_{\text{hőerőgép}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{520\text{ K} - 290\text{ K}}{520\text{ K}} = 0,44$$

A hőerőgép maximális hatásfoka: 0,44.

b) Alkalmazzuk a hűtőgép hatásfokának kiszámítására kapott összefüggést:

$$\varepsilon_{\text{hűtőgép}} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{290\text{ K}}{520\text{ K} - 290\text{ K}} = 1,26$$

A hűtőgép jósági tényezője: 1,26.

Kérdések és feladatok

1 Mondjunk példákat reverzibilis folyamatokra! Indokoljuk választásunkat!

2 Mondjunk példákat irreverzibilis folyamatokra! Indokoljuk választásunkat!

3 A meleg tenger vizének hőmérséklete a felszín közelében $27\text{ }^\circ\text{C}$, a mélyebb részen $7\text{ }^\circ\text{C}$. Számítsuk ki, mekkora lenne a tengervíz hőjét hasznosító hőerőgép hatásfoka!

4 Egy hőerőgép hidegebb tartályának hőmérséklete 300 K . A magasabb hőmérsékletű tartály hőmérsékletének 25%-os növelésekor a hatásfok 15%-kal nő. Mekkora a nagyobb hőmérsékletű tartály hőmérséklete? Mennyi volt a gép eredeti hatásfoka?

5 A $20\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű tantermet a $0\text{ }^\circ\text{C}$ -os külső levegővel szeretnénk fűteni. Elektromotorral működtetett hűtőgépet használunk. Mekkora a hűtőgép jósági tényezője? Miért nem terjedt el a mindennapi életben ez az elméletileg nagyon gazdaságos fűtés?

PÁLYAKÉP

Sziasztok!

Mivel régóta sejtettem, hogy természettudománnyal szeretnék foglalkozni, a budapesti Karinthy Frigyes Gimnáziumban a nemzetközi érettségi programban, emelt szinten választottam a biológia és a matematika mellett a fizikát is. Felvételi vizsgát is ezekből a tárgyakból tettem. Később az



egyetemen a biológus hallgatók tantervének kötelező része volt a fizika, illetve a fizikai kémia. Ahogyan az állatok, növények megismerése után a szövetek, később a sejtek, majd végül a molekuláris biológia szintjén tanultuk a szervezetek működését, egyre inkább úgy tűnt, hogy a végén minden, az összes biológiai és kémiai jelenség a fizika alaptörvényeire vezethető vissza. A doktori iskolában azt kutatom, hogyan működnek az enzimek, ezek a molekuláris méretű „gépek”, amelyek összetekeredett fehérjeláncból állnak. Egy cukorbontó enzim megtehetné, hogy bontás helyett cukrot épít, de vajon miért nem teszi? A beteg, mutáns fehérjék miért viselkednek másképp? Az izmunkat felépítő miozin- és aktinszálak miért kapaszkodnak össze, és miért húzzák össze az izmainkat? Ezeknek mind energetikai okai vannak. Az enzimreakciók mindig ciklusba rendeződnek, rengeteg kölcsönhatással kell számolnunk. Lehetetlen olyan kísérletet elvégezni, hogy egy enzimreakció minden lépését láthatóvá tegyük, ezért mindig csak egy-egy töredék információt tudunk kimérni. Sok különböző kísérletből kell összerakni a teljes képet, hogy pontosan mi és miért történik. A legfontosabb, hogy megtaláljuk, mi hajtja a reakciót, mi hajtja az enzimm ciklust. Az entrópia növekedése, vagy a szabadenergia-csökkenés? Néha kompenzálják egymást, és szinte egyensúly jön létre. Gyakran többféle úton is elindulhat egy enzim. Sokszor látszólag ellentmondásba keveredünk, és rengeteg kísérleti eredmény mozaikjából készül el a végső kép, amely megfelel a hőtán összes főtételének.

Név: Anna

Végzettség: biológus szak

Felvételi tantárgyak: biológia, fizika, matematika

Jelenlegi beosztása: PhD-hallgató

52. lecke

Körfolyamatok: A hőtan III. főtétele



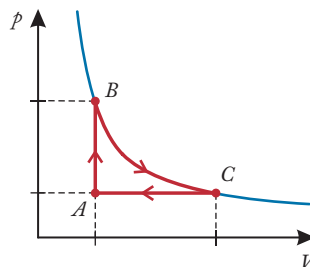
Milyen hőmérsékletű a világűr jelenleg ismert leghidegebb objektuma, a Bumeráng-köd?

A p - V diagramok tanulmányozása nagyon fontos volt a gőzgépek, gőzmozdonyok hatásfokának kiszámításánál, növelésénél. Napjainkban a robbanómotorok és gőzturbinák hatásfokának növelésénél lényeges a p - V diagramok vizsgálata. A 26. leckében az ideális gázok állapotváltozásait (izoterm, izobár, izochor, adiabatikus) ábrázoltuk p - V diagramon. *A tanult állapotváltozások egymás utáni alkalmazásával elérhető-e, hogy a gáz a kezdeti állapotába kerüljön vissza? Keletkezhét-e a p - V diagramon zárt görbe?*

Körfolyamatok

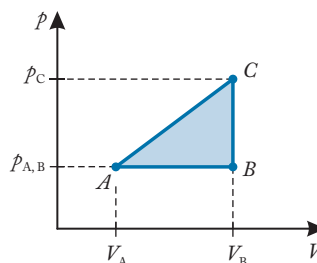
Különböző állapotváltozások egymás utáni megvalósításával elérhető, hogy az ideális gáz a kezdeti állapotba jusson vissza.

Ha az ideális gáz valamilyen állapotból ugyanabbe az állapotba jut vissza, körfolyamat jön létre.



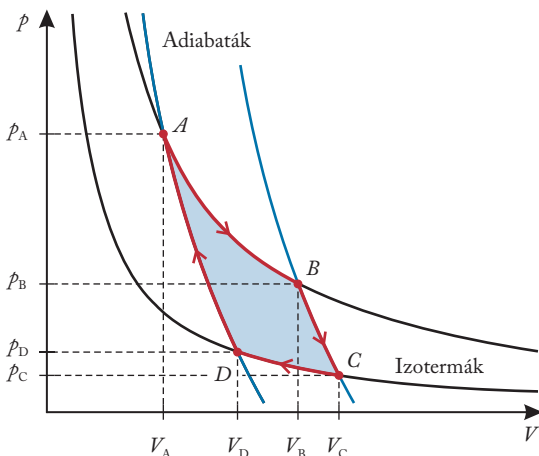
A körfolyamatban a körbejárt terület nagysága egyenlő a gáz által végzett munka mérőszámával. A munka előjele pozitív, ha a folyamat iránya az óramutató járásával megegyező és negatív, ha ellentétes. A körfolyamat termikus hatásfoka is kiszámítható a grafikon segítségével. A p - V diagramon ábrázolt körfolyamat zárt görbéje által határolt terület nagyságát kell elosztani a bemenő energiával.

$$\eta = \frac{\text{a bezárt terület nagysága}}{\text{bemenő energia (felvett hőmennyiség)}}$$



A Carnot-körfolyamat

A Sadi Carnot (1796–1832) francia fizikusról elnevezett Carnot-körfolyamat nagyon jelentős körfolyamat. A dugattyús hengerbe zárt, m tömegű gázzal két izotermikus és két adiabatikus állapotváltozást hozunk létre. A dugattyú sűrűdésétől eltekintünk. A körfolyamat négy részre bontható.



1. $A \rightarrow B$ szakasz: A gáz izotermikusan kiterjed, a térfogata V_A -ról V_B -re nő, nyomása p_A -ról p_B -re csökken. Q_1 hőmennyiséget vesz fel egy T_1 hőmérsékletű tartályból, és közben munkát végez.

2. $B \rightarrow C$ szakasz: Adiabatikus tágulás közben a térfogata V_C -re nő, a nyomása tovább csökken p_C -re. A gáz munkát végez.

3. $C \rightarrow D$ szakasz: A gázt $T_2 < T_1$ hőmérsékletű tartállyal hűtjük, és izotermikusan összenyomjuk V_D térfogatra. A gáz Q_2 hőmennyiséget ad át a T_2 hőmérsékletű tartálynak. A környezet munkát végez a gázon.

4. $D \rightarrow A$ szakasz: A gázt adiabatikus összenyomással a kezdeti állapotba visszük vissza. A gázon a környezet végez munkát.

A Carnot-körfolyamat során a gáz a T_1 hőmérsékletű „kazánból” Q_1 hőmennyiséget vesz fel, és a $T_2 < T_1$ hőmérsékletű „hűtőnek” Q_2 hőmennyiséget ad át. A gáz közben hasznos munkát végez. A Q_1 felvett hőmennyiségnek csak egy része alakul át munkává, a többi a hidegebb tartályba kerül. A körfolyamat termikus hatásfoka (51. lecke):

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

A Carnot-körfolyamat a hőerőgépek modelljének tekinthető. Hőerőgépeink, a részfolyamatokat tekintve, nem a Carnot-körfolyamat szerint működnek, hatásfokuk kisebb. Nem bizonyítjuk, hogy a hőerőgépek termikus hatásfokának felső határa: $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

A Carnot-körfolyamat fordított irányba is megvalósítható. Ilyen esetben a gáz a „hűtőből” vesz fel hőt, a „kazánnak” pedig hőt ad le. A gázon külső munkavégzés történik. **A fordított körfolyamat a hűtőgép és a hőszivattyú működését modellezi.**

A hőtan III. főtétele

Mi történne az ideális gázzal, ha 0 K hőmérsékletűvé válna? A részecskék energiája $\left(\frac{1}{2} k \cdot T\right)$ a $T = 0$ K miatt nulla lenne. Nem mozognának, sebességük nullára csökkenne. Nulla lenne a nyomásuk, hiszen nem ütköznének a tartály falába. A valódi gázok a 0 K előtt folyékonyvá válnának, majd megfagynának. Más megfigyelések és tapasztalatok alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy **a szilárd testek és folyadékok hőmérséklete sem lehet 0 K.**

A 0 K hőmérséklet tetszőleges pontossággal megközelíthető, de nem érhető el. Ez a hőtan III. főtétele.

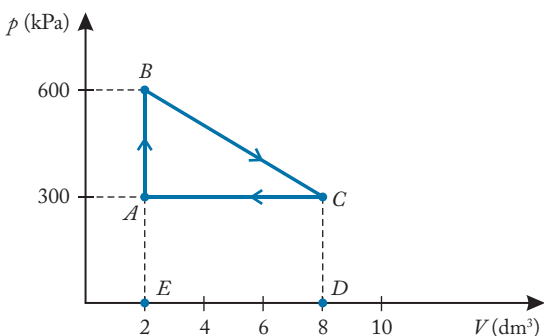
Bebizonyítható, hogy az abszolút zérus fokhoz közeledve az anyagok fajhője nullához tart. Ez azt jelenti, hogy nagyon kicsi ΔQ hőmennyiség felvétele is nagy ΔT -vel növeli a test hőmérsékletét, mivel $\Delta T = \frac{\Delta Q}{c \cdot m}$. Ebből is az következik, hogy az abszolút zérus fok nem érhető el. Ha a fajhő (c) nullához tart, akkor a ΔT végtelen nagygyá válik.

A III. főtételt másképpen is megfogalmazhatjuk: a kémiai egységes anyagok entrópiája zérushoz tart, ha hőmérsékletük a 0 K-hez közelít.



KIDOLGOZOTT FELADAT

Az ábrán látható körfolyamatban héliumot használunk.



- Mekkora hőt vesz fel a hélium az $A \rightarrow B$ állapotváltozás közben?
- Mekkora a gáz belső energiájának változása a $B \rightarrow C$ folyamatban?
- Mekkora és milyen előjelű a munkavégzés a $C \rightarrow A$ szakaszon?
- Mennyi a körfolyamat során felvett összes hő?
- Mennyi a körfolyamat során végzett hasznos munka?
- Mennyi a körfolyamat termikus hatásfoka?
- Mekkora a B és C állapotokban a gáz hőmérséklete, ha az A állapotban 300 K ?

MEGOLDÁS

Adatok:

A hélium szabadsági foka: $f = 3$

$$p_A = p_C = 300\text{ kPa}$$

$$p_B = 600\text{ kPa}$$

$$V_A = V_B = 2\text{ dm}^3$$

$$V_C = 8\text{ dm}^3$$

- a) $Q = ?$, b) $\Delta E_b = ?$, c) $W_{CA} = ?$, d) $Q_{\text{fel}} = ?$,
e) $W = ?$, f) $\eta = ?$, g) $T_B = ?$, $T_C = ?$

a) $A \rightarrow B$ izochor állapotváltozás, $\Delta V = 0$, a tágulási munka $W = 0$. Az első főtétel miatt $\Delta E_b = Q$. A belsőenergia változást az $E = \frac{f}{2} pV$ összefüggésből számítjuk ki:

$$Q_{AB} = \Delta E_{AB} = \frac{f}{2} (p_B - p_A) \cdot V_A =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot (600 - 300) \cdot 10^3\text{ Pa} \cdot 2 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3 = 900\text{ J.}$$

$$b) \Delta E_{BC} = \frac{f}{2} (p_C V_C - p_B V_B) =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot (300 \cdot 10^3\text{ Pa} \cdot 8 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3 - 600 \cdot 10^3\text{ Pa} \cdot 2 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3) =$$

$$= 1800\text{ J}$$

c) Alkalmazzuk a térfogati munka kiszámítására kapott összefüggést!

Helyettesítsük be az adatokat!

$$W_{CA} = -p \cdot \Delta V = -p_C \cdot (V_A - V_C) =$$

$$= -300 \cdot 10^3\text{ Pa} \cdot (-6) \cdot 10^{-3}\text{ m}^3 = 1800\text{ J}$$

1800 J (pozitív előjelű) a munkavégzés a $C \rightarrow A$ szakaszon.

d) Az AB szakaszon felvett hőt már kiszámítottuk ($Q_{AB} = 900\text{ J}$).

A BC szakaszon a gáz belső energiájának ΔE_{BC} növekedését és a W_{BC} tágulási munkát a gázzal közölt Q_{BC} hő fedezi:

$$Q_{BC} = \Delta E_{BC} - W_{BC}.$$

A W_{BC} a gáz tágulása miatt negatív érték, nagyságát a grafikon alatti trapéz területének kiszámításával határozzuk meg:

$$W_{BC} = -\frac{600 + 300}{2} \cdot 10^3\text{ Pa} \cdot 6 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3 = -2700\text{ J.}$$

$$\text{Így } Q_{BC} = \Delta E_{BC} - W_{BC} = 1800\text{ J} + 2700\text{ J} =$$

$$= 4500\text{ J.}$$

Az összes felvett hő pedig:

$$Q_{\text{fel}} = Q_{AB} + Q_{BC} = 900\text{ J} + 4500\text{ J} = 5400\text{ J.}$$

e) A körfolyamat hasznos munkáját az ABC háromszög területe adja:

$$W = \frac{300 \cdot 10^3\text{ Pa} \cdot 6 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3}{2} = 900\text{ J.}$$

f) A körfolyamat termikus hatásfoka:

$$\eta = \frac{W}{Q_{\text{fel}}} = \frac{900\text{ J}}{5400\text{ J}} \approx 0,17 = 17\%.$$

g) $T_A = 300$ K. Az $A \rightarrow B$ folyamat izochor változás, tehát $\frac{T_B}{T_A} = \frac{p_B}{p_A}$. Ebből:

$$T_B = T_A \cdot \frac{p_B}{p_A} = 300 \text{ K} \cdot \frac{600 \text{ kPa}}{300 \text{ kPa}} = 600 \text{ K}.$$

A B állapotban a gáz hőmérséklete 600 K.

A $C \rightarrow A$ folyamat izobár változás, tehát $\frac{T_C}{T_A} = \frac{V_C}{V_A}$.

Ebből:

$$T_C = T_A \cdot \frac{V_C}{V_A} = 300 \text{ K} \cdot \frac{8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 1200 \text{ K}.$$

A C állapotban a gáz hőmérséklete 1200 K.

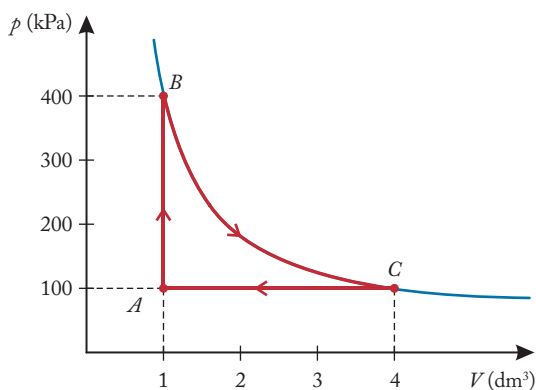
1 Az ábrán nitrogéngázzal végzett körfolyamatot láthatunk. A nitrogén állandó térfogaton mért fajhője $740 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. Az A pontban a gáz hőmérséklete 340 K.

a) Mekkora a nitrogén hőmérséklete a B és C állapotokban?

b) Mekkora az energiaváltozás a $B \rightarrow C$ folyamatban?

c) Mekkora az $A \rightarrow B$ szakaszon a hőfelvétel?

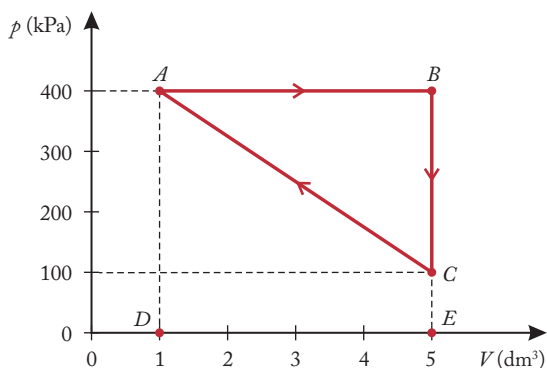
d) Mekkora és milyen előjelű a munka a $C \rightarrow A$ szakaszon?



2 Az ábrán látható körfolyamatot 1,2 mol neonnal végeztük.

a) Mekkora a gáz hőmérséklete az A, B és C állapotban?

b) Számítsuk ki a körfolyamat termikus hatásfokát!

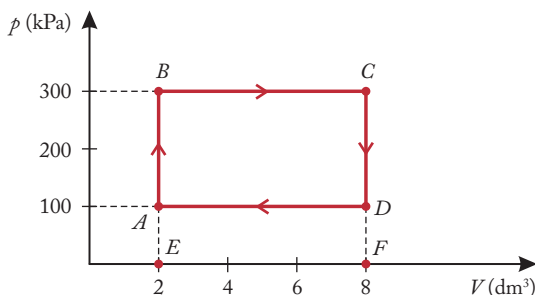


3 Az ábrán látható körfolyamatban oxigént alkalmaztunk. Az A állapotban a gáz hőmérséklete 17°C .

a) Mekkora hőt vesz fel az oxigén az $A \rightarrow B$ állapotváltozás közben?

b) Mekkora és milyen előjelű a munkavégzés a $B \rightarrow C$ szakaszon?

c) Számítsuk ki a körfolyamat termikus hatásfokát!



53. lecke

Olvadás, fagyás



Miért csökken a levegő hőmérséklete nagy tömegű hó olvadásakor?

Termikus kölcsönhatás közben az anyagoknak nemcsak a hőmérséklete, hanem a halmazállapota is megváltozhat. Különböző halmazállapotváltozások jöhetnek létre. Télen, hosszan tartó hidegben befagy a Balaton. A fagyás megindulásakor azt tapasztaljuk, hogy kissé enyhül a levegő hőmérséklete. *Mivel magyarázható ez a jelenség?*

Olvadás

Ha szilárd anyagokkal hőt közlünk, azaz melegítjük őket, akkor nő a belső energiájuk. Hő hatására megváltozhat a szilárd anyag halmazállapota is.



Vasolvasztás

Olvadásnak nevezzük azt a halmazállapotváltozást, amikor a szilárd anyag folyékonnyá válik. Az olvadás egy meghatározott hőmérsékleten következik be, amelyet olvadáspontnak nevezünk. Az olvadáspont függ az anyagi minőségtől és a külső nyomástól.

Az olvadáspont nyomásfüggésére jó példa a gleccser mozgása. A vastag jégtakaró olyan nagy nyomást fejt ki az alsó jégrétegre, hogy az megolvad. A gleccser alján víz keletkezik. A megolvadt folyadék rétegen a gleccser lassan a völgybe csúszik.

A gleccserek mozgása az olvadáspont nyomásfüggésével magyarázható



A szilárd anyag által olvadáskor felvett hőmennyiség egyenesen arányos annak tömegével:

$$Q \sim m, \text{ azaz } \frac{Q}{m} = \text{állandó.}$$

A $\frac{Q}{m}$ állandót **olvadáshőnek** nevezzük.

Jele: L_0 , mértékegysége: $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

$$Q = L_0 \cdot m$$

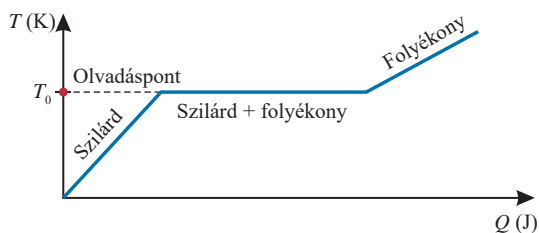
Az olvadáshő megmutatja, hogy 1 kg olvadásponton lévő anyag mekkora hőmennyiséget vesz fel olvadáskor a környezetétől.

| Anyag | Olvadáspont (°C) | Olvadáshő $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$ |
|----------|------------------|--|
| jég | 0 | 334 |
| acél | ~1400 | 205,5 |
| ólom | 327,5 | 23,9 |
| vörösréz | 1085 | 205 |

Néhány anyag olvadáspontja és olvadáshője

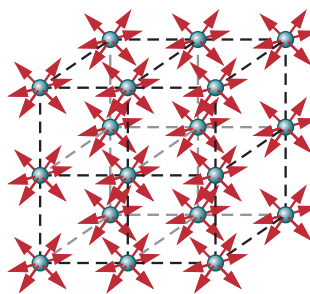
Olvadáskor az olvadó anyag hőt von el a környezetétől. Ezért hóolvadáskor érezhetően hűvösebb a levegő.

Az anyagoknak olvadáskor nem változik a hőmérsékletük. Az alábbi grafikonon a kezdetben szilárd anyag hőmérsékletét és halmazállapotát ábrázoltuk a felvett hő függvényében.

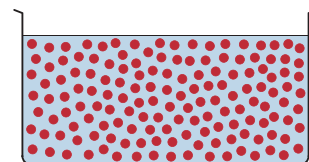


Szilárd anyag olvadása

Mire fordítódik a felvett hőmennyiség, ha nem változik az anyag hőmérséklete olvadáskor? A szilárd anyagok részecskéi a rácspontok környezetében harmonikus rezgőmozgást végeznek. A felvett hő hatására egyre nagyobb kitéréssel rezegnek. Az olvadásponton megszűnik a kristályszerkezet, az anyag megolvad, folyékonyá válik.



Szilárd anyag modellje



Folyadék modellje

A folyadék részecskéi között gyengébb erők hatnak, mint a szilárd anyagok atomjai és molekulái között. Folyadék halmazállapotban a részecskék rendezetlen mozgást végeznek, egymáson könnyen „elgörödülnek”. A szilárd anyagok által olvadáskor felvett hőmennyiség a részecskék helyzeti energiáját növeli, a részecskék kötési energiáját pedig csökkenti. Olvadáskor a legtöbb anyag térfogata nő, kivétel a jég-víz átmenet. Ezzel az érdekes jelenséggel egy későbbi leckében még foglalkozunk.

Fagyás

Azt a halmazállapot-változást nevezzük fagyásnak, amelynek során a folyékony anyag szilárrá válik. A fagyás egy meghatározott hőmérsékleten következik be, ez a fagyáspont. Ugyanazon anyag olvadáspontja és fagyáspontja egyenlő.

Fagyás közben az anyag hőt ad át a környezetének. Ez a hőmennyiség megegyezik az olvadáskor felvett hővel. A folyadékok hőmérséklete nem változik fagyáskor, annak ellenére, hogy csökken a belső energiájuk. Fagyáskor az anyagok térfogata csökken, a víz ez alól is kivétel.

A fagyáskor felszabaduló hőmennyiség kiszámítása az olvadáshő segítségével történik:

$$\Delta E_b = Q = L_0 \cdot m$$

Mindezek ismeretében már tudunk válaszolni a lecke elején feltett kérdésre: nagy mennyiségű víz megfagyásakor nagy hőmennyiség szabadul fel. Ez kis mértékben ugyan, de növeli a levegő hőmérsékletét.



Az anyagok hőkapacitása, fajhője és mólhője

A szilárd és a folyékony anyagok hőkapacitását és fajhőjét a gázoknál megismert módon határozhatjuk meg. Fizikai mérések azt mutatják, hogy a különböző anyagok melegítéséhez szükséges hőmennyiség (Q) egyenesen arányos a hőmérséklet megváltozásával (ΔT).

$$Q \sim \Delta T, \text{ tehát } \frac{Q}{\Delta T} = \text{állandó.}$$

A $\frac{Q}{\Delta T}$ állandó neve: **hőkapacitás**.

Jele: C ,

$$\text{mértékegysége: } 1 \frac{\text{J}}{\text{K}} = 1 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}}.$$

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

A **hőkapacitás megmutatja, hogy mennyi hőmennyiséget kell közölni az adott anyaggal ahhoz, hogy hőmérséklete 1 K-nel emelkedjen.**

Az anyag fajhőjén hőkapacitásának és tömegének hányadosát értjük.

$$\text{Jele: } c, \text{ mértékegysége: } 1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

$$c = \frac{C}{m}, \text{ } c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}, \text{ azaz } Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

| Anyag | Fajhő $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$ |
|-----------|--|
| alumínium | 900,2 |
| ezüst | 234,5 |
| higany | 1381,7 |
| vörösréz | 385 |
| vas | 464,8 |
| jég | 2093 |
| víz | 4183 |
| acél | 470 |
| beton | 840 |
| benzin | 2100 |

Néhány anyag fajhője 0°C -on

Az anyag mólhőjén hőkapacitásának és anyagmennyiségének (a mólok számának) hányadosát értjük. A mólhő elnevezés a moláris hőkapacitás kifejezés rövidítése. Jele: c_M .

$$c_M = \frac{C}{n}, \quad c_M = \frac{Q}{n \cdot \Delta T}$$

$$\text{Mértékegysége: } 1 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Mivel a gázoknak kétféle hőkapacitása van, ezért a mólhőjük is kétféle: az állandó nyomáson, illetve az állandó térfogaton értelmezett mólhő.

Az anyagok hűtése, fagyasztás

A kohászatban nagyon fontos, hogy mennyi idő alatt „fagy” meg, szilárdul meg a megolvasztott fém vagy más néven olvadék. Ha a hűtés sebessége kisebb a kristályosodás sebességénél, akkor van idő a kristályszerkezet kialakulására. Ha nagyobb a hűtés sebessége, mint a kristályosodásé, akkor arra nem jut idő, amorf vagy üveges szerkezet jön létre. Az amorf anyagok részecskéi rendezetlenül helyezkednek el.

A folyékony anyag megszilárdul, megdermed, a folyadékokra jellemző szerkezet fagy meg. Az amorf anyagoknak nincs olvadáspontjuk, hanem egy hőmérséklet-intervallumon belül olvadnak meg. Például az üveg 320°C és 825°C között olvasható. Az amorf fémeket szokás fémüvegnek is nevezni. A kristályos szerkezetű és amorf fémeknek eltérőek a fizikai, kémiai és egyéb tulajdonságaik. A fémiparban és a villamosiparban mindegyik szilárd fémnek széles felhasználási területei alakultak ki.

Élelmiszereink tárolásánál, tartósításánál is fontos szerepe van a hűtésnek, fagyasztásnak. A hűtőszekrényben általában 0°C és 5°C között tartjuk a gyümölcsöket, húsokat és más élelmiszereket.

A gyorsfagyasztott vagy mirelit termékeket fagyasztószekrényben, fagyasztóládában tároljuk. A háztartási fagyasztókban hónapokig, sőt egy évig is eltarthatók egyes élelmiszerek. A hűtésnél, fagyasztásnál nagyon sok fontos szabályt kell betartanunk, hogy élelmiszereink tárolása biztonságos legyen. Például, ha egy gyorsfagyasztott ételt felolvasztunk, akkor a maradékot tilos visszafagyasztani.

KIDOLGOZOTT FELADATOK

1. Piroska a 4 dl 25 °C-os üdítőitalát 0 °C-ra szeretné lehűteni. Mennyi –10 °C-os jégkockát tegyen bele? Az üdítőt tekintjük víznek!

$$L_0 = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, c_{\text{jég}} = 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}, c_{\text{víz}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$$

MEGOLDÁS

Adatok:

$$t_{\text{jég}} = -10 \text{ °C}$$

$$m_{\text{víz}} = 0,4 \text{ kg (4 dl víz)}$$

$$t_{\text{k}} = 0 \text{ °C}$$

$$t_{\text{víz}} = 25 \text{ °C}$$

$$m_{\text{jég}} = ?$$

Az üdítő által leadott hőt a jég felveszi. $Q_{\text{le}} = Q_{\text{fel}}$

A jég felmelegszik az olvadáspontonra, majd megolvad.

$$c_{\text{víz}} \cdot m_{\text{víz}} \cdot (t_{\text{víz}} - t_{\text{k}}) = L_0 \cdot m_{\text{jég}} + c_{\text{jég}} \cdot m_{\text{jég}} \cdot (t_{\text{k}} - t_{\text{jég}})$$

$$m_{\text{jég}} \cdot (L_0 + c_{\text{jég}} \cdot (t_{\text{k}} - t_{\text{jég}})) = c_{\text{víz}} \cdot m_{\text{víz}} \cdot (t_{\text{víz}} - t_{\text{k}})$$

$$m_{\text{jég}} = \frac{c_{\text{víz}} \cdot m_{\text{víz}} \cdot (t_{\text{víz}} - t_{\text{k}})}{L_0 + c_{\text{jég}} \cdot (t_{\text{k}} - t_{\text{jég}})} =$$

$$= \frac{4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \cdot 0,4 \text{ kg} \cdot 25 \text{ °C}}{334000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} + 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \cdot 10 \text{ °C}} = 0,118 \text{ kg}$$

Piroskának 118 g jeget kell tennie az üdítőbe.

2. A $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ sebességgel haladó 1200 kg tömegű gépkocsi fékez, majd megáll. a) Mekkora hőmennyiséget vett fel a fékberendezés és a környezet? b) Az acél fékberendezés hőmérsékletét a keletkezett hőmennyiség 65%-a növelte. Mekkora a fékberendezés tömege, ha a hőmérséklete 18 °C-kal nőtt? Az acél fajhője: $470 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$.

MEGOLDÁS

Adatok:

$$v = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 11,11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$m = 1200 \text{ kg}, \Delta T = 18 \text{ °C}, c = 470 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$$

$$a) Q = ?, b) m_{\text{fék}} = ?$$

a) A gépkocsi mozgási energiája hővé alakul:

$$Q = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{1200 \text{ kg} \cdot 123,43 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2} = 74\,058 \text{ J}$$

74 058 J hőmennyiséget vett fel a fékberendezés és a környezet.

b) A keletkezett hő 65%-a növelte a fék hőmérsékletét: $c \cdot m_{\text{fék}} \cdot \Delta T = Q \cdot 0,65$

Fejezzük ki a tömeget, helyettesítsük be az ismert mennyiségeket, végezzük el a számítást:

$$m_{\text{fék}} = \frac{Q \cdot 0,65}{c \cdot \Delta T} = \frac{74\,058 \text{ J} \cdot 0,65}{470 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \cdot 18 \text{ °C}} = 5,69 \text{ kg}$$

A fék tömege 5,69 kg.

Túlhűtött folyadékok

A tiszta folyadékokat rázkódásmentesen, lassú, óvatos hűtéssel jóval a fagyáspontjuk alá hűthetjük. Ilyenkor *túlhűtött folyadék* keletkezik. A fixírsó olvadáspontja 48 °C, de óvatos hűtéssel még 20 °C-on is folyékony marad. A túlhűtött folyadék állapota labilis. Kristálydarabka bedobásakor vagy rázkódás hatására a túlhűtött folyadék hirtelen megfagy. Hőmérséklete nagyon gyorsan a fagyáspontra emelkedik. A portól és a kristálygócoktól megtisztított víz –10 °C-ra is hűthető. Az *ónos eső* nem más, mint túlhűtött víz. A Föld felszínére érve nekiütözik az úttestnek, a különböző tárgyakra, és azonnal megfagy. Jégbevonat keletkezik az úttesten, a fákon, a vezetékeken. Ez nagy problémát okozhat a közlekedésben és az áramszolgáltatásban.



Ágakra fagyott ónos eső

Olvasmány



Jedlik Ányos (1800–1895)

Olvasmány

Bencés rendi szerzetes, nagy magyar fizikus. Hosszú élete során a fizika több területén alkotott maradandót. Legjelentősebb találmányai az *elektromossághoz tartoznak, de foglalkozott hőtannal is*. 1847 és 1851 között írt 66 oldalas műve csak kéziratban maradt fenn. 1990-ben jelent meg nyomtatásban. A hőkapacitást „hévfoghatóság”-nak nevezi, a hőmérsékletet „hévmérsék”-nek, a fajhőt pedig „fajlagi meleg”-nek.

„Azon meleg mennyiség, mely bizonyos tömegű testben szükséges, hogy más vele egyenlő tömeggel ugyan azon hévmérsékbe jöjjön, fajlagi melegnek mondatik.”

„A testek azon tulajdona, melynél fogva bizonyos hévmérsék elérésére több vagy kevesebb meleget vesznek fel, hévfoghatóságnak neveztetik.”

Jedlik *Hőtan* könyve meglepően jól tárgyalja a hővel kapcsolatos ismereteket. Elég csak a tartalomjegyzéket megnézni:

- A melegről
- A meleg terjedéséről
- Hévfoghatóság, fajlagi meleg
- Párolgás, forrás
- A meleg forrásairól

Érdekes táblázatokat is találunk a könyvben. Például a hévfoghatóságról (hőkapacitásról). Az anyagok elnevezése: körlég → levegő; élyen → oxigén; szénéleg → szén-dioxid; köneny → hidrogén; legeny → nitrogén.



Jedlik Ányos (Várady Lajos [1911–1998] festménye, a festő a győri Jedlik Ányos Középiskola tanára volt)

Handwritten notes and a table from Jedlik's work. The table lists specific heat values for various substances:

| | | |
|-----|-------|------|
| 100 | 23,78 | 12,2 |
| 110 | 30,24 | 12,8 |
| 120 | 35,32 | 13,5 |
| 130 | 39,48 | 14,2 |
| 140 | 43,72 | 14,9 |
| 150 | 48,05 | 15,6 |
| 160 | 52,41 | 16,4 |
| 170 | 56,71 | 17,2 |
| 180 | 61,05 | 18,0 |
| 190 | 65,41 | 18,8 |
| 200 | 69,78 | 19,6 |

Below the table are handwritten notes in Hungarian, including the title 'Ezen tábláz néhany legenyű testek hévfoghatóságát mutatja.' and a table with columns for substance names, specific heat, and another value.

Ezen tábláz néhany legenyű testek hévfoghatóságát mutatja.
La Heube és Decharé határozataik szerint.

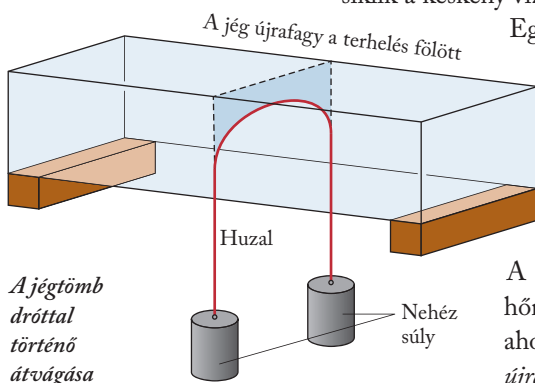
| Legenyűek nevei | Wegener által meghatározott | | |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|---|
| | egyenlő tömegű testekben | egyenlő tömegűben ha körléggel | egyenlő tömegűben ha vízrel $\lambda = 1$ |
| Körlég | 1,000 | 1,000 | 0,262 |
| Élyen | 0,976 | 0,885 | 0,236 |
| Főnyeny | 0,903 | 12,540 | 3,294 |
| Legeny | 1,000 | 1,072 | 0,275 |
| Lehéleg | 1,074 | 1,080 | 0,288 |
| Legelés | 1,259 | 0,888 | 0,237 |
| Leénen | 1,258 | 0,828 | 0,221 |
| Olajnemű lég | 1,553 | 1,578 | 0,421 |
| Vízgőz | 1,960 | 3,136 | 0,847 |

Handwritten notes and a diagram of a scientific apparatus. The diagram shows a glass vessel with a stopcock and a thermometer, used for measuring specific heat.

Handwritten notes at the bottom of the page, including the title 'IV. Fejezet' and 'IV. Gőz'.

Olvadáspont-csökkenés nyomás hatására

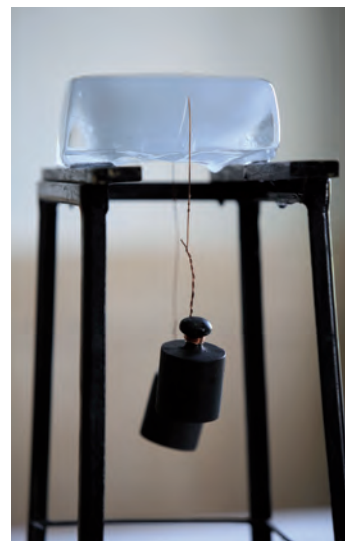
A víz olvadáspontja nyomás hatására csökken. Erre már láttunk egy példát a gleccser mozgását magyarázva. Korcsolyázáskor ugyanezt a jelenséget figyelhetjük meg. A korcsolya vékony éle nagy nyomást fejt ki a jégre, és az megolvad. A korcsolya könnyedén, szinte súrlódás nélkül siklik a keskeny vízrétegen.



A jégtömb dróttal történő átvágása

Egy másik érdekes jelenséget szemlélhet a mellékelt ábra. A jégdarabot a rajta átvetett, nagy súlyokkal terhelt vékony drót átvágja. A jégtábla azonban nem esik ketté, mert a jég a huzal fölött ismét összefagy. A $0\text{ }^\circ\text{C}$ -nál valamivel alacsonyabb hőmérsékletű jég csak ott olvad meg, ahol a drót nyomja. Ez a jelenség az újrafagyás vagy regeláció.

Olvasmány



Kérdések és feladatok

1 Mennyi $0\text{ }^\circ\text{C}$ -os jeget kell beledobni 3 dl $22\text{ }^\circ\text{C}$ -os üdítőbe, hogy $8\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű italt kapjunk?

$$L_0 = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, c_{\text{jég}} = 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}, c_{\text{víz}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$$

2 Egy termoszban 4 kg $-12\text{ }^\circ\text{C}$ -os jég van. Melegedés közben 2000 kJ hőt vesz fel a környezetéből. Elolvad-e a jég? Mekkora lesz a víz hőmérséklete, ha elolvad?

3 Mekkora tömegű vizet hűt le $30\text{ }^\circ\text{C}$ -ról $12\text{ }^\circ\text{C}$ -ra 2 db 30 g-os, $0\text{ }^\circ\text{C}$ -os jégkocka?

4 Egy termoszban 1,5 liter $10\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű víz van. Beledobunk 300 g tömegű, $-8\text{ }^\circ\text{C}$ -os jégdarabot. Mi történik a folyamat során?

5 Mennyi hőt kell közölnünk 380 g, $-18\text{ }^\circ\text{C}$ -os jéggel, ha azt szeretnénk, hogy az olvadás után $28\text{ }^\circ\text{C}$ -os víz keletkezzen?

6 A 250 g tömegű ólomgolyó szabadon esik, majd rugalmatlanul ütközik a jól szigetelt asztallal. Milyen magasról esett, ha a hőmérséklete $3,5\text{ }^\circ\text{C}$ -kal emelkedett? Az összes helyzeti energia 25%-a a környezetet melegítette. Az ólom fajhője $130 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$.

7 Hogyan lehet a réz fajhőjének ismeretében kiszámítani a mólhőjét? Vegyünk 1 mól, használjuk fel a hőkapacitás fogalmát!



54. lecke

Párolgás, forrás, lecsapódás



Miért könnyíti meg az ételek főzését a kuktafazék?

A mosott ruhából elpárolog a víz. Főzéskor gőzképződést figyelhetünk meg. A teáskanna sípoló hangot ad a kiáramló vízgőz hatására. *Mi a különbség a párolgás és a forrás között?*

Párolgás

Párolgásnak nevezzük azt a halmazállapot-változást, amikor a folyékony anyag légneművé válik.

A párolgás a folyadék felszínén történik. A párolgás nincs állandó hőmérséklethez kötve, **minden hőmérsékleten** végbemegy.

Az anyag párolgáskor hőt von el a környezétől. Ez a hőmennyiség (Q) egyenesen arányos az elpárolgott folyadék tömegével (m).

$Q \sim m$, azaz $\frac{Q}{m} = \text{állandó}$

A $\frac{Q}{m}$ állandót párolgáshőnek nevezzük.

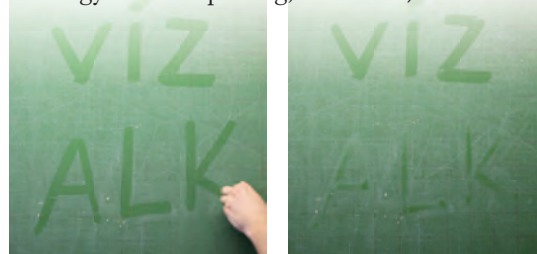
Jele: L_p , mértékegysége: $\frac{J}{kg}$.

$$\Delta E_b = Q = L_p \cdot m$$

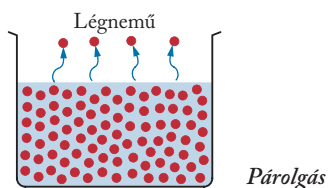
A párolgáshő az a fizikai mennyiség, amely megmutatja, hogy 1 kg tömegű folyékony anyag gőzzé alakításához mennyi hőmennyiségre van szükség.

A párolgás függ:

- a párolgó anyag hőmérsékletétől (magasabb hőmérsékleten több folyadék párolog el);
- a folyadék felszínétől;
- a környezet páratartalmától;
- az anyagi minőségtől (pl. az alkohol vagy a benzin gyorsabban párolog, mint a víz).



Az alkohollal írt szöveg hamarabb elpárolog a tábláról, mint a vízzel írt



Párolgáskor a folyadék felszínének közelében lévő nagy sebességű részecskék kilépnek a folyadékból. Ezek a részecskék egymásnak ütközve, rendezetlenül mozogva kitöltik a rendelkezésükre álló teret. Létrejön a légnemű halmazállapot.

Párolgáskor a folyadékból először a nagyobb sebességű molekulák távoznak. A maradék molekulák sebességének átlaga, mozgási energiája csökken. Ez azt jelenti, ha a folyadékkal nem közlünk hőt, akkor párolgáskor lehűl. A helyi érzéstelenítéskor is ez a jelenség figyelhető meg. A bőrre fecskendezett, nagyon gyorsan párologó klór-etil helyi „fagyasztást” okoz.

Forrás

Forráskor a folyadék belseje is párolog, gázbuborékok jelennek meg benne. A forrás adott nyomáson csak meghatározott hőmérsékleten megy végbe, ezt nevezzük az anyag forráspontjának. A folyadékok forráspontja függ a nyomástól és az anyagi minőségtől.



Magas hegyekben a hegyászok teavize akár 80 °C-on is forrhat

Nagyobb nyomáson nő, alacsonyabb nyomáson csökken a forráspont. Magas hegyekben akár 80 °C-ra is csökkenhet a víz forráspontja a 100 °C helyett.

A kuktafazékban lévő nyomás a normál nyomás kétszerese. A víz forráspontja kb. 120 °C, ez meggyorsítja a főzést.

Forráskor a folyadék hőt von el a környezetétől. Ez a hőmennyiség (Q) egyenesen arányos a forrásponton elforralt anyag tömegével (m).

$$Q \sim m, \text{ azaz } \frac{Q}{m} = \text{állandó.}$$

A $\frac{Q}{m}$ állandót forráshőnek nevezzük.

Jele: L_f , mértékegysége: $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

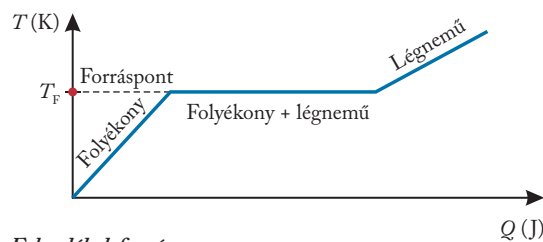
$$Q = L_f \cdot m$$

A forráshő az a fizikai mennyiség, amely megmutatja, hogy 1 kg forrásponton lévő folyékony anyag gőzzé válásakor mennyi hőmennyiségre van szükség.

| Anyag | Forráspont (°C) | Forráshő $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$ |
|--------------|-----------------|---|
| víz | 100 | 2256 |
| etil-alkohol | 78,4 | 906 |
| benzol | 80 | 396 |
| petróleum | 200 | 335 |

Néhány anyag forráspontja és forráshője

Az anyagok forrásakor nem változik a hőmérsékletük. Az alábbi grafikonon a kezdetben folyékony anyag hőmérsékletét és halmazállapotát ábrázoltuk a felvett hő függvényében.

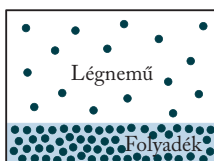


Folyadékok forrása



Telített és telítetlen gőzök

Telített gőznek nevezzük a zárt térben a folyadékkal együtt lévő gőzt. A telített gőz nyomása függ a hőmérséklettől, annak emelkedésével erősen nő. A térfogattól nem függ a nyomás. Ha csökkentjük a térfogatot, állandó hőmérsékleten a gőz nyomása állandó marad, mert egy része folyékonyvá válik.



Telített gőz

Ha a zárt térben csak légnemű anyag van, ezt **telítetlen gőznek** nevezzük. A telítetlen gőzökre jó megközelítéssel érvényes az állapotegyenlet.

Szublimáció

A zárt üvegedénybe tett jód melegítésekor a szilárd jód gőzzé alakul, majd a gömblombik hideg falán apró kristályok formájában újra szilárd lesz.



Jód szublimációja és megszilárdulása

Szublimációnak nevezzük azt a halmazállapot-változást, amelyben a szilárd anyag légneművé válik.

Úgy is mondhatjuk, a szublimáció a szilárd anyagok párolgása.

A kámför, a naftalin és a jód normál körülmények között is szublimál. A szublimálást úgy gyorsíthatjuk, ha a szilárd anyagot zárt üvegedénybe tesszük, majd kiszivattyúzzuk a levegőt.

Lecsapódás

Lecsapódásnak nevezzük azt a halmazállapot-változást, amely során a légnemű anyag folyékonyvá válik. Lecsapódás közben az anyag hőt ad át a környezetének, csökken a belső energiája.

Ez a hőmennyiség egyenlő azzal, amelyet forráskor felvett. A hőmennyiség kiszámítása a forráshő segítségével történik: $Q = L_f \cdot m$

Gőzfűtéskor a fűtőtestben lecsapódó gőz jelentős hőt ad át a környezetének. Főzéskor, ha leveszünk a fedőt a lábasról, forró víz folyik le róla, mert a vízgőz lecsapódott a fedő belső felületére. Fürdéskor, zuhanyozáskor vízpára csapódik le a tükörré és a csempére.



Ablaküvegre lecsapódott pára

Hőerőművek

A hőerőművekben a fűtőanyag elégetésével vizgőzt állítanak elő. Leggyakoribb fűtőanyag a szén, olaj és a gáz. A turbinába vezetett gőz működteti a villamos generátort is, mert közös a tengelyük. A modern hőerőművekben egyszerre alkalmaznak gőzturbinát és gázturbinát. A gázturbinában elégetett földgáz működteti a villamos generátort. A gázturbinából távozó füstgázzal gőzt állítanak elő, amely egy másik gőzturbinát üzemeltet. A gőzturbina villamos generátort működtet, így sokkal nagyobb hatások érhető el.



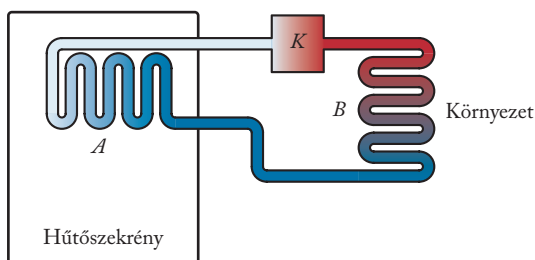
Mátrai Hőerőmű (Visonta)

Hűtőgépek

A **hűtőgépeket** alacsony hőmérséklet előállítására használják. A háztartásokban használt hűtőgépeket hűtőszekrénynek szokás nevezni. Működésük fizikai (hőtani) alapja, hogy a párolgó anyagok hőt vonnak el környezetüktől.

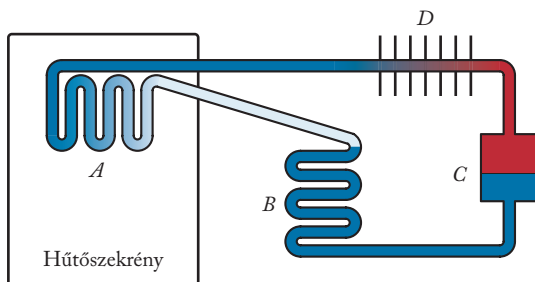
Működésük szerint két fő típusuk terjedt el: a kompresszoros (kompressziós) és az abszorpciós hűtőszekrények.

A **kompresszoros hűtőgépekben** és hűtőszekrényekben a körfolyamatot végző hűtőközeg könnyen párolgó folyadék. Régebben freont használtak, de ez a Föld ózonrétegét károsítja, ezért ma már nemzetközi egyezmény tiltja alkalmazását. A modern hűtőszekrényeknél az R 600 jelű izobutánt használják.



A hűtőszekrény belsejében lévő csőrendszerben (*A*) a folyékony hűtőközeg elpárolog, és hőt von el a hűtőben lévő anyagoktól. A kompresszor (*K*) az elpárolgott anyagot kiszívja a csőspirálból, majd összenyomja. A sűrített hűtőanyag a hűtőgép hátoldalán lévő csőkígyóba (*B*) kerül. A csőrendszerben a nagy nyomású hűtőanyag hőt ad le a környezetének, lehűl, cseppfolyósodik. A folyékony hűtőközeget a hűtőszekrény belsejében lévő csőspirálba (*A*) vezetik, és a körfolyamat folytatódik.

Az **abszorpciós hűtőszekrényekben** a hűtési körfolyamatot mechanikai munka helyett hőenergiával biztosítják. Hűtőközegnek ammóniát használnak.



A hűtőszekrény belsejében lévő csőkígyóban a folyékony ammónia gőzhalmazállapotba kerül, és hőt von el a hűtendő tétből. Az ammóniagőzt az abszorberben (oldóban, *B*) lévő víz elnyeli, a gőz az oldószerben feloldódik. A keletkezett ammónia-víz keverék a fűtőegységbe (*C*) kerül, ahol hevítéssel az oldatból kinyerik az ammóniagőzt. A forró ammóniagőz a kondenzátorba (*D*) áramlik. Nyomása megnő, hőt ad át környezetének, lehűl, cseppfolyósodik. A folyékony ammónia a hűtőszekrény belsejében lévő csőspirálba (*A*) áramlik, és a körfolyamat folytatódik. Az abszorpciós hűtőszekrények hatása foka rosszabb, mint a kompresszoros hűtőké. Olyan helyen alkalmazzák, ahol nincs elektromos áram, gázpalackról is működtethető.



Denis Papin (1647–1712)

Francia fizikus. 1672-től Huygens asszisztense, 1688-tól professzor Magdeburgban. Megfigyelte, hogy a víz forráspontja függ a nyomástól. 1674-ben fejlesztette ki a később róla elnevezett *Papin-fazekat*. Túlnyomást szabályozó szelepet is szerelt rá. A szelep beállításával elérhetjük, hogy a vízgőz csak 500 kPa nyomásnál hagyja el az edényt. Ilyen nyomás esetén a víz kb. 150 °C-on kezd forrni. A Papin-fazekat a mai kuktafazék elődjének tekinthetjük. 1681-ben került kereskedelmi forgalomba. Széles körben csak az 1970-es évektől terjedt el. Papin 1690-ben *gőzgépet is szerkesztett*.

Denis Papin (Ismeretlen festő képe, 1689)

Olvasmány

Kalorimetria

A kalorimetria szó jelentése: hőmennyiségmérés. A kalorimetria körébe tartoznak – tágabb értelemben – a hőmennyiséggel, a fajhővel, az olvadáshővel és a forráshővel kapcsolatos mérések.

A kaloriméter olyan tartály vagy edény, amelynek jó a hőszigetelése. A köznap életben használt hőpalackok, termoszkok jó közelítéssel megfelelnek a kaloriméternek.

A kalorimetria nemcsak mérési eljárásokat, de számítási eljárásokat is jelent. A számítások alap gondolata az energia-megmaradás elvén alapul.

Kaloriméter

Ha két anyag halmaz között hőcsere történik, akkor az egyik által leadott hő megegyezik a másik által felvett hővel.

A kalorimetria alapegyenlete: $Q_{le} = Q_{fel}$

A számításos eljárás alkalmas közös hőmérséklet, tömeg és fajhő kiszámítására. A fajhő segítségével az anyag halmazállapotát is meghatározhatjuk.

KIDOLGOZOTT FELADATOK

1. Mekkora lehet az elektromos főzőlap teljesítménye, ha 2 liter 15 °C-os vizet 44 perc alatt forraltunk el? A hatásfokot vegyük 1-nek!

MEGOLDÁS

Adatok:

$$c_{\text{víz}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$L_f = 2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$T = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t = 44 \text{ perc} = 2640 \text{ s}$$

$$P = ?$$

Az elektromos áram munkája szolgáltatja a szükséges hőmennyiséget:

$$W = Q = P \cdot t$$

A vizet fel kell melegíteni a forráspontra, majd el kell forralni:

$$Q = c_{\text{víz}} \cdot m \cdot \Delta T + L_f \cdot m$$

A két összefüggésből:

$$P = \frac{c_{\text{víz}} \cdot m \cdot \Delta T + L_f \cdot m}{t} =$$

$$= \frac{4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2 \text{ kg} \cdot 85 \text{ } ^\circ\text{C} + 2256000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 2 \text{ kg}}{2640 \text{ s}} =$$

$$= 1979,5 \text{ W}$$

Az elektromos főzőlap teljesítménye 1979,5 W. A valóságban ennél nagyobb teljesítménnyel kell számolnunk a veszteségek miatt.

2. Jól hőszigetelt edényben 300 g -15 °C -os jég van. Milyen halmazállapotú anyag keletkezik, ha 20 g 120 °C -os vízgőzt vezetünk az edénybe?

MEGOLDÁS

Adatok:

$$m_{\text{jég}} = 300\text{ g}, \quad m_{\text{gőz}} = 20\text{ g}, \quad L_0 = 3,34 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}, \quad L_f = 2,256 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$T_{\text{jég}} = -15\text{ °C}, \quad T_{\text{gőz}} = 120\text{ °C}, \quad c_{\text{gőz}} = 1900 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}, \quad c_{\text{víz}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}, \quad c_{\text{jég}} = 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$$

A jég 0 °C -ra melegszik, majd megolvad. A felvett hőmennyiség:

$$Q_{\text{fel}} = c_{\text{jég}} \cdot m_{\text{jég}} \cdot (0\text{ °C} - T_{\text{jég}}) + L_0 \cdot m_{\text{jég}} = 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \cdot 0,3\text{ kg} \cdot 15\text{ °C} + 3,34 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0,3\text{ kg} = 109\,650\text{ J}$$

A gőz lehűl 100 °C -ra, lecsapódik, a keletkezett víz lehűl 0 °C -ra. A leadott hőmennyiség:

$$Q_{\text{le}} = c_{\text{gőz}} \cdot m_{\text{gőz}} \cdot (T_{\text{gőz}} - 100\text{ °C}) + L_f \cdot m_{\text{gőz}} + c_{\text{víz}} \cdot m_{\text{gőz}} \cdot 100\text{ °C} =$$

$$= 1900 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \cdot 0,02\text{ kg} \cdot 20\text{ °C} + 2,256 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0,02\text{ kg} + 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \cdot 0,02\text{ kg} \cdot 100\text{ °C} = 54\,280\text{ J}$$

A számítások alapján látható, hogy a gőz által leadott hő nem tudja az összes jeget megolvasztani.

A hiányzó hőmennyiség: $Q_x = Q_{\text{fel}} - Q_{\text{le}} = 55\,370\text{ J}$

Mennyi jeget (m_x) tudna ez a hiányzó hő megolvasztani?

$$Q_x = L_0 \cdot m_x; \quad m_x = \frac{Q_x}{L_0} = \frac{55\,370\text{ J}}{3,34 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0,166\text{ kg}$$

A kaloriméterben $0,166\text{ kg } 0\text{ °C}$ -os jég és $0,154\text{ kg } 0\text{ °C}$ -os víz keveréke lesz.

Kérdések és feladatok

1 Hány gramm 100 °C -os vízgőzt kell a 35 °C -os, $1,5\text{ dl}$ térfogatú kávéban lecsapatni, hogy 60 °C -os forró kávét kapjunk?

$$c_{\text{víz}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}, \quad c_{\text{gőz}} = 1900 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}, \quad L_f = 2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

2 Mekkora tömegű vizet párologtat el egy 60 kg -os tanuló ahhoz, hogy testhőmérséklete $0,8\text{ °C}$ -kal csökkenjen? Vegyük figyelembe, hogy az emberi test nagyrészt vízből áll, és testhőmérsékleten a víz párolgáshője $2400 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$!

3 A $8\text{ m} \times 6\text{ m} \times 3\text{ m}$ -es terem levegőjének hőmérsékletét 6 °C -kal emeljük gőzfűtéses fűtőtesttel. A fűtőtestbe vezetett 100 °C -os vízgőz 50 °C -ra hűl le. A felszabaduló hőmennyiség 30%-a melegíti a levegőt. Számítsuk ki, mekkora tömegű gőzre van szükség!

$$Q_{\text{levegő}} = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A levegő állandó nyomáson mért fajhője:

$$c_{\text{levegő}} = 997 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$$



4 A 120 g tömegű, 80 °C-os vízzel 300 kJ hőmennyiséget közlünk állandó nyomáson, jól szigetelt tartályban. Mi történik? Ábrázoljuk a folyamatot hőmérséklet-hőmennyiség grafikonon!

5 A desztillálóberendezésbe 3 kg 100 °C-os vizgőzt vezettünk. A desztillált víz hőmérséklete 35 °C. Hány kg 15 °C-os hűtővizet használtunk fel, ha az 35 °C-ra melegedett fel?

6 Hány kg 80 °C-os termásvizet kell töltenünk 40 kg 10 °C-os vízhez, ha azt szeretnénk, hogy a közös hőmérséklet 28 °C legyen? A környezettel való hőcserétől eltekintünk.

7 A fizikaszakkörön az egyik tanuló 40 g-os rézgolyót melegített gázlánggal. Az izzó golyót fél liter 18 °C-os vízbe tette. A közös hőmérséklet 20 °C lett. Mekkora volt a gázláng hőmérséklete?

$$c_{\text{víz}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}, \quad c_{\text{réz}} = 385 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

A Tiszaleti Vízerőmű

8 Ha a kaloriméterben lévő 3 liter 8 °C-os vízbe 355 g tömegű 400 °C-os fémkockát teszünk, a közös hőmérséklet 17,6 °C lesz. Számítsuk ki a fémkocka fajhőjét! Keressük meg a *Négyjegyű függvénytáblázatokból*, milyen fémből készült a kocka!

9 A jól szigetelt tartályban összekeverünk 500 g 100 °C-os alumíniumport és 200 g 20 °C-os vasreszeléket. Mekkora lesz a közös hőmérséklet?

$$c_{\text{Al}} = 900 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}, \quad c_{\text{vas}} = 465 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

10 A kaloriméterben 180 g 25 °C-os víz van. Beletöltünk 80 g 85 °C-os vizet. A közös hőmérséklet 32 °C lesz. Számítsuk ki a kaloriméter hőkapacitását!

11 Hasonlítsuk össze a vízerőmű és hőerőmű működését! Hogyan történik az energia átalakítása? Nézzünk utána az interneten, szakkönyvekben!

55. lecke

Halmazállapot- változások a természetben



Mitől függ a hópelyhek mérete?

A természetben előforduló halmazállapot-változásokat jól tanulmányozhatjuk a víz jéggé, illetve gőzzé alakulásán. A Föld felszínének kb. 60%-át tengerek és óceánok borítják. A nagy felületű víz párolgása miatt vízgőz is található a Föld légkörében. Szilárd halmazállapotú víz is sok helyen előfordul: magas hegyekben, jégmezőkön. *Miért emelkedik napjainkban a tengerek vízszintje? Mi okozza a jégtáblák leszakadását a sarkvidékeken?*

A víz a természetben mindhárom halmazállapotban előfordul

Az élő szervezetek nagy mennyiségben tartalmaznak vizet. A felnőtt ember szervezetének 60%-a víz, a csecsemők esetében ez az arány 75%, míg az időseknél 55%.

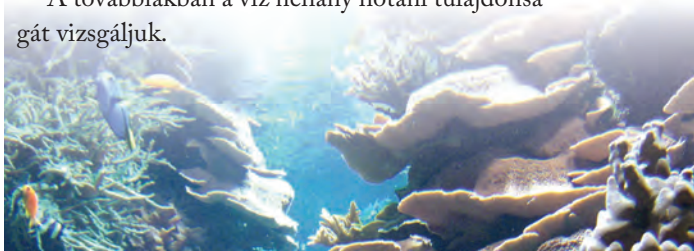
A víz az egyetlen folyadék, ami nagy mennyiségben létezik a Földön. Nagyon sok élőlény élettere a víz: a folyók, a tavak, a tengerek és az óceánok. A víz a földi élet bölcsője, valaha minden élőlény vízben élt, a szárazföldi állatok ősei, és így a mi őseink is.

Az élőlények táplálkozásában is fontos szerepe van a víznek. Az emberek sem tudnák nélkülözni: táplálkozásunkhoz, higiéniánkhoz elengedhetetlen. Sőt modern életünk alapjának, az energiának a termelése is megoldhatatlan volna víz nélkül. A vízi erőművek által termelt energia nehezen lenne pótolható. Minden erőmű a vizet használja gőzturbinái működtetéséhez. Még az atomerőművekben is gőzturbinák működnek, sőt legtöbbször az atomreaktorok hűtési rendszeréhez is vizet használnak. A jövő egyik lehetséges energiaforrását, a fúziós erőmű alapanyagát, a hidrogént is vízből nyerjük.

A víz szilárd halmazállapotban, azaz jég formájában szintén sok helyütt előfordul bolygónkon. Az Északi-sark és a Déli-sark nagy kiterjedésű jégmezői lényegesen befolyásolják a Föld éghajlatát.

A Földet körülvevő levegőben nagy mennyiségben vízgőz is előfordul. A nagy kiterjedésű tengerek és óceánok vízfelülete állandóan párolog.

A továbbiakban a víz néhány hőtani tulajdonságát vizsgáljuk.





Olvasás és fagyás

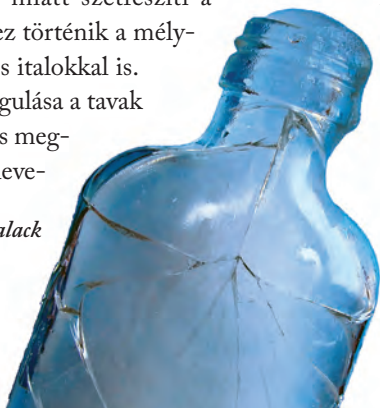
Már említettük, hogy fagyáskor a víz különlegesen viselkedik. A mérések azt mutatják, hogy $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a legkisebb a térfogata. *A jég térfogata olvadáskor csökken, a vízé fagyáskor nő.* Az olvadáskor bekövetkező térfogatcsökkenés azzal magyarázható, hogy a jég laza kristályszerkezete összeesik.

A jég sűrűsége kisebb, mint a vízé, mert fagyáskor a térfogat nő. *A kisebb sűrűségű test úszik a nagyobb sűrűségű folyadékban.* A jéghegy úszik a vízben, mert a sűrűsége kisebb, mint a vízé. Úszáskor a jéghegy kis része, kb. 10%-a van a vízfelszín felett, a nagyobb része a víz alatt helyezkedik el, nehezen észrevehető. Emiatt az úszó jéghegyek veszélyt jelentenek az óceánokon közlekedő hajókra.

A víz fagyáskor a térfogat növekedése közel 9%. Ez a jelentős térfogat-növekedés nagy mechanikai feszültséget okoz a palackok, tartályok anyagában. A gépkocsikban lévő hűtőfolyadékot fagyálló folyadéknak is nevezik, ugyanis még $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hidegben sem fagy meg. Ha nem megfelelő a hűtőfolyadék kémiai összetétele, akkor a téli hidegben megfagy, és a térfogat-növekedés miatt szétfeszíti a gépkocsi hűtőjét. Ugyanez történik a mélyhűtőben felejtett palackos italokkal is.

A víz rendellenes hőtágulása a tavak és a folyók befagyásakor is megfigyelhető. Télen a hideg leve-

A jég által szétfeszített palack



gő hatására a felszínen csökken a víz hőmérséklete. Ez a hideg víz lesüllyed a tó aljára. *Hőáramlás* alakul ki, a víz $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra hűl. További lehűléskor a hőáramlás megszűnik, a hidegebb vízrétegek a felszínen maradnak, megkezdődik a fagyás. A jég azonban jó hőszigetelő, és meggátolja, hogy az alul lévő víz is megfagyjon. A tó alján lévő $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os vízben a halak és a békák túlélnek a telet.



Miért lehet télen is halat fogni?

A levegő páratartalma

Az álló- és folyóvizek, valamint a nedves talaj párolgása miatt mindig van a levegőben vízgőz, más szóval nedvesség. A levegő nedvességtartalmát nevezhetjük páratartalomnak is. A levegő relatív páratartalmát *higrométerrel* méri.

A levegő nedvességtartalmának fontos szerepe van az élő szervezetek működésében. Az emberi tüdő egészséges működéséhez a relatív páratartalomnak 40% és 75% között kell ingadoznia. A vízgőzzel telített tér páratartalma 100%. A relatív páratartalom mérése hasznos információkat szolgáltat a meteorológusoknak az időjárás-előrejelzés készítésekor.



Higrométer



Csapadékképződés

A tengerek és az óceánok víztükre hatalmas felületet alkot. A párolgás következtében nagy mennyiségű vízgőz kerül a levegőbe. A felszálló levegőből vízcseppek, nagyobb magasságban jégkristályok keletkeznek. Ezek a vízcseppek és jégkristályok alkotják a felhőket.



Az eső: a felhőt alkotó parányi vízcseppek egyesülnek. A felfelé áramló levegő már nem képes lebegtetni őket, ezért lefelé hullanak. A zápor hevesebb, nagyobb cseppekből áll. Kisebb vízcseppek esetén szitálásról beszélünk.

A jégeső: a felhők jelentős részét jégkristályok alkotják. A golyóhoz hasonló jégdarabok átmérője a 10 cm-t is elérheti. Legtöbbször zivatarok alkalmával keletkezik. A jégdara kis átmérőjű jégdarabokból áll.

A hó: a leggyakoribb téli csapadék. A felhőben jégkristályok keletkeznek. A hópehely jégkristályokból áll. A hókristályok enyhe fagyban nagyra nőnek: nagy pelyhekben hull a hó. Az ilyen hó nedves tapintású, könnyű összenyomni. Kemény hidegben száraz, finomszemcsés hó esik, ez a porhó.

A savas eső: az esőcseppek kimossák a levegőből a szennyeződések. Legveszélyesebb a kénes eső. A szénerőművek nagyon sok kén-dioxidot bocsátanak a levegőbe. Sok országban a szénerőműveket bezárták, vagy számukat lényegesen csökkentették. A savas esők tönkreteszik az épületeket, a szobrokat, és elpusztítják a növényeket.

A gejzírek működése

A vulkáni utóműködések leglátványosabb formája a gejzír vagy *szökőforrás*. A gejzír szó az Izlandon található Geysir nevű szökőforrás nevéből származik. A gejzírek kürtőjének mélyén a vulkáni kőzetek felmelegítik a felszínről befolyt vizet. A mélyben lévő nagyobb nyomás miatt a víz 100 °C-nál magasabb hőmérsékleten felforr. Ha a vízoszlop felsőbb részeinek hőmérséklete is eléri a forráspontot, az összes víz robbanásszerűen gőzzé válik, és a magasba lövell. A levegőbe került víz lehül, visszaesik a földre, befolyik a gejzír kürtőjébe. A folyamat újratekődik. A jelenlegi legnagyobb gejzír a Yellowstone Nemzeti Parkban (Amerikai Egyesült Államok) található. Általában 75 m magasra lövi fel a vizet, de 130 m-es magasságot is megfigyeltek. A legtöbb működő gejzír az Amerikai Egyesült Államokban, Oroszországban, Új-Zélandon, Chilében és Izlandon található. A gejzírek nagyon látványos jelenségek, sok turistát vonzanak. Geotermikus erőművekkel kitermelhető a *gejzírek hőenergiája*, amit fűtésre lehet használni.





Üvegházhatás, felmelegedés

A napsugárzás felmelegíti a földfelszínt, a földfelszín pedig a fölötté lévő levegőt. A földfelszín is sugároz hőt a világűrbe, és így kialakul egy egyensúlyi állapot. Az utóbbi évtizedekben jelentősen megnőtt a Földet körülvevő rétegekben a szén-

Szmog Budapesten: a szén-dioxid-kibocsátás a nagyvárosokban jelentős mértékű



dioxid. A szén-dioxid-réteg visszaveri a hősugárakat a Föld felszínére, így az nem tud a világűrbe távozni. Ezt a jelenséget nevezzük üvegházhatásnak. Az üvegházhatás kialakulásában fontos szerepe van még a metánnak, a freonoknak és a vízgőznek.

Az üvegházhatás következtében nő a Föld átlaghőmérséklete. A XX. században 13,7 °C-ról 14,7 °C-ra emelkedett. A globális felmelegedés következtében megváltozik Földünk időjárása. Így globális éghajlatváltozás is történik. Hevesebb viharok jönnek létre, egyes területek kiszáradnak. Nem ott esik az eső, ahol kellene, és nem akkor, amikor kellene. A növekvő hőmérséklet megolvasztja a jéghegyeket. A nagy mennyiségű víz hőtágulása következtében emelkedik a tengerek és az óceánok vízszintje.

Az emberiség nagy feladat előtt áll: jelentősen csökkentenie kell a szén-dioxid-kibocsátást ahhoz, hogy elkerüljük az üvegházhatás negatív következményeit. Az Európai Unió javaslata alapján a fejlett országoknak 2050-ig 60–80%-kal kell csökkenteniük az éghajlatváltozásért leginkább felelős gázok kibocsátását az 1990-es szinthez viszonyítva.

PÁLYAKÉP

Sziasztok!

Középiskolai tanulmányaimat egy speciális angol nyelvre és történelemre szakosodott osztályban végeztem. Nagyon szerettem a történelmet, de mellette az évek során egyre jobban kezdett érdekelni a földrajz és a fizika is. Különösen a meteorológiai jelenségekről szóló és a csillagászati témák ragadtak meg földrajzból, fizikából pedig az egyes fizikai törvények kísérleti úton való bizonyítása, tapasztalása izgatott elsősorban. Így nem is volt kétséges, hogy érettségi után megpróbáltam meteorológia szakra felvételt nyerni az ELTE Természettudományi Karára. Sikeres felvételim után a meteorológia mellé felvettem a csillagászatot is. Tanulmányaim befejeztével szerencsére azonnal olyan feladatokat láthattam el, amelyek kezdettől fogva érdekeltek. A diploma megszerzése után az Országos Meteorológiai Szolgálat Dél-magyarországi Regionális Központjában, Szegeden dolgoztam hét hónapot mint regionális képviselő.



Ezután az Eötvös Loránd Tudományegyetem Földtudományi Doktori Iskolájának földrajz-meteorológia programjára nyertem felvételt. Jelenleg a doktori disszertációm dolgozom, melynek témája a Kárpát-medence térségére várható hőmérsékleti és csapadékvizonyok modellezése a XXI. század végére vonatkozóan. Évekkel ezelőtt döntöttem el, hogy klímamodellezéssel szeretnék foglalkozni, azt csinálom tehát, amit szeretek. Az, hogy ennek a tudományágnak az egész emberiséget érintő gyakorlati vonatkozása van, még vonzóbbá és izgalmasabbá teszi számomra a munkát. Szeretném minél szélesebb körben ismertté tenni – különösen a fiatalok körében –, hogy jelenlegi tudásunk szerint hogyan változik az éghajlat, és mik ennek a kockázatai. E téma körében alkalmam volt több kutatásban is részt venni, foglalkozhattam regionális klíma-előrejelzéssel, egy adott térség éghajlatváltozását felvázoló foratókönyv készítésével, a klímaváltozásra való felkészülés különféle aspektusainak vizsgálatával. Fontosnak tartom azt, hogy a mérésekből és a modellekből nyert adatok alapján a lehető legtöbb és leginkább helytálló információt lehessen közzétenni. A klímamodellezés során hatalmas mennyiségű adattal kell dolgozni, az adatfeldolgozás e tudomány fontos részterülete.

Évről évre szembesülünk azzal, hogy a megszokottól eltérő, kiszámíthatatlannak tartott időjárási tényezők gondokat okoznak a mezőgazdaságban, a vízgazdálkodásban, mindennapi életünkben. Senki nem vonhatja ki magát e hatások alól. Örömmel és büszkeséggel tölt el, hogy kutatási eredményeink tovább bővíthetik ismereteinket az éghajlatváltozás témakörében.

Név: Csaba

Végzettség: meteorológus, csillagász

Felvételi tantárgyak: fizika, matematika

Jelenlegi beosztása: tudományos segédmunkatárs

56. lecke

A hó terjedése (KIEGÉSZÍTŐ ANYAG)

A hó terjedése olyan folyamat, amelyben a hőnek mint energiatípusnak az átadásával és vándorlásával foglalkozunk. A hó a magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb hőmérsékletű hely felé terjed. A jelenség ahhoz hasonlít, mint amikor a víz a hegyről a völgybe folyik. *Milyen energiakülönbségek hozzák létre a hó terjedését, illetve a víz folyását?*

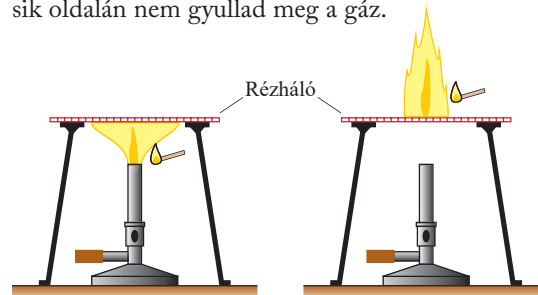
A hőterjedés főbb formái

Ebben a leckében azt vizsgáljuk, hogyan terjed a hő az egyes anyagokon belül, illetve az anyagok között. A hő terjedhet két pont között a térben **hővezetéssel**, **hőáramlással** vagy **hősugárzással**. A hő terjedésekor legtöbbször mind a három folyamat előfordul, de valamelyik intenzívebb, míg a másik kettő kevésbé jelentős.

Hővezetés

Vízzel töltött vékony papírpoharat lánggal melegíthetünk anélkül, hogy meggyulladna. A papír, bár rossz hővezető, vékonysága miatt annyi hőt ad át a víznek, hogy hőmérséklete nem éri el a gyúlási hőfokot.

A sűrű rézháló egy-egy oldalán keltett láng a másik oldalra nem terjed át, akár a háló felett, akár a háló alatt gyújtjuk meg a gázt. A rézháló olyan sok hőt elvezet az égő gáz hőjéből, hogy a háló másik oldalán nem gyullad meg a gáz.



A rézháló másik oldalán nem ég a gáz, mert hőmérséklete a gyúlási hőfok alatt marad



Miért veszélyes a forró levest fémből készült kanállal keverni?



Hol lehetne ezt a jelenséget hasznosítani?



A hő **hővezetés**kor úgy terjed az anyagban, hogy a részecskék nem mozdulnak el a helyükről. A hővezetés főleg a szilárd anyagokra jellemző. A kristályrácsban lévő részecskék rezgőmozgást végeznek, és rezgési állapotukat átadják egymásnak. A hővezetés a részecskék rezgési állapotának terjedése, amely szorosan érintkező testek között jön létre.

A különböző anyagok hővezetése nagyon eltérő lehet. Vannak **jó hővezető anyagok** (réz, alumínium), amelyek általában jó elektromos vezetők is. A rossz hővezető anyagokat **hőszigetelők**nek nevezük.



A fakanál rosszul vezeti a hőt

Jól szemléltethető a hővezetés a következő analógiával. Építkezéshez egy teherautóval téglát hoztak. A munkások úgy is lerakhatják a téglákat, hogy sorba állnak és egymásnak adogatják.



A hővezetés szemléltetése

A fémek jó hővezetők, de a fa és a műanyag rosszul vezeti a hőt. Főzéskor az edény és a fedő füle vagy a forró ételbe tett fémkanál felmelegszik, és égési sebeket okozhat, ha nem vagyunk figyelmesek. Főzéskor az ételek keverésére használjunk fakanalat!

Davy-lámpa

Sir Humphry Davy (1778–1829) angol kémikus 1816-ban készített olyan világítóeszközt, ami nem robbantotta be a bányában felgyülemlett metánt. A *sűrű szövésű drótszövet* annyira lehűti a lángot, hogy annak hőmérséklete nem éri el a „sújtólég” (metán) gyulladási hőmérsékletét. William Clanny (1770–1850) ír feltaláló 1839-ben tökéletesítette a lámpát. Kettős drótkosarat alkalmazott a biztonság fokozása érdekében. Az olajtartály és a drótkosár közé üveghengert illesztett, hogy védje a lángot. Wolf német bányamérnök továbbfejlesztette a Davy-lámpát. Olaj helyett benzint alkalmazott. Mágneses zárral biztosította, hogy használat közben ne lehessen feleslegesen nyitogatni.

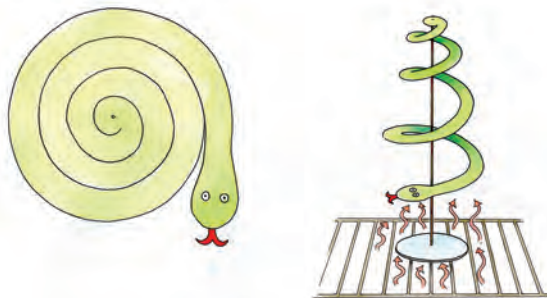
Bányáslámpák



Olvasmány

Hőáramlás

A **hőáramlás** a folyadékokra és a gázokra jellemző hőterjedési folyamat. A hőforrás közelében a folyadék, illetve a gáz felmelegszik. Sűrűsége csökken, mert a melegítés következtében tágul, ezért felemelkedik. A helyére hidegebb folyadék vagy gáz áramlik.



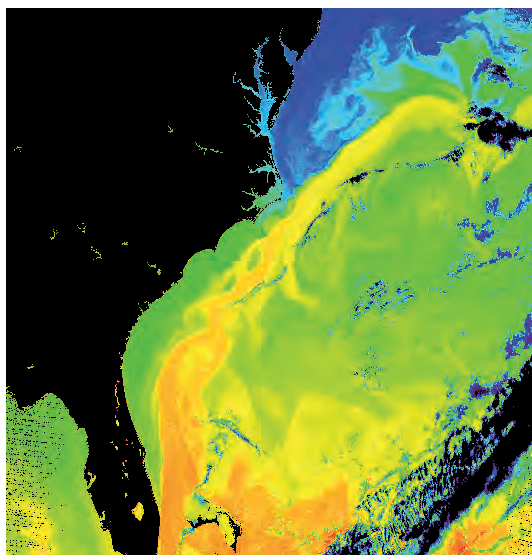
A papírkígyót a felfelé áramló levegő forgatja

A hőforrás közelében az anyagok belső energiája nő. Hőáramlás közben a nagyobb belső energiájú gáz- vagy folyadéktömegek helyet cserélnek a kisebb energiájú folyadéktömegekkel. *A hő terjedése az anyag áramlását is jelenti*, ezért szilárd anyagokban nem valósulhat meg.

Az előző, építkezési analógiával szemléltetve a hőáramlást: Hogyan rakják le a téglát a munkások? Ebben az esetben mindegyik megfog egy téglát és elviszi a kijelölt helyre, leteszi és visszamegy a következőért a teherautóhoz. Mozognak a részecskék (a munkások), kialakul az áramlás.



A hőáramlás szemléltetése



Az Atlanti-óceán hőmérsékleti eloszlását mutató hő-térképen narancssárga és sárga szín jelöli a Golf-áramlatot, fekete a szárazföldet (Florida, Észak-Amerika)

A tengeri áramlatok kialakulása hőáramlással magyarázható. Például a Golf-áramlat a Mexikói-öbölből induló meleg áramlat: az Egyenlítő környékén felmelegedett víz átszeli az Atlanti-óceánt, és egészen Skandináviáig terjed. Ott lehül, a mélybe süllyed, és hideg áramlatként visszatér az Egyenlítőhöz.

A kéményekben létrejövő huzat is hőáramlással magyarázható. A tűzhely égésterében felmelegedett kisebb sűrűségű levegő felszáll a kéményben. A helyébe hideg levegő áramlik, és kialakul a huzat.





Hősugárzás

A hő úgy is terjedhet két test között, hogy *nincs közöttük anyag*. Ha pedig van valamilyen közeg, az számottevően nem melegszik fel. A hő terjedésének ezt a formáját nevezzük **hősugárzásnak**.

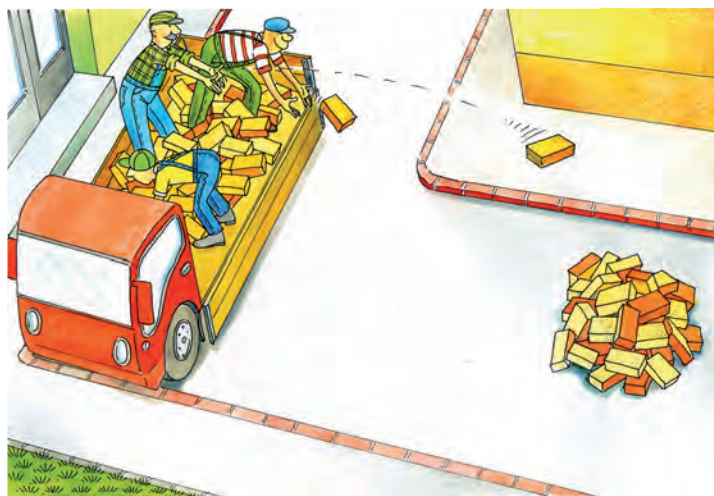
A téglá lerakásának – a hősugárzást bemutató – harmadik módja: néhány munkás felmegy a teherautóra, és ledobálja a téglákat a kijelölt helyre.

A hősugárzáskor kibocsátott energia annál nagyobb, minél magasabb a test hőmérséklete. Azonos feltételek mellett a sötét, érdes felületű testek több hőt bocsátanak ki, mint a fényes, sima felületek.

A testek nemcsak kisugározzák az energiát, hanem el is nyelik. Azonos feltételek mellett a sötét, érdes felületű testek nagyobb mértékben nyelik el az energiát, mint a fényes, sima felületek.

Az eszkimók azért viselnek fehér ruhát, mert az kisebb mértékben sugározza ki a hőt, mint a sötét színű. A testük melegéből így kevesebb hő jut a környezetükbe. A jegesmedve fehér bundája is ezt a célt szolgálja.

A trópusokon éppen fordított okból járnak világos ruhában az emberek, ott a világos ruha a hőség



A hősugárzás szemléltetése

elleni védelmet szolgálja. A fehér ruha kevésbé nyeli el a napsugarakat, mint a sötét anyag, így viselése mérsékli az emberi test felmelegedését.

Hősugárzással melegíti fel a Nap a Földet. Az elnyelt és kibocsátott hőmennyiség hosszú idő átlagában egyensúlyban van. Ha azonban sok a levegőben a szennyeződés, csökken a kisugárzás. (Lásd az 55. leckében az üvegházhatásról szóló részt.)

Naperómű

A napkohóban vagy naperóműben a napsugarak energiáját alakítják hővé. A keletkezett hővel gőzt állítanak elő, amely turbinát, illetve villamos generátort működtet. A napenergiát óriási tükrök segítségével gyűjtik össze.

A napsugarakkal napelemeket is működtethetünk. A napelemek olyan speciális anyagból készülnek, amelyek a Nap sugárzásának egy részét közvetlenül villamos energiává alakítják.

*A világ legnagyobb napkohója
(Odeillo, Franciaország)*



Olvasmány

Az infravörös és az ultraibolya sugárzás egészségügyi hatása

Az infravörös sugarakat (IR) sokféleképpen és sok helyen lehet alkalmazni. Az infralámpákat gyakran használják hőszugárzóként. Az infravörös sugarak az emberi szervezetbe jutva regenerálják a sejteket.



Infralámpa

Orvosi infralámpával gyulladási betegségeket lehet gyógyítani. Infraszugárzással szervezetünket méregteleníthetjük, immunrendszerünket erősíthetjük.

A Föld felszínére érő ultraibolya (UV) sugárzásnak 98%-a az úgynevezett UV-A sugárzás. Ez az egészségre kevésbé veszélyes. Elősegíti a csontképződést és a

barnulást (pigmentképződés), a D-vitamin termelődését. Az UV sugárzás 2%-a az UV-B sugárzás. A Föld ózonsztrétege korábban elnyelte, de napjainkban sajnos nagy mennyiségben átengedi. Mivel ez a sugárzás nagy energiájú, bőrünket leégíti, rákos elváltozásokat okozhat. Immunrendszerünket gyengíti (herpesz kialakulása az ajkakon), szemünket is károsítja (kötőhártya-gyulladás, szürkehályog).

A szolárium ultraibolya sugarakkal működik. Az UV fénycsövek által kibocsátott sugarak 95%-a UV-A és 5%-a UV-B. Főleg a bőr kozmetikai barnítására használják. Orvosi felhasználása is ismert: D-vitamin termelésének elősegítése, keringési rendellenességek, bőrproblémák kezelése. Óvatosan kell alkalmazni, a túl gyakori, túl hosszú ideig tartó szoláriumhasználat súlyos problémákat okozhat. A helytelenül alkalmazott UV sugárzás kiszárítja a bőrt, felgyorsítja a bőr öregedését, ráncosodását, elősegíti a bőrrák kialakulását. A fiataloknál fokozottan veszélyes a szolárium használata, ezért egyes országokban (Németország, Franciaország, Ausztria) tilos a 18 éven aluliaknak szoláriumba járni.

Az élőlények hőszabályozása

A melegvérű állatok és az ember is felhasználja testhőmérsékletének állandó értéken tartásához a hőterjedés mindhárom formáját. A környezet magas hőmérséklete esetén az állatok hideg légáramlatokat, folyókat keresnek, vízbe mennek, hideg talajra fekszenek, vagy hűvös sárfürdőt vesznek. Árnyékos helyekre, üregekbe, odúkba húzódnak, testfelületüket megnövelik, szárnyfelületüket kiterjesztik. Az emberek is árnyékos helyet keresnek, napernyőt használnak, lengén öltöznek, és vízpermettel vagy fürdőzéssel hűtik testüket.

Ha a környezet hőmérséklete túl alacsony, akkor az állatok a hideg talajról a fák ágai közé másznak, szigetelt fészket vagy odút építenek, üregeiket hőszigetelő anyagokkal (fű, szalma, avar) bélelik ki. Meleg légáramlatokat és vizet, hóforrásokat vagy napos helyeket keresnek. Meleg sziklákra, kövekre fekszenek, vagy összehúzzák magukat, összebújnak. Az emberek ilyenkor több réteg ruhát húznak, jól fűtött épületekben tartózkodnak, alváskor vastag takaróval fedik be magukat.

Olvasmány



Hűsítő vízilovak

57. lecke

Hőtan az otthonunkban



Hogyan működnek a napelemek, és hogyan működnek a napkollektorok?



A lakásokban, családi házakban sok-sok hőtani jelenséget, folyamatot figyelhetünk meg. A fűtőtestek működésekor, a teavíz felforralásakor a hőáramlás, halmazállapot-változás jelenségét tanulmányozhatjuk. *Főzéskor miért gazdaságosabb a hőtárolós aljú (szendvicstalpú) edényt használni?*

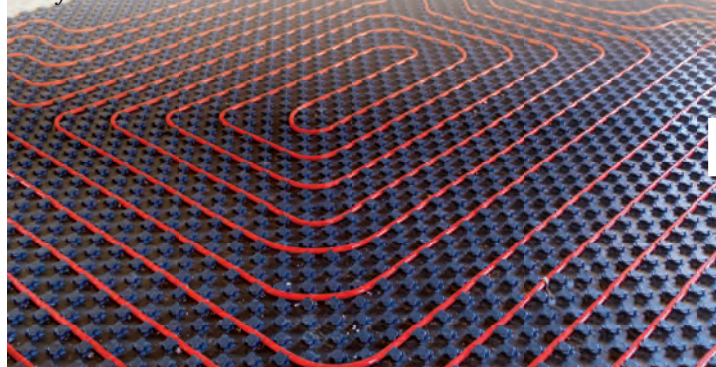
Korszerű fűtés a lakásban

Az épületek, lakások fűtésére általában olyan radiátorokat használnak, amelyekben a keringetőszivattyú forró vizet áramoltat. Hogyan állítsuk elő a forró vizet? Családi házaknál még mindig használnak széntüzelésű kazánokat. A keletkező salakanyagok és füstgázok nagymértékben szennyezik a környezetünket. A legelterjedtebb fűtési mód a gázkazánal való vízmelegítés. A gáz ára az utóbbi években nagyon megnőtt, ezért ezek a fűtési rendszerek nem a leggazdaságosabbak.

A napkollektorokkal való vízmelegítés sokkal korszerűbb, környezetkímélőbb. A **napkollektor** olyan berendezés, amely elnyeli a napsugarak energiáját, és jó hatásfokkal hővé alakítja. A jó hőelnyelő felületbe ágyazott csőrendszerben folyadék vagy levegő áramlik, amely a napenergia hatására felmelegszik. A felmelegedett anyag a hőcserélőbe áramlik, ahol átadja az energiáját a lakás melegvíz-rendszerének. Ennek a fűtési módnak az elterjedését egyelőre gátolja a nagy beruházási költség.

Padlófűtés alkalmazásakor alacsonyabb hőmérsékletű vizet kell keringetni, mint a radiátorokban. Ezáltal sokkal gazdaságosabb az ilyen rendszerű fűtés. A kivitelezés drágább, mert nagyon jó szigetelést kell készíteni a padló alatt elhelyezett csőrendszer alá. A lakásokban lévő por padlófűtés alkalmazásakor kb. 60 cm magasságban lebeg. Az olyan helyiségekben, ahol alszanak az emberek, egészségesebb radiátort alkalmazni.

Padlófűtés csőrendszere





Az égéshő

A lakásokban, családi házakban a fűtéshez, a főzéshez használt hőmennyiséget a leggyakrabban szén, gáz, fűtőolaj elégetésével állítjuk elő. Hőmennyiség kémiai folyamatok során keletkezik, ha teljesülnek az égés feltételei: éghető anyag, oxigén és megfelelő hőmérséklet. Az égéskor keletkezett hőmennyiség függ az éghető anyag tömegétől is.

Az **égéshő** az a hőmennyiség, amely 1 kg 20 °C-os anyag tökéletes elégetésekor keletkezik, jele: L_e . A gyakorlatban használatos mértékegysége: $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$.

Az égés során – a kémiai reakcióban – gyakran víz is keletkezik, amely az égéstermékkel együtt vízgőz formájában távozik. A távozó égéstermék magukkal visznek valamennyi hőt, így általában az égéshőnél kevesebb hőmennyiséget nyerünk. Ezt a csökkentett értéket az éghető anyag **fűtőértékének** nevezzük, és a gyakorlatban az égéshő helyett inkább ezzel az értékkel számolunk.

A következő táblázat néhány anyag égéshőjét és fűtőértékét mutatja.

| Anyag | Égéshő (kJ/kg) | Fűtőérték (kJ/kg) |
|---------------------|----------------|-------------------|
| kőszén | 32 000 | 30 000 |
| brikett | 21 000 | 20 000 |
| fa (száraz) | 17 000 | 16 000 |
| fa (nedves) | 11 000 | 8 000 |
| gázolaj | 45 000 | 41 000 |
| benzin | 44 000 | 42 000 |
| petróleum | 44 000 | 42 000 |
| paraffin | 49 000 | 45 000 |
| spiritusz (alkohol) | 28 000 | 24 000 |
| metán | 40 000 | 36 000 |
| földgáz | 34 000 | 30 000 |
| hidrogén | 13 000 | 11 000 |

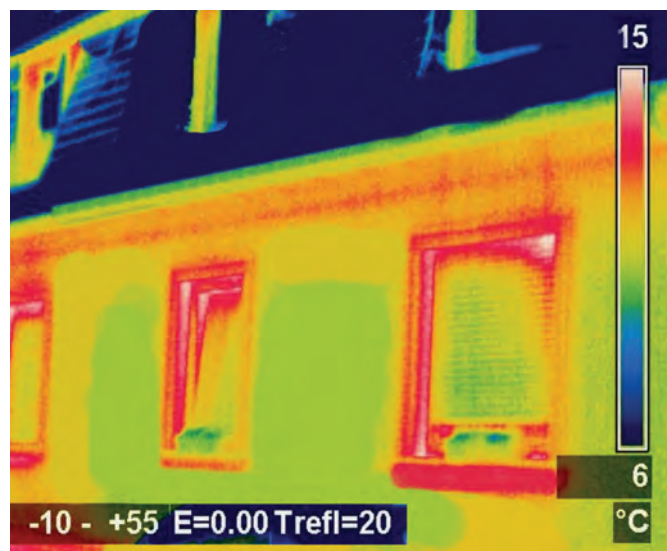
Néhány anyag égéshője és fűtőértéke

Lakóházak hőszigetelése, hőkamerás felvételek

A lakóházakban, középületekben a kellemes tartózkodáshoz megfelelő hőmérsékletet kell biztosítani, ami 20-25 °C közötti hőmérsékletet jelent, attól függően, hogy a helyiséget alvásra vagy üldögelésre használjuk. Az évszakok változásával fűteni, illetve hűteni kell a lakásokat, épülettereket. A drágán előállított hőmérsékletet télen csökkenti, nyáron növeli a külső hőmérséklet következtében létrejövő hőkiegyenlítés. Ennek megakadályozására jó hőszigetelést kell alkalmazni a falaknál, a födmszerkezeteknél. Nagy hőenergia-áramlás jöhet létre a nyílászáróknál is.

A levegő jó hőszigetelő anyag, ha meggátoljuk az áramlását. Lakóházak falait ezért építik lyukacsos téglákból. Az ablakoknál termoplán üveget alkalmaznak. Két vagy több síküveg közé levegőt vagy gázt zárnak be megfelelő peremezéssel. A nyílászárók kereteiben légkamrákat alakítanak ki. Már 8 légkamrás ablak- és ajtókereteket is gyártanak.

Energiatakarékos korszerűsítés tervezésekor célszerű hőkamerás felvételt készíttetni a lakásunkról. A hőkamerás felvételeken jól láthatók a felületi hőmérsékletek, tanulmányozhatjuk, hogy hol távozik a legtöbb hő a lakásunkból. A hőfényképezés fizikájáról bővebben a 11. osztályban tanulunk.



Hőkamerás felvétel egy lakóépületről



A lakóházak energetikai minősítése

Lakóházak vagy lakások energiafelhasználását és energiakibocsátását felmérhetjük, szakember segítségével energetikai tanúsítványt (zöldkártya) készíthetünk. A tanúsítvány a lakásokat, házakat minőségi osztályokba sorolja az elfogadható értékhez viszonyítva.

2012-től hazánkban minden eladó vagy bérbérlő ingatlanra rendelkeznie kell ilyen tanúsítvánnyal. Célszerű azonban más esetben is elkészíttetni a lakás zöldkártyáját, például ha energiatakarékos korszerűsítést kívánunk végezni.

A jövő a passzívházaké

Az Európai Parlament energiahatékonyságról szóló irányelve előírja, hogy 2021-től (középületeknél 2019-től) csak olyan házak építhetők, amelyeknek aktív energiafogyasztása nincs. Az ilyen házakat passzívházaknak nevezzük. A passzívházak rendkívül jó minőségű hőszigetelő anyagokból épülnek, többretegű gázzal töltött termoplán ablakrendszerekkel rendelkeznek. Az épület tájolásával, a helyiségek jó beosztásával kihasználható a téli gyengébb napenergia. A lakótér térfogatához mérten a lehető legkisebb falfelületet terveznek a hővesztések minimalizálása céljából. A fűtést, hűtést és a meleg víz előállítását is napkollektorok, hőszivattyúk biztosítják, valamint a talajhő is kihasználásra kerül. Egy berendezés télen a beszívott levegőt csöveken keresztül mélyen a talajba vezeti, ahol hagyja azt felmelegedni, majd az előmelegített levegőt a kellő hőmérsékletre melegítve engedi a lakásba. Nyáron ugyanez a rendszer a kinti meleg levegőt hűti le a talajhő segítségével. A passzívházakban mindig friss, de szobahőmérsékletű levegő van. A passzívházak épületgépészeti berendezéseit napelemek segítségével működtethetjük.

Hőtan a konyhában

Ételeink nagy részét főzéssel, sütéssel készítjük el. Az egészséges táplálkozás megvalósításakor nagyon

lényeges, hogy milyen módon, milyen edényben főzünk. Ha magas hőmérsékleten, hosszú ideig tart az étel elkészítése, akkor a szervezetünk számára nélkülözhetetlen vitaminok és egyéb mikroelemek károsodnak, tönkremennek.

Nagy mennyiségű étel elkészítésekor, vagy gyakori főzés esetén érdemes figyelembe venni a felhasznált energiát. Olyan edényeket célszerű használnunk, amelyekben gazdaságos az ételek elkészítése. Az 54. leckében már tanultunk a kuktafazékról, ami meggyorsítja a főzést. Egy másik energiatakarékos főzőeszköz a „szendvicstalpú” edény. Ennek alja több rétegből áll. A két rozsdamentes lemez között helyezik el a nagy fajhőjű anyagból (alumínium) készült hőtároló vastagabb réteget. A főzési hőmérséklet elérése után alacsonyabb fokozaton működtethető a tűzhely, mert az edény alja hosszú ideig tárolja a hőt.

A modern konyha nélkülözhetetlen kellékei az ételek párolásához használt edények. Kevés zsiradékkal vagy anélkül, folyadékkal (vízzel, húslével) történik a főzés. Az edényben felszálló pára megpuhítja a húsokat, zöldségeket. Gyümölcsök tartósításánál (befőzéskor) is vízgőzt használunk.

Az egészséges ételek elkészítése kevés olajjal vagy vajjal történhet. Olyan sütők is vásárolhatók, amelyek nagyon kevés (egy kanál) olaj felhasználásával készítik el a sült burgonyát vagy az aprópecsenyét. Ezek tömeges elterjedését gátolja, hogy nagyon drágák. Húsok elkészítésénél először a teljes felületet kell hirtelen körbesütni, hogy az így keletkezett réteg meggátolja a húshedvek elpárolgását.

Elektromos ételpároló



Az élelmiszerek tápértéke

Étkezéseink során a táplálékot megemésztjük (lassú égés), ezáltal hőt termelünk szervezetünk számára. Mint ahogy egy hosszú útra feltankolt autóval indulunk, úgy szervezetünket is a nap elején el kell látnunk energiával. Reggel egyél úgy, mint egy király, délben, mint egy polgár, este, mint egy kol-dus, tartja a mondás. És valóban, reggel a szervezetünknek sokkal több energiára van szüksége, mint délután vagy este.

Az élelmiszerekben az energiát a zsírok, a fehérjék és a szénhidrátok égetésével (emésztésével) nyerjük. Az élelmiszerek energiatartalmát még ma is szokás kalóriában, illetve annak ezerszeresében, kilokalóriában mérni. 1 kalória (cal) az a hőmennyiség, amely 1 gramm vizet 1 K-nel felmelegít. Az 1 kalória ma elfogadott értéke 4,186 J energiának felel meg. 1 kcal = 1000 cal. A legtöbb energiát a zsírokból nyerjük, grammonként 9,3 kcal, a fehérjék tápértéke 4,2 kcal/g, a szénhidrátoké 4,1 kcal/g.

A megvásárolt élelmiszerek energiatartalmát általában a csomagoláson elhelyezett kalóriatáblázatból olvashatjuk ki. Ezek a táblázatok azonban mindig csak az élelmiszer 100 grammjának tápértékét mutatják.

KIDOLGOZOTT FELADATOK

A konyhában gáztűzhelyen vizet melegítünk. Ha 150 g földgázt égetünk el, akkor mekkora lesz a minimális energiaveszteség? Mennyi földgázt kell elégetnünk, ha 2 liter 12 °C-os vizet akarunk 80 °C-ra melegíteni és a hatásfok 65%? (Energiaveszteség adódik abból, hogy a fazekat, a levegőt feleslegesen melegítjük.)

MEGOLDÁS

Adatok:

$$m_{\text{gáz}} = 150 \text{ g}$$

$$T_1 = 12 \text{ °C}, T_2 = 80 \text{ °C}$$

$$c_{\text{víz}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$$

$$L_{\epsilon} = 34000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$V = 2 \text{ l}$$

$$\eta = 0,65$$

$$Q_{\text{felszab}} - Q_{\text{melegít}} = ?, m = ?$$

Az égéshőből kiszámítható a felszabaduló hőmennyiség:

$$\begin{aligned} Q_{\text{felszab}} &= L_{\epsilon} \cdot m_{\text{gáz}} = 34000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,15 \text{ kg} = \\ &= 5100 \text{ kJ} = 5,1 \text{ MJ} \end{aligned}$$

A fűtőértékből számítható a melegítésre fordítható hőmennyiség:

$$\begin{aligned} Q_{\text{melegít}} &= L_{\text{fűtő}} \cdot m_{\text{gáz}} = 30000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,15 \text{ kg} = \\ &= 4500 \text{ kJ} = 4,5 \text{ MJ} \end{aligned}$$

A minimális energiaveszteség a két hőmennyiség különbsége: 600 kJ.

$$\Delta T = 68 \text{ °C}, m_{\text{víz}} = 2 \text{ kg}, L_{\text{fűtő}} = 30000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

A víz melegítéséhez szükséges hőmennyiség:

$$Q = c_{\text{víz}} \cdot m_{\text{víz}} \cdot \Delta T$$

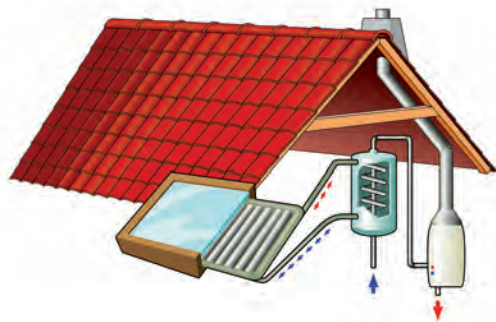
A fűtőértékből számítható hőmennyiség 65%-a melegíti a vizet, tehát:

$$0,65 \cdot 30000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot m = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \cdot 2 \text{ kg} \cdot 68 \text{ °C}$$

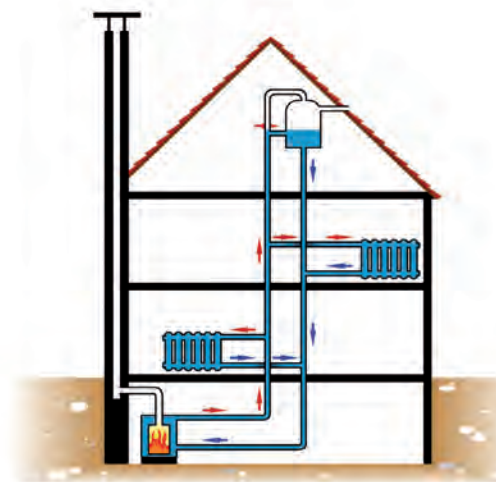
A gáz tömege: $m = 29 \text{ g}$.



1 Az ábrán egy lakóház tetőtere látható. A tetőtérbe napkollektort építettek. Tanulmányozzuk az ábrát, magyarázzuk meg, hogyan oldották meg a helyiségek fűtését!



2 Az ábrán egy lakóház fűtésének tervrajza tanulmányozható. Magyarázzuk meg, hogyan működik a fűtés!



3 Melyik tüzelőanyaggal lehetett leg gazdaságosabban fűteni 2011-ben? A tűzifa köbmétere 15 000 Ft, a kőszén mázsája 11 500 Ft, a földgáz köbmétere 170 Ft-ba került. A fa sűrűségét számoljuk $700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ -nek, a földgáz sűrűsége $1,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

4 Mennyi energiát nyerünk egy darab (30 g) túró rudi elfogyasztásával? A túró rudi 100 grammjában 9,3 g szénhidrát, 4,4 g fehérje és 5,5 g zsír található. A megoldásodat kJ-ban és kcal-ban is adjuk meg!

Kérdések és feladatok

5 Számítsuk ki, hogy egy szombati napon összesen hány kcal energiát vittünk a szervezetünkbe (étel és ital összesen)! Azt is számítsuk ki, hogy hány gramm szénhidrátot, fehérjét és zsírt fogyasztottunk! Sok élelmiszer tápanyagtartalma megtalálható a csomagolásán. A többi élelmiszer esetében kutassunk az interneten!

| Élelmiszer (100 g) | Energia (kJ) | Fehérje (g) | Szénhidrát (g) | Zsír (g) |
|--------------------|--------------|-------------|----------------|----------|
| fagyalt (2 gombóc) | 672 | 2,2 | 27,8 | 4,5 |
| majonéz | 3083 | 2,5 | 3,5 | 78,9 |
| baromfivirslí | 795 | 18,8 | – | 13 |
| gépsonka | 637 | 22,6 | 0,4 | 7,1 |
| párizsi | 960 | 14,9 | – | 19 |
| rizs | 1443 | 8 | 77,5 | 0,3 |
| alma | 126 | 0,4 | 7 | 0,4 |
| banán | 431 | 1,3 | 24,2 | 0,1 |
| ponty | 420 | 16 | 0,1 | 4 |
| csirkehús | 440 | 24,7 | 0,5 | 1 |
| sertéshús | 668 | 21 | 0,4 | 8,1 |
| félbarna kenyér | 1075 | 9,8 | 52,3 | 1 |
| főtt krumpli | 815 | 4,3 | 32,8 | 4 |
| sült krumpli | 1596 | 4 | 43 | 19 |
| tészta | 1598 | 15 | 73 | 3,4 |
| zsemle (1 db) | 615 | 5,1 | 30,8 | 0,4 |
| trappista sajt | 1554 | 27,7 | 1,6 | 28,1 |
| paradicsom | 92 | 1 | 4 | 0,2 |
| sárgarépa | 146 | 1,2 | 8,1 | 0,2 |
| vaj | 3024 | 0,4 | 0,5 | 80 |

Néhány élelmiszer tápanyagtartalma

Hasonlítsd össze táplálkozásodat az egészséges értékekkel! Egy középiskolás fiú napi energiaigénye (intenzív sportolás nélkül): $2,2 \cdot [17,5 \cdot \text{testtömeg (kg)} + 651]$, egy lányé: $1,6 \cdot [12,2 \cdot \text{testtömeg (kg)} + 746]$. Az eredmények kcal-ban értendők. A fiatalok napi fehérjeszükséglete 1,5 g testtömeg-kilogrammonként. A szénhidrátok esetében a napi energia-bevitel 50-60%-a, zsírokból a napi energia-bevitel maximum 25%-a a szükséges mennyiség. Mit gondolsz, kell változtatnod táplálkozási szokásaidon?

Összefoglalás – Termodinamika

Minden anyag mólnyi mennyiségében azonos számú, $6 \cdot 10^{23}$ darab részecske van. Ezt a számot **Avogadro-számnak** nevezzük.

Az Avogadro-állandó jele: N_A . $N_A = 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$

Ha az ideális gáz valamilyen állapotból ugyanebbe az állapotba jut vissza, **körfolyamat** jön létre.

A **párolgáshő** megmutatja, hogy 1 kg tömegű folyékony anyag gőzzé alakításához mennyi hőmennyiségre van szükség.

Jele: L_p . $\Delta E_b = Q = L_p \cdot m$

A hőtan I. főtétele:

A gáz belső energiájának megváltozása egyenlő a gázzal közölt hőmennyiség és a külső munka összegével.

$\Delta E_b = Q + W$

A **hőkapacitás** megmutatja, hogy mennyi hőmennyiséget kell közölni az adott anyaggal ahhoz, hogy hőmérséklete 1°C -kal (1 K-nel) emelkedjen.

Jele: C . $C = \frac{Q}{\Delta T}$

Az abszolút hőmérséklet

egyenesen arányos a molekulák átlagos mozgási energiájával.

$T \sim E_{0 \text{ mozg}}$

Az m tömegű, v sebességű részecskékből álló, V térfogatú **gáz nyomása**:

$$p = \frac{m \cdot v^2}{3V}, \text{ azaz: } p \cdot V = \frac{1}{3} m \cdot v^2$$

Egy gázrészecske átlagos

energiája: $E = \frac{f}{2} \cdot k \cdot T$

Az N részecskékből álló gáz esetén a **gáz belső energiája**:

$$E_b = \frac{f}{2} \cdot N \cdot k \cdot T$$

Az anyag **fajhőjén** hőkapacitásának és tömegének hányadosát értjük.

Jele: c . $c = \frac{C}{m}$, $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$, azaz
 $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

A fajhő megmutatja, hogy mekkora hőmennyiség felvételére vagy leadására van szükség ahhoz, hogy 1 kg tömegű anyag hőmérséklete 1 °C-kal (1 K-nel) megváltozzon.

Az anyag **mólhőjén** hőkapacitásának és anyagmennyiségének (a mólok számának) hányadosát értjük.

Jele: c_M . $c_M = \frac{C}{n}$, $c_M = \frac{Q}{n \cdot \Delta T}$

A **forráshő** megmutatja, hogy 1 kg forrásponton lévő folyékony anyag gőzzé válásakor mennyi hőmennyiségre van szükség.
Jele: L_f . $Q = L_f \cdot m$

A **kalorimetria alapegyenlete:**
 $Q_{le} = Q_{fel}$. Ha két anyaghalmoz között hőcsere történik, akkor az egyik által leadott hő megegyezik a másik által felvett hővel.

Az **olvadáshő** megmutatja, hogy 1 kg olvadásponton lévő anyag mekkora hőmennyiséget vesz fel olvadásakor a környezetétől.
Jele: L_0 . $Q = L_0 \cdot m$

A hőtan II. főtétele:

A testek termikus kölcsönhatásokor mindig a melegebb test ad át energiát a hidegebb testnek. Ennek a folyamatnak az iránya önmagától nem változik, csak külső beavatkozással fordítható meg.

Általános energiatétel:

Energia semmilyen folyamatnál nem keletkezik, nem semmisül meg, csak átalakul.

■ Egyenes vonalú mozgás ■ Összetett mozgás
■ Körmozgás

Könyvünk első fejezetének a címe *Kinematika*, más szóval *Mozgástan*. A kinematika a bennünket körülvevő világban lejátszódó haladó, forgó- és körmozgások térbeli és időbeli leírásával foglalkozik. A mozgások értelmezéséhez egyenleteket írunk fel, azonban nem vizsgáljuk a mozgások változásának okait, a testekre ható erőket.



Kinematika - Mozgástan

■ Newton-törvények ■ Lendület ■ Erőfajta
■ Egyensúly ■ Pontrendszerek

Az előző fejezetben megfigyeltük, hogy a mozgás az anyag elválaszthatatlan tulajdonsága. A haladó mozgások tanulmányozásakor megismertük a mozgások időbeli lefolyását meghatározó fizikai mennyiségeket: a mozgás pillanatnyi helyzetét, sebességét és gyorsulását. A kinematika nem a mozgás okait kutatja, hanem a mozgások pontos leírását vizsgálja.

A XVII-XVIII. században kibontakozó *dinamika* (a dűnamisz szó görögül erő-t jelent) a természetben lejátszódó mozgások okait keresi. A következő fejezetben ezen okok feltárásával foglalkozunk.



Dinamika - Erőtan

■ Munka ■ Energia ■ Teljesítmény ■ Hatásfok

A dinamikában eddig tanultak alapján a testek mozgásának folyamatát tudjuk leírni. Az erőhatások ismeretében ki tudjuk számolni a gyorsulást, abból pedig a sebesség és a hely időbeli változását. Most azt a kérdést fogjuk vizsgálni, hogy egy test állapotát milyen más jellemzőkkel lehet még leírni. Milyen új, mérhető mennyiséggel lehet egy álló és egy mozgó test állapotát megkülönböztetni, miben különbözik az asztal lapján és mellette, a földön nyugvó test, hogyan jellemezhető egy megfeszített rugó? Ezeknek az állapotoknak a leírására az *energia* fogalmát vezetjük be. A különböző állapotok közötti átmenet jellemzésére a *munkavégzés* fogalmát, az átalakuló energia leírására a *munka* új fizikai mennyiséget használjuk.



Munka, energia, teljesítmény

■ Hidrosztatika ■ Légnyomás ■ Molekuláris erők
folyadékokban ■ Áramlás ■ Közegellenállás

A *folyadékok* és *gázok* tulajdonságait figyelve sok hasonlóságot fedezhetünk fel, de lényeges különbségek is vannak közöttük. Ebben a fejezetben ezeknek az anyagoknak a vizsgálatával foglalkozunk. Látni fogjuk, hogy vannak jelenségek, amelyek azonos módon hatnak a folyadékokban és a gázokban, legfeljebb a megjelenési formájukban különböznek, és megismerkedünk számos specifikus, csak a folyadékokra vagy csak a gázokra jellemző tulajdonsággal is. Az itt sorra kerülő jelenségek, alkalmazások rendkívül széles körűek: szó lesz a hidakat szétnyitó óriási hidraulikus emelőkről, megérjük, miért gördül le a vízszeppe a növények leveleiről, és megtudjuk, hogyan lehet elcsavarni a labdát a sorfal mellett, felett.



Folyadékok, gázok mechanikája

- Hőmérséklet ■ Hőtágulás
- Gázok állapotváltozása ■ Gáztörvények

Ebben a fejezetben a *hőtan* alapjensegek, folyamatok értelmezésével foglalkozunk. Ételt főzünk, vagy fűtjük a lakásunkat, hűtjük az élelmiszereinket, emelkedik a testhőmérsékletünk: ezek mindegyike hőtani folyamat. Olyan fizikai mennyiségekkel ismerkedünk meg, amelyek pontosan jellemzik a hőtani folyamatokat.

A gázok tulajdonságait is vizsgáljuk. Mérhető mennyiségekre (nyomás, térfogat, hőmérséklet) és tapasztalati tényekre alapozva mondunk ki törvényeket, tételeket. Ezt a tárgyalási módot szokás fenomenológiai módszernek nevezni.



Hőtani folyamatok



- Kinetikus gázmodell ■ Ekvipartíció ■ Főtételek
- Halmazállapot-változások

Az előző fejezetben tapasztalati tényekre alapozva fogalmaztuk meg a hőtani alapjensegek törvényeit. Ez a fenomenológiai módszer. A *termodinamika*, vagy más néven molekuláris hőelmélet az anyagot felépítő részecskék kölcsönhatását vizsgálja. Ezt korpuszkuláris módszernek nevezzük. A gázok nyomását és hőmérsékletét az atomok és a molekulák mozgására vezeti vissza. Ebben a fejezetben megismerkedünk a hőtan főtételeivel és alkalmazásukkal. Tanulmányozzuk a hűtőgépek és a hőerőgépek működését. Mindkét fent említett módszert alkalmazva foglalkozunk a fagyás, az olvadás, a párolgás, a forrás és a lecsapódás jelenségével, valamint a hő terjedésével.



Termodinamika



A LECKÉK KIEGÉSZÍTÉSE

PROJEKTFELADAT

A 3. Egyenes vonalú egyenletes mozgás
c. lecke kiegészítése

1 Egyenes vonalú egyenletes mozgás vizsgálata Mikola-csővel

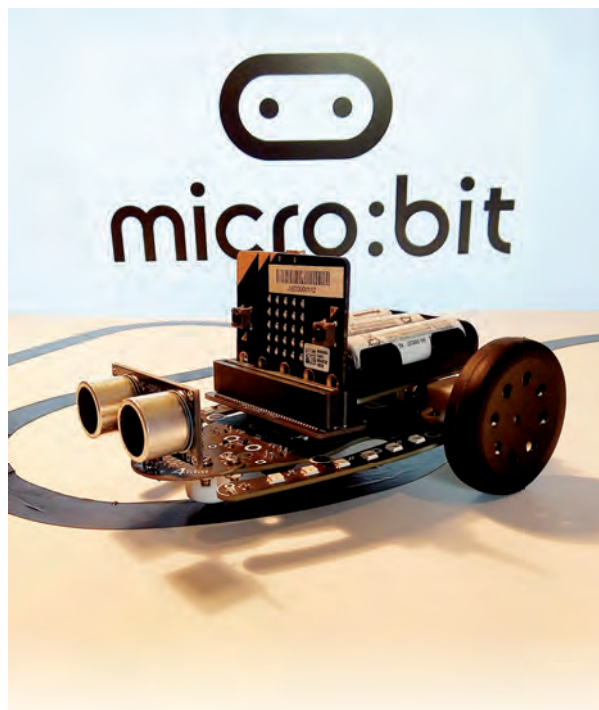
A Mikola-cső 10° -os, 20° -os és 30° -os helyzeténél mérjük meg, hogy mennyi idő alatt tesz meg a csőben lévő buborék 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm és 100 cm utat. Határozzuk meg az egyes szakaszon a buborék sebességét!

Igazoljuk, hogy a buborék mozgása egyenes vonalú egyenletes mozgás! Rajzoljuk fel a mozgás grafikonjait! Nézzük meg, hogy mérési hibákat hol követhettünk el a mérés során!

2 Sebességmérés vonalkövető robotautóval

Robotautók egyik fajtája a vonalkövető autó (line following car), mely egy fekete vonalat követ, amit egy fehér padlóra rajzoltak. Lehet saját építésű is, LEGO is, lehet például a népszerű bit:bot is. Működésének lényege, hogy a kocsi alján van egy érzékelő, mely figyeli a fényerősséget, megkülönbözteti a világos és sötét területeket. Ezt kihasználva, egy megfelelő program segítségével, követni tudja a fekete vonalat.

Az autó vezérlője a micro:bit, melyre számtalan program található az interneten, hogyan lehet akár a legegyszerűbb blokkos felületen programozni. Ha kész, mérhetitek a sebességét egyenes szakaszon is, vagy kanyarban.



1. lépés: fekete szigetelőszalaggal készítesek pályát vagy a padlón, vagy egy rajzlapon!
2. Programozd be a kisautót vonalkövetésre!
3. Jelöld ki szakaszokat, mérd le a hosszukat, a futási idejüket és határozd meg az átlagsebességüket az egyes szakaszokon! Foglald táblázatba és ábrázdol diagramon!

Irodalom

<https://4tronix.co.uk/blog/?p=1490>

PROJEKTFELADAT

Az 5. Egyenes vonalú egyenletesen változó mozgás c. lecke kiegészítése

1 Menetrend vizsgálata

- Rajzold fel a Szolnok és Budapest között közlekedő 609. számú gyorsvonat megtett út-idő grafikonját!
- Határozd meg a teljes útra számított átlagsebességet!
- Rajzold fel a gyorsvonat átlagsebesség-idő grafikonját!
- Számítsd ki a 2559. számú személyvonat átlagsebességét Szolnok és Budapest Nyugati pályaudvar között!
- Rajzold fel Szolnok és Budapest Nyugati pályaudvar között a személyvonat megtett út-idő és az átlagsebesség-idő grafikonokat a személyvonat mozgására!
- Hasonlítsd össze a két vonat átlagsebességét! Hány százalékkal gyorsabb a gyorsvonat a személyvonatnál?

100a Szolnok — Cegléd — Budapest

| Km | MAV-START Zrt. | 7009 2.◆ | 2859 2899 2.◆ | 6007 2.◆ | 2717 2.◆ | 2559 2.◆ | IC709 R◆ | 2617 2.◆ | 2869 2.◆ | 6039 2.◆ | S7207 R◆ | IC609 R◆ | 2727 2.◆ | 2517 2.◆ | IC719 R◆ |
|-----|------------------------------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0 | Szolnok 82,86,100,120a,120,130,145 | ... | 5 45 | 6 05 | 6 22 | ... | ... | ... | 6 55 | 7 11 | 7 16 | 7 22 | ... | ... | ... |
| 11 | Ábony | ... | 5 55 | 6 15 | 6 32 | ... | ... | ... | 7 05 | 7 21 | 7 26 | 7 32 | ... | ... | ... |
| 27 | Cegléd | ... | 6 06 | 6 26 | 6 43 | ... | ... | ... | 7 16 | 7 32 | 7 37 | 7 41 | ... | ... | ... |
| 140 | Szeged | 4 36 | ... | ... | ... | ... | 5 47 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 6 45 |
| 140 | Kiskunfélegyháza | 5 23 | ... | ... | ... | ... | 6 31 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 7 31 |
| 140 | Kecskemét | 5 39 | ... | ... | ... | ... | 6 48 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 7 48 |
| 140 | Cegléd | 6 06 | ... | ... | ... | ... | 7 12 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 8 12 |
| 142 | Cegléd | 6 08 | 6 13 | 6 28 | 6 48 | ... | 7 13 | 7 18 | 7 38 | 7 43 | ... | ... | 7 48 | 8 13 | ... |
| 34 | Budai út | 6 14 | 6 19 | 6 34 | 6 54 | ... | ... | 7 24 | ... | ... | ... | ... | 7 54 | 8 19 | ... |
| 38 | Ceglédbercel-Cserő | 6 18 | 6 23 | 6 38 | 6 58 | ... | ... | 7 28 | ... | ... | ... | ... | 7 58 | 8 23 | ... |
| 40 | Ceglédbercel | 6 21 | 6 26 | 6 41 | 7 01 | ... | ... | 7 31 | ... | ... | ... | ... | 8 01 | 8 26 | ... |
| 45 | Albertfűrső | 6 25 | 6 30 | 6 45 | 7 05 | ... | ... | 7 35 | ... | ... | ... | ... | 8 05 | 8 30 | ... |
| 52 | Pilis | 6 31 | 6 36 | 6 51 | 7 11 | ... | ... | 7 41 | ... | ... | ... | ... | 8 11 | 8 36 | ... |
| 56 | Monorierdő | 6 35 | 6 40 | 6 55 | 7 00 | ... | ... | 7 45 | ... | ... | ... | ... | 8 15 | 8 40 | ... |
| 62 | Monor | 6 40 | 6 45 | 7 00 | 7 05 | ... | ... | 7 50 | ... | ... | ... | ... | 8 20 | 8 45 | ... |
| 67 | Hosszaberek-Péteri | 6 41 | 6 47 | 7 01 | 7 07 | ... | ... | 7 51 | ... | ... | ... | ... | 8 07 | 8 21 | ... |
| 71 | Ullo | ... | 6 51 | 7 07 | 7 11 | ... | ... | 7 41 | ... | ... | ... | ... | 8 11 | 8 26 | ... |
| 77 | Vecses-Kertekalja | ... | 6 55 | 7 15 | 7 20 | ... | ... | 7 45 | ... | ... | ... | ... | 8 15 | 8 30 | ... |
| 78 | Vecses | ... | 7 00 | 7 20 | 7 25 | ... | ... | 7 50 | ... | ... | ... | ... | 8 20 | 8 35 | ... |
| 82 | Fertőegyháza | ... | 7 03 | 7 23 | 7 28 | ... | ... | 7 53 | ... | ... | ... | ... | 8 23 | 8 38 | ... |
| 84 | Szemerelelep | 6 55 | 7 07 | 7 15 | 7 35 | ... | 7 45 | 7 57 | 8 05 | ... | 8 10 | 8 15 | 8 35 | 8 50 | ... |
| 86 | Pestszentlőrinc | ... | 7 09 | 7 29 | 7 35 | ... | ... | 7 59 | ... | ... | ... | ... | 8 29 | 8 44 | ... |
| 89 | Kőbánya-Kispest 150 | 7 00 | 7 12 | 7 32 | 7 40 | ... | 7 50 | 8 02 | 8 10 | ... | 8 15 | 8 20 | 8 35 | 8 50 | ... |
| 142 | Kőbánya-Kispest | 7 01 | 7 15 | 7 20 | 7 35 | ... | 7 50 | 8 05 | 8 10 | ... | 8 15 | 8 20 | 8 35 | 8 50 | ... |
| 92 | Kőbánya alsó | 7 05 | 7 16 | 7 21 | 7 36 | ... | 7 51 | 8 06 | 8 11 | ... | 8 16 | 8 21 | 8 36 | 8 51 | ... |
| 95 | Zugló | 7 10 | 7 20 | 7 25 | 7 40 | ... | 7 55 | 8 10 | 8 15 | ... | 8 20 | 8 25 | 8 40 | 8 55 | ... |
| 100 | Budapest-Nyugati | 7 10 | 7 25 | 7 30 | 7 45 | ... | 7 59 | 8 15 | 8 20 | ... | 8 24 | 8 29 | 8 45 | 9 00 | ... |
| 100 | Budapest-Nyugati | 7 17 | 7 32 | 7 37 | 7 52 | ... | 8 07 | 8 22 | 8 27 | ... | 8 32 | 8 37 | 8 52 | 9 07 | ... |

2 Fékút mérése féknyom alapján

Egy osztálytársad kerékpárjával az aszfalton úgy fékez, hogy féknyomot hagy.

- Hogyan határoznád meg egy stopperrel és mérőszalaggal a kerékpáros fékezés kezdetekor meglévő sebességét és a kerékpáros lassulásának értékét?

Rögzítsd az adatokat táblázatban!

| | s (m) | t (s) | a (m/s ²) | v_0 (m/s) |
|-------|---------|---------|-------------------------|-------------|
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| 3. | | | | |
| Átlag | | | | |

- Határozd meg a kerékpáros fékezés megkezdésekor meglévő sebességét!

- Ábrázold a mozgás megtett út-idő és sebesség-idő grafikonját!

3 Kerékpáros reakcióidejének mérése fékezéskor

Készítsetek tervet és mérjétek meg fékezéskor egy kerékpáros reakcióidejét! Reakción értjük a fékezés szükségességének észlelése és a fékezés megkezdése között eltelt időtartamot. Mennyivel lesz hosszabb a megállásig megtett út?

4 Mélységmérés

Tervezd meg és mérd meg, hogy milyen mélyen van egy kútban a víz felszíne, egy kavics és egy stopper segítségével! Készíts táblázatot, melyben a mért adatokat rögzíted! Az esés idejét és a nehézségi gyorsulás (9,81 m/s²) értékét használd fel a feladat megoldásához! Becsüld meg a mérés pontosságát! Milyen mérési hibák léphetnek fel a mérés során?

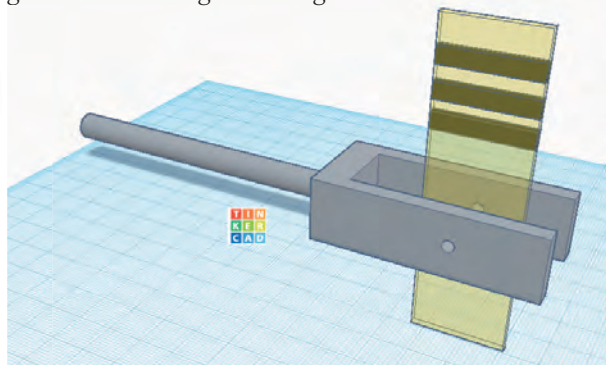
PROJEKTFELADAT

A 7. Szabadesés c. lecke kiegészítése

1 Szabadesés mérése micro:bittel

A mérési feladat elvégzéséhez előkészületre van szükség.

1. Tervezd meg, hogy milyen érzékelőt használnál az idő- és távolságmérésre! Egy ötlet: Tervezz optikai kaput 3D nyomtóval (<https://www.tinkercad.com/>)! A fényforrás (3 mm átmérőjű LED) és a detektor (3 mm átmérőjű LDR fotoellenállás). A fénykapu érzékelői között áteső fényszaggató lehet egy átlátszó műanyag vonalzóra ragasztott fekete szigetelőszalag.



A fénykapu egy lehetséges terve

Érzékelőként szóba jöhet még:

Indukciós hurkon áteső mágnes. Itt az indukciós feszültséget mérheted. Mikrofon egy golyó esési idejének lehallgatásához (Emelt fizika érettségi mérések). Elektromágnes, vasgolyó, mikrokapcsoló (Az esési idő mérésehez).

2. Illeszd a kiválasztott szenzorokat, vezérlőket a mérést vezérlő hardverhez (micro:bit).

3. A hardver összeállítása és tesztelése után tervezd meg, kódold le, majd teszteld a mérést vezérlő programot, amelyik a mikrovezérlőn fog majd futni! Ezt a mikrovezérlőre írt programot fel kell majd tölteni a mérést vezérlő mikro-

kontrollerre. A mikrovezérlő (micro:bit panel) programozásához az interneten keress példákat! Ezeket a kis paneleket a scratch-hez hasonlóan egy ún. blokk editorban is lehet programozni. A megírt programot *.hex kiterjesztésű fájlként feltöltjük a micro:bitre.

4. Telepítsd az Excel programba a Microsoft Data Streamert. Ezzel az Excelbe épülő modullal valós idejű érzékelők adatainak rögzítését, megjelenítését és elemzését végezheted majd el Excel táblázatokban.



A datastreamer feladata a mérés dokumentálásában

A telepített Data Streamer modul, így adatokat küldhet a mikrovezérlőből az Excelbe. Szükség esetén a folyamat vezérléséhez (indítás) az Excel is adatokat küldhet vissza a mikrovezérlőre. A mérés összeállításához segítséget találsz az interneten (pl. support.office.com és az Excel Data Streamer Help menüjében), ahol a mérés működési elvét is megtalálod.*

5. Csatlakoztasd a mikrovezérlőt (micro:bit) a számítógéped USB portjához. Miután a programod elindult a mikrovezérlőn, az átküldi az adatokat az Excelbe az USB porton keresztül.

6. A mért adatokból az Excelben számítsd ki a nehézségi gyorsulás értékét! Az Excelben ábrázd a mozgás grafikonjait!

Irodalom

<https://pilath.wordpress.com/>

* Bővebben: <https://support.microsoft.com/hu-hu/office/mi-az-adatk%c3%bclld%c5%91-1d52ffce-261c-4d7b-8017-89e8ee2b806f?ui=hu-hu&crs=hu-hu&cad=hu>

2 Szabadesés vizsgálata a Tracker videoelemző program használatával

A mérés célja: Elemezd egy videoelemző szoftverrel egy szabadon eső test mozgását!

Készítsd el a mozgás út-idő, sebesség-idő és gyorsulás-idő grafikonjait!

A mérési módszer: A szabadon eső test mozgás közben egyenletesen gyorsul. A felvett képen megmérjük az 0,1 s, 0,2 s, 0,3, 0,4 s és 0,5 s alatt megtett utakat. A eltelt időből és a megtett utakból az $s = \frac{a}{2} t^2$ összefüggésből számítjuk ki a test gyorsulását!

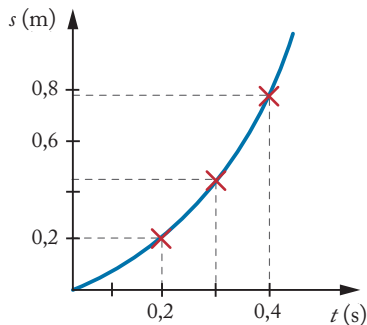
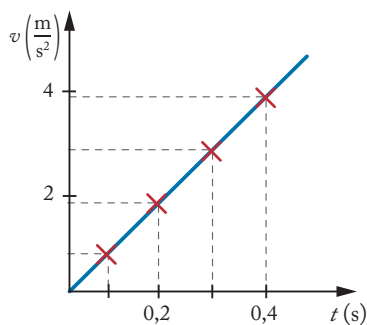
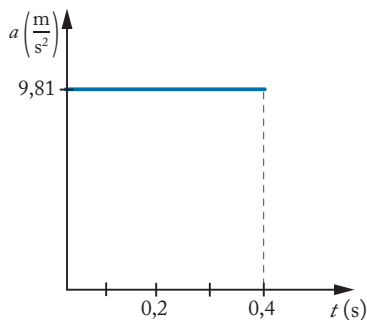
A mérés menete: Egy szabadon eső labda mozgását vegyük fel videokamerával. A képbe helyezzünk be egy méterrudat vagy egy ismert hosszúságú etalont! Ügyeljünk arra, hogy a mozgás pályája beleférjen a videokamera által felvett térrészbe és a labda pályája minél jobban kitöltse a képmezőt! A kamerát állványra rögzítsd, míg a labda mögött világos hátteret biztosít!

Határozd meg az eltelt időkhöz tartozó megtett utakat!

| idő (s) | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| megtett út (m) indulástól számítva | | | | | |
| gyorsulás értéke $\left(\frac{m}{s^2}\right)$ | | | | | |

Igazold, hogy a szabadesés egy egyenes vonalú egyenletesen változó mozgás!

A labdát tömegpontnak tekintve készítsük el a mozgás út-idő, sebesség-idő és gyorsulás-idő grafikonját!



Ha egy kinematikai modellt felállítunk, méréssel ellenőrizhetjük annak helyességét.

Útmutató a program használatához: A Tracker egy ingyenes videoelemző és modellező eszköz a fizika oktatásához, mellyel egy filmre vett test mozgását elemezhetjük. A telepítő letölthető pl. a Tracker honlapjáról a www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/ vagy a ComPADRE nyílt forráskódú fizika gyűjteményéből: www.compadre.org/osp

10. lecke

Periodikus jelenségek



Milyen mozgást végez a műugró a trambulínon az ugrás előtt?

Hogyan jellemezhetjük a rezgőmozgást?

Mit jelent a szapora szívverés kifejezés?

Miért hívják a metronómot ütemmérőnek?

A 10. Centripetális gyorsulás c. lecke kiegészítése

A Csendes-óceán délnyugati részén található Püünkösd-sziget őslakóinak termékenységi ünnepe, rituálék keretében, 10-15 méter magas, enyhén előredőlő toronyból férfiak ugranak a mélybe. Lábukra rugalmas szőlőindákból sodort kötelet erősítenek, amely biztosítja, hogy az ugrónak épp csak a haja súrolja a földet. Ez a vallási szertartás az őse a ma divatos extrém sportnak, a bungee jumpingnak. A nagy zuhanás után a gumikötélhez kötött ember még sokáig le-föl mozog. *Hogyan lehet ezt a mozgást leírni?*

A rezgésről általában

Környezetünkben igen gyakran fordulnak elő szabályosan ismétlődő, periodikus jelenségek. Ilyen az évszakok váltakozása, a szívverésünk, vagy akár valamely áru (például a búza) tőzsdei árfolyama is változhat ily módon. A motor hengerében a dugattyú mozgása, a sípok légoszlopainak rezgése, az inga lengése szintén periodikus jelenség.

Az élet sok területén megjelennek időben periodikusan változó mennyiségek. Ennek legegyszerűbb fajtájával, a mechanikai rezgéssel ismerkedünk most meg, s az itt szerzett ismereteinket alkalmazzuk majd a fizika más területein is (mechanikai hullámok, hangtan, elektromágneses rezgések, elektromágneses hullámok, fény).

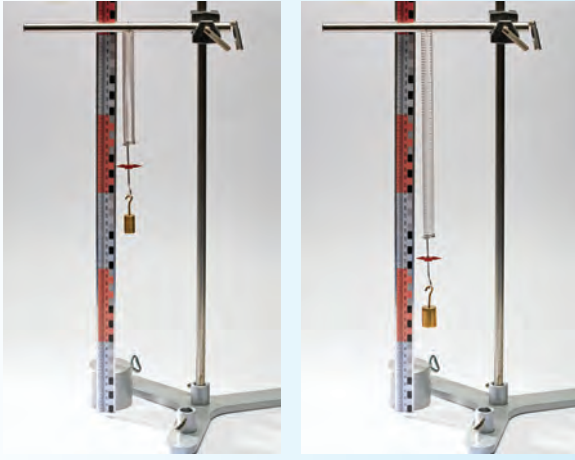


A dugattyú periodikus mozgásának négy üteme

KÍSÉRLET MECHANIKAI REZGÉSRE

Akasszunk egy picit, de nehéz testet az egyik végén rögzített spirálrugó végére! Várjuk meg, míg a test nyugalomba kerül az egyensúlyi helyzetében! Függőleges egyenes mentén térítsük ki valamelyik irányba (föl vagy le), s hagyjuk magára!

Figyeljük meg a kialakuló mozgást!



Láthatjuk, hogy a test egyenes mentén, a két szélső helyzet között időben ismétlődő mozgást végez.

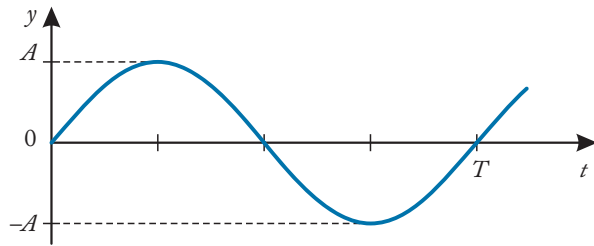
Azt a mozgást, amelynek során egy test az egyensúlyi helyzet körül időben periodikusan ide-oda mozog, mechanikai rezgésnek nevezzük.

A rezgések leírása

Vezessünk be az új mozgásra fizikai jellemzőket! Azt a helyzetet, amikor a rezgőmozgást végző testre ható erők eredője nulla, **egyensúlyi helyzet**nek nevezzük. Ha a rugóra akasztott testet az egyensúlyi helyzetébe visszük, és itt magára hagyjuk, akkor az ott is marad. Ha innen kitérítjük, és magára hagyjuk, akkor a test a rezgőmozgás során azonos időközönként áthalad az egyensúlyi helyzeten.

A test helyzetét ezután egy olyan vonatkoztatási rendszerben vizsgáljuk, amelyben az egyensúlyi helyzet az origó. Az origóból kiinduló két irány egyikét válasszuk pozitív iránynak! A test helyzetét ebben a vonatkoztatási rendszerben egy adott pillanatban a **kitérés** adja meg. A választott irányt figyelembe véve a kitérés értéke pozitív és negatív is lehet. Jele: y , mértékegysége a méter (m). Az egyensúlyi helyzetben $y = 0$.

A **szélsőhelyzetek**ben a test sebessége irányt vált, ezt a két végpontot **fordulópont**oknak is nevezzük. Itt a test sebessége egy pillanatra 0.



A harmonikus rezgőmozgás kitérés-idő ($y-t$) grafikonja

Valamelyik szélsőhelyzethez tartozó kitérést nevezük **amplitúdó**nak. Jele: A , mértékegysége a méter (m). A mozgás fordulópontjaiban a kitérés $y = \pm A$. (Az amplitúdó latin eredetű szó, jelentése: nagyság, terjedelem, tágasság.)

A rezgés periodikus jelenség, ezért a körmozgásnál már megismert jellemzőket, amelyek a mozgás időbeli ismétlődését (periodikusságát) mutatják, a rezgéseknél is alkalmazhatjuk.

A rezgőmozgás ismétlődő egységeinek időtartama azonos. Egy teljes rezgés megtételéhez szükséges időt **periódusidő**nek vagy **rezgésidő**nek nevezzük. Jele: T , mértékegysége a másodperc (s).

A **frekvencia** vagy **rezgésszám** a mozgás során lejajlott rezgések k száma és az eltelt t idő hányadosa. Jele: f .

$$f = \frac{k}{t}$$

A **frekvencia mértékegysége** $\frac{1}{s}$ vagy hertz (Hz).

A két mennyiség közötti kapcsolat: $f = \frac{k}{t} = \frac{1}{T}$
(A két mennyiség egymás reciproka.)

| Periodikus jelenség | Frekvenciájának nagyságrendje |
|---------------------|-------------------------------|
| Szívverés | 1 Hz |
| Motoralapjárat | 10 Hz |
| Hálózati áram | 50 Hz |
| Normál zenei A hang | 440 Hz |
| Rádióadás jele | 10^8 Hz (100 MHz) |
| Számítógép órajele | 10^9 Hz (1 GHz) |
| Hősugarak | 10^{13} Hz |
| Látható fény | 10^{14} Hz |
| Röntgensugarak | 10^{16} Hz |

Az élet különböző területein gyakran előforduló frekvenciaértékek nagyságrendje Hz-ben

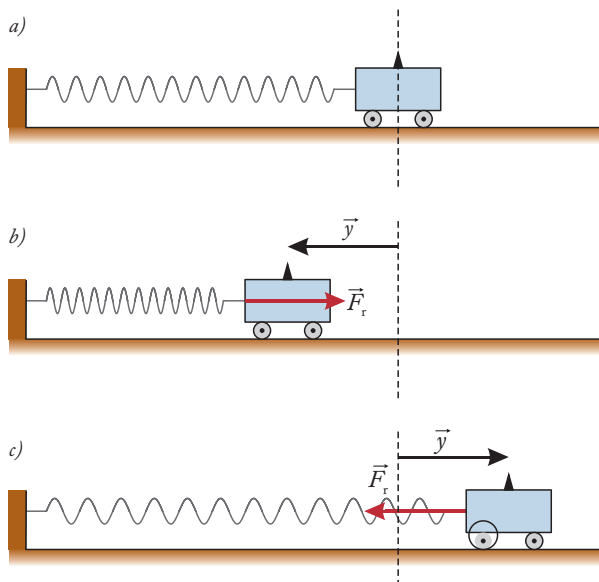
A rezgőmozgás oka

Vízszintes, sima asztallapon rögzítsük egy húzó-nyomó rugó egyik végét! A másik végéhez egy testet erősítünk. Ha a testet az egyensúlyi helyzetéből kitérítjük, majd magára hagyjuk, kialakul a rezgőmozgás. Ekkor a testre ható rugóerő ellentétes irányú a kitéréssel (b). Miután a test áthaladt az egyensúlyi helyzeten, a test kitérése és a rugóerő is irányt vált (c).

Elmondható, hogy a vizsgált rezgőmozgás során a testre ható rugóerő nagysága egyenesen arányos a kitéréssel, és vele ellentétes irányú.

Az olyan erőt, amelynek nagysága egyenesen arányos a kitéréssel, és vele ellentétes irányú, harmonikus erőnek nevezük. A harmonikus erő által létrehozott rezgőmozgást harmonikus rezgőmozgásnak nevezük. A harmonikus rezgőmozgás létrejöttének feltétele, hogy a testre ható erők eredője harmonikus legyen.

Harmonikus rezgőmozgásnak tekinthetjük a rugón rezgő testek mozgását (ha a légellenállástól eltekintünk), a karos mérleg billegő serpenyőjének mozgását, vagy például a motor dugattyújának mozgását.



A testre ható eredő erő ellentétes irányú a kitéréssel

Húzó-nyomó rugó végén rezgőmozgást végző kiskocsi egyensúlyi helyzetben (a), a rugót összenyomva (b), illetve a rugót megnyújtva (c)

Harmonikus rezgőmozgás esetén az amplitúdó, azaz a legnagyobb kitérés időben nem változik. A rezgő test sebessége viszont folyamatosan változik, a fordulópontoknál 0, míg az egyensúlyi helyzeten való áthaladáskor maximális a sebesség. A harmonikus erő a rezgő test gyorsulását okozza, minél nagyobb a kitérés, annál nagyobb a harmonikus erő, ezáltal annál nagyobb a test gyorsulása is. Ebből következik, hogy a rezgő test gyorsulása a fordulópontokban maximális, az egyensúlyi helyzetben 0.

KIDOLGOZOTT FELADAT

A függőleges helyzetű rugó felső végét rögzítjük. Az alsó végére egy 20 dkg tömegű testet erősítünk. A test egyensúlyi állapotában a rugó megnyúlása 10 cm.

- Mekkora a rugó rugóállandója?
- Az egyensúlyi helyzetéből függőlegesen kimozdítjuk a testet, majd magára hagyjuk. 10 teljes rezgést 6,3 s idő alatt tesz meg a test. Mennyi a rezgésidő?
- Mennyi a rezgés frekvenciája?

Megoldás

Adatok:

$$m = 0,2 \text{ kg}, \Delta l = 0,1 \text{ m}, k = 10, t = 6,3 \text{ s}$$

$$a) D = ?, b) T = ?, c) f = ?$$

a) Egyensúlyi állapotában a testre ható erők eredője 0.

Az m tömegű testre ható nehézségi és rugóerő azonos nagyságú, ellentétes irányú: $m \cdot g = D \cdot \Delta l$

A D rugóállandó már könnyen kifejezhető:

$$D = \frac{m \cdot g}{\Delta l} = \frac{0,2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,1 \text{ m}} = 20 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

A rugó rugóállandója: $20 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

$$b) \text{ A rezgésidő: } T = \frac{t}{k} = \frac{6,3 \text{ s}}{10} = 0,63 \text{ s}$$

$$c) \text{ A rezgés frekvenciája: } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,63 \text{ s}} = 1,59 \frac{1}{\text{s}} \approx 1,6 \text{ Hz}$$

Kérdések és feladatok

1 Egy Otto-motor hengerében a lökethossz 96 mm. $3000 \frac{1}{\text{min}}$ fordulatszám mellett mekkora „utat tesz meg” a dugattyú a hengerben percenként? (A dugattyú lökethossza megegyezik a rezgés két szélsőhelyzete közötti távolsággal.)

2 A gitár E-húrja 6652-t rezeg 20 másodperc alatt. Mekkora a frekvencia? Mekkora a rezgésidő?

3 Rugós játék figura rugójának felső végét megfogjuk, a rugó függőleges helyzetű lesz, az alsó végén a 30 dkg tömegű játék figura függ. Amikor a test nyugalomban van, a rugó megnyúlása 6 cm. Mekkora a rugó rugóállandója?

4 A vízszintes helyzetű rugó egyik végét rögzítjük. A másik végéhez egy test van erősítve, ami súrlódás nélkül képes mozogni a vízszintes asztallapon. A testet egyensúlyi helyzetéből 5 cm-rel kitérítjük, majd magára hagyjuk. A kialakuló rezgés periódusideje 1,5 s. Mekkora a mozgás frekvenciája? Mekkora utat tesz meg a test, és mekkora a test elmozdulása 3 s, illetve 4,5 s idő alatt?



10. lecke

A rezgésidő és a lengésidő



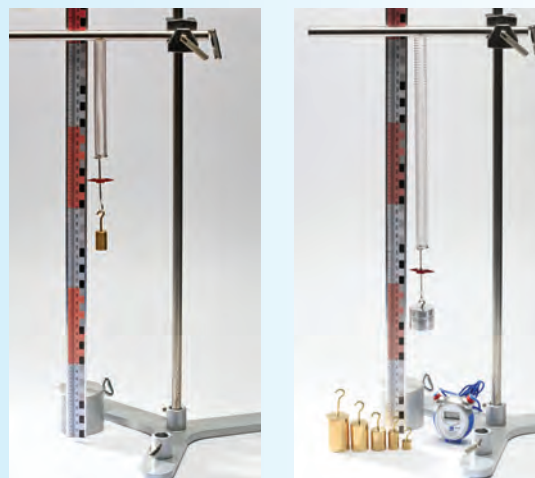
A Föld milyen tulajdonságát sikerült igazolnia Foucault-nak a híres ingakísérlettel? Befolyásolja-e a rugó keménysége a kialakuló rezgés ütemét? Változik-e hintázás üteme, ha jobban kilengünk? Miért kell felhúzni a rugós órákat?

A 10. Centripetális gyorsulás c. lecke kiegészítése

Galilei a pisai dómban ülve gyakran figyelhette meg egy, a plafonról hosszú kötélen függő bronzcsillár periodikus, lengő mozgását. A legenda szerint ezt figyelve kapott kedvet az ingmozgás törvényszerűségeinek feltárásához.

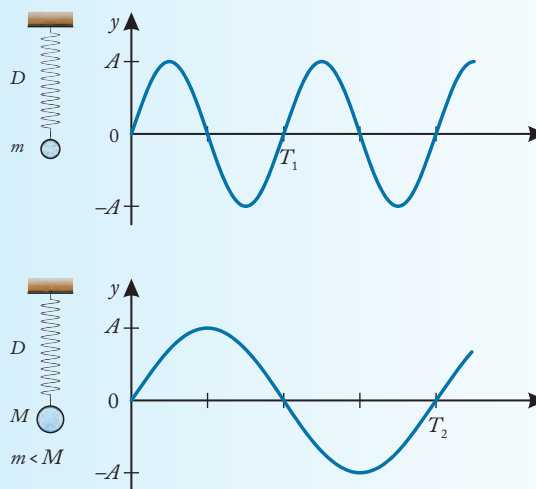
KÍSÉRLETEK A REZGÉSIDŐRE

1. Két különböző tömegű testtel végezzük el a következő kísérletet! Először akasszuk a rugóra a könnyebb testet, majd várjuk meg, míg az egyensúlyi helyzetében nyugalomba kerül! Innen térítsük ki, s engedjük el! Figyeljük meg a mozgás ritmusát! Most a nehezebb testtel végezzük el ugyanezt!



Ugyanarra a rugóra akasztott kisebb, illetve nagyobb tömegű test harmonikus rezgőmozgást végez

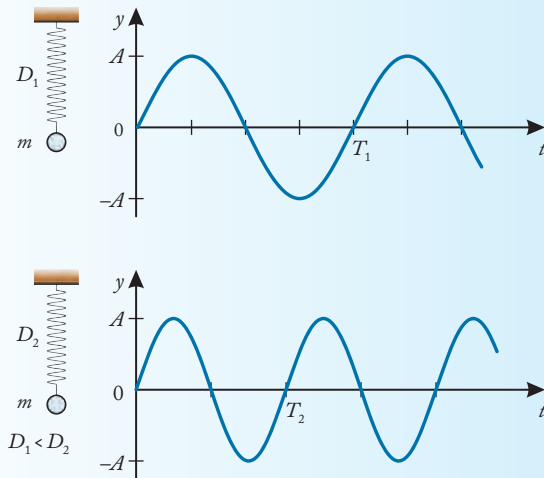
Ha a rugóra nagyobb tömegű testet akasztunk, lomhább rezgőmozgást tapasztalunk.



A két rezgőmozgás kitérés-idő grafikonja

2. Most ugyanazt a testet akasszuk először egy lágyabb (kisebb rugóállandójú), majd egy keményebb (nagyobb rugóállandójú) rugóra! Hasonlítsuk össze most is a két mozgás periódusidejét!

Most azt tapasztaljuk, hogy ugyanazon a testen a nagyobb rugóállandójú rugó okoz szaporább rezgést.



Különböző rugókra akasztott azonos tömegű testek harmonikus rezgőmozgást végeznek

A rezgésidő

Az a gyanúnk, hogy a rezgésidőt alapvetően a rugóállandó és a rezgő test tömege határozza meg.

Igazolható és levezethető, hogy a rezgésidő és a frekvencia:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}, \quad f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{D}{m}}$$

A harmonikus rezgőmozgás rezgésideje és frekvenciája a test tömegétől és a rugó direkciónálállandójától (rugóállandótól) függ.

A kapott összefüggések összhangban vannak a tapasztalattal. Ugyanazon a rugón rezgő nagyobb tömegű test periódusideje nagyobb. Ugyanazon test rezgésideje nagyobb rugóállandójú rugón kisebb.

A fenti összefüggésekben nem szerepel a rezgés amplitúdója, azaz a rezgésidő és a frekvencia nem függ tőle. Ez azt jelenti, hogy ha egy ismert rezgés-

idejű, rugón rezgő testet megállítunk, majd később újra kitérítve rezgésbe hozzuk, akkor bármekkora is a kezdő kitérítés mértéke, a test a korábbi rezgésidővel fog rezegni.

Az ingamozgás

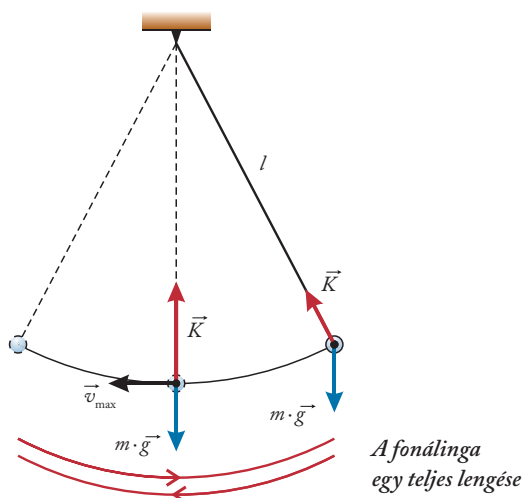
Ingamozgást végez egy felfüggesztett test, ha stabil egyensúlyi helyzetéből kitérítjük, és magára hagyjuk. Ha a kitérítés kicsi, akkor a kialakuló lengés jó közelítéssel harmonikus rezgésnek tekinthető.

A legegyszerűbb ingamozgást a **fonálinga** vizsgálatával írhatjuk le. Fonálingát úgy kapunk, ha egy hosszú, elhanyagolható tömegű fonál egyik végét rögzítjük, a másik végére pedig egy kicsi, nehéz (pontoszerű) testet erősítünk. (Például kulcszomót helyezünk egy kulcstartó szalagra.)



A fonálinga mozgásának vizsgálata

Az l hosszú fonál végén lévő testet az egyensúlyi helyzetéből térítjük ki, majd engedjük el! (Ügyeljünk arra, hogy a kötélfesz legyen, és kezdősebesség nélkül induljon a test!) Figyeljük meg a fonálinga mozgását! A kialakuló mozgást a nehézségi erő ($m \cdot g$) és a kötélterő (K) együttes hatása okozza. A mozgás során a kötélterő nagysága és iránya is pillanatról pillanatra változik. Periodikus jelenséget látunk: a test az egyik szélsőhelyzetből indul.



A sebessége egészen addig növekszik, amíg a kötélfüggőleges helyzetű lesz. Ekkor legnagyobb a sebessége. A test tehetetlensége miatt továbblendül, innentől viszont a sebessége csökken, egészen a másik oldali szélsőhelyzetig. Innentől a mozgás hasonlóan zajlik le, mint eddig, csak a másik irányba. A fonálinga mozgása az imént végigkövetett egy-egy mozgásból tevődik össze.

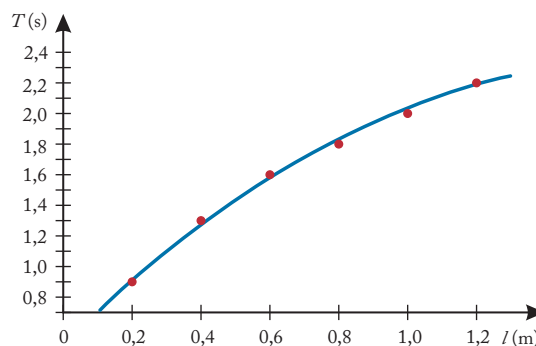
Egy teljes lengésnek nevezzük az ingamozgás azon szakaszát, melynek során a test kétszer fut végig a fonálinga által bejárt köríven. Egy teljes lengés ideje a lengésideő. Jele: T . A lengésideő mértékegysége: s.

KÍSÉRLET A LENGÉSIDEŐ VIZSGÁLATÁRA

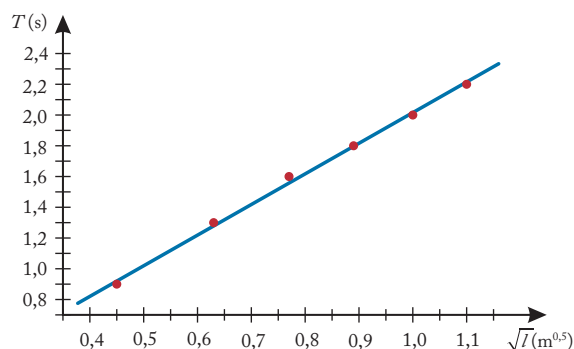
Mérjük meg különböző hosszúságú fonálingák lengésidejét! Célszerű 10-10 teljes lengés idejét mérni. A mért adatból számoljunk lengésideőt, majd határozzuk meg a fonálhosszak négyzetgyökét is!

| | 1. mérés | 2. mérés | 3. mérés | 4. mérés | 5. mérés | 6. mérés |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| l (m) | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
| 10 T (s) | 9 | 13 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| T (s) | 0,9 | 1,3 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 |
| \sqrt{l} (m ^{0,5}) | 0,45 | 0,63 | 0,77 | 0,89 | 1,0 | 1,1 |

A kapott értékeket ábrázoljuk először a fonálingák hosszának, majd a fonálhosszak négyzetgyökének függvényében!



A lengésideő függése a fonálinga hosszától



T függése \sqrt{l} -től

Azt tapasztaljuk, hogy a T lengésideő egyenesen arányos a \sqrt{l} -lel.

A fonálinga lengésidejét vizsgálva a következő megállapítások tehetők:

- a Föld adott helyén az azonos hosszúságú fonálingák lengésideje azonos, **az ingatest tömegétől, anyagától és a mozgás amplitúdójától függetlenül**;
- adott helyen 4-szer, 9-szer hosszabb fonálingák lengésideje 2-szer, 3-szor nagyobb;
- ugyanannak a fonálingának a lengésideje függ a földrajzi helytől, pontosabban az adott helyen mérhető nehézségi gyorsulástól. Például a sarkokon (ahol a g nehézségi gyorsulás a legnagyobb) a legkisebb, az Egyenlítő közelében (ahol a g a legkisebb) a legnagyobb. Sőt, ha ezt az ingát a Holdra vinnénk, lengésideje közel két és félszer nagyobb lenne, mint a Földön (a Holdon a nehézségi gyorsulás a földi érték hatoda).

A lengésidő elméleti vizsgálatánál a fonalat tömeg nélkülinek és nyújthatatlannak, a lengő testet pontszerűnek tekintjük. Az ilyen fonálingát **matematikai ingának** nevezzük.

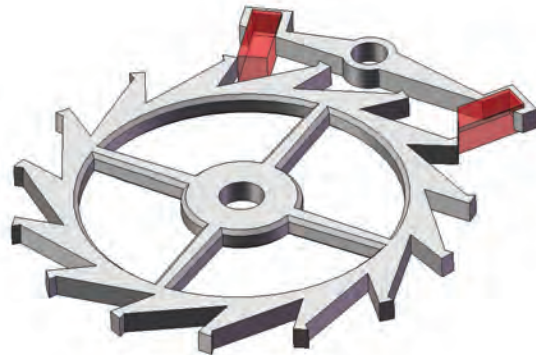
Bebizonyítható, hogy a lengésidő: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$

Az ingaóra

Az első **mechanikus órákat** a XIII. században készítették. Egy hengerkerékre felcsévélт kötéltre nehezéket akasztottak, ami a nehézségi erő hatására nyomatókat gyakorolt a hengerre. A henger ezáltal egyre gyorsabb forgómozgásba kezdett, ezt kellett valahogy lefékezni, egyenletes forgómozgássá alakítani. A fékezést és szabályozást kezdetben a hengerkeréken kialakított fogaskerék fogai közé feszített kötélzsalak biztosították, melyen meghatározott ütemben pattant át a fogaskerék. Ez a megoldás nem hozott pontos időmérést, az órák igen nagy késéssel, vagy éppen sietéssel jártak. A megfelelő szabályozásra a XVII. század közepén **Huygens** jött rá. Galilei megfigyelését – miszerint a lengés idejét nem befolyásolja az inga amplitúdója – felhasználta, hogy **ingaórát** építsen. Az inga egy V alakú karmos szerkezetet, a gátlóművet mozgatja ide-oda. Minden lengésnél a gátlómű a hengerkerék fogaskerekét csak egy foggal engedte arrébb

fordulni. Így a fogaskerék egyenletesen lassan forgott, az inga nem engedte gyorsulni a nehezéket, a nehezék súlya pedig folyamatos lengésben tartotta az ingát. Huygens az ingaóra szerkezetét 1656-ban szabadalmaztatta. Az inga hosszát változtatva be lehetett állítani, hogy az óra pontosan járjon.

Huygens továbbfejlesztette óraszerkezetét úgy, hogy azt utazás közben, zsebben, vagy hajókon is használni lehessen. Úti óráját az ereszkedő nehezék helyett egy „felhúzzható” **spirálrugó** mozgatta. A rugóban tárolt rugalmas energia alakult át mozgási energiává. A gátlómű ingája helyett szintén rugós szerkezetet használt, mely egy kereket billegtetett ide-oda. Huygens munkájából született meg később a zsebóra és a karóra is, ezek a miniatűr óraszerkezetek, melyeknek leghíresebb darabjait Svájcban és Japánban készítették.



A gátlómű működésének elvi rajza

Christiaan Huygens (1629–1695)

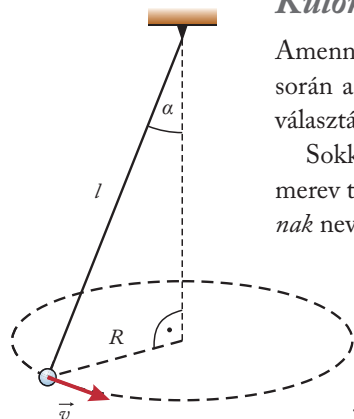
Holland fizikus és matematikus, a XVII. század egyik legtöbb konkrét eredményt felmutató fizikusa. Igen korán elkezdett érdeklődni a matematikai problémák iránt. Kúpszeletek területszámításával, majd valószínűségszámítási problémákkal foglalkozott. A fizika felé azután fordult, hogy testvérével *csillagászati távcsövet épített*. Felfedezte a Szaturnusz gyűrűjét és egy holdját, valamint az Orion-ködöt. *Megfigyelései pontos időmérést igényeltek*, ezért kezdte el vizsgálni az ingamozgást. Pontos óraművek készítésével is foglalkozott, több szabadalmat jelentett be ebben a témában. Vizsgálta az ütközések elméletét, az egyenletes körmozgás mechanikáját is. Fénytani és hullámtani kutatásai is jelentősek. Értelmezte az optikai kettőtörés jelenséget. Legismertebb művében (*Értekezés a fényről*) a fényt – Newtonnal ellentétben – hullámként írta le. Ennek ellenére Newton elismerte munkásságát, tisztelte Huygenst. 1665-től 16 éven keresztül a *Francia Akadémia elnöke*. Rengeteg időt szánt a tudományra, mégis maradt ideje versírásra. Foglalkoztatta a Földön kívüli élet lehetősége is. A Holdon hegyet, a Marson krátert, valamint űrszondát is neveztek el róla.

Olvasmány



Christiaan Huygens (Caspar Netscher festménye, 1671)

Különböző ingatípusok



Az l hosszúságú kúpinga testének pályája R sugarú kör

Amennyiben a fonálingát a kitérés síkjára merőleges kezdősebességgel indítjuk, mozgása során a fonál egy kúpot sűrol, s az ingatest pályája ellipszis, illetve a kezdősebesség ügves választásával körpálya is lehet. Az ilyen mozgású fonálingát *kúpingának* nevezzük.

Sokkal elterjedtebb az olyan inga, amelynek lengő teste nem pontszerű, hanem kiterjedt merev test, és egy rögzített vízszintes tengely körül képes lengeni. Az ilyen ingát *fizikai ingának* nevezzük. (A lecke elején említett Galilei-csillár a kiterjedtsége miatt valójában fizikai ingának tekinthető.)

A *csavarási (torziós) ingával* már korábban megismerkedtünk. Ha a felső végén rögzített, hosszú, igen vékony drótszál alsó végén lévő merev testet kitérítjük nyugalmi helyzetéből, s elengedjük, akkor a lengő test helyzete periodikusan változik. Jobbra-balra csavarodik. Nagyon érzékeny torziós ingával vizsgálta *Cavendish* a gravitációs teret. A XIX. század végén *Eötvös Loránd* (1848–1919) *torziós ingával* a nehézségi gyorsulás helyi változásait térképezte fel.

KIDOLGOZOTT FELADAT

Egy függőleges helyzetű rugó felső vége rögzített, az alsóra egy 10 dkg tömegű testet erősítünk. A testet rezgésbe hozva, az 10 másodperc alatt 25 teljes rezgést végez.

- Mekkora a test rezgésideje, frekvenciája?
- Mekkora a rugó rugóállandója?
- Mekkora tömegű test képes ugyanezen a rugón 10 másodperc alatt csak 20 teljes rezgést végezni?

MEGOLDÁS

Adatok:

$$t = 10 \text{ s}$$

$$k_1 = 25$$

$$k_2 = 20$$

$$m_1 = 10 \text{ dkg} = 0,1 \text{ kg}$$

$$a) T_1 = ?, f_1 = ?,$$

$$b) D = ?, c) m_2 = ?$$

$$a) T_1 = \frac{t}{k_1} = 0,4 \text{ s}, f_1 = \frac{1}{T_1} = 2,5 \text{ Hz}$$

A rezgésidő 0,4 s, a frekvencia 2,5 Hz.

b) Írjuk fel a harmonikus rezgőmozgás periódusidejére vonatkozó összefüggést, és fejezzük ki a rugó rugóállandóját:

$$T_1 = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}} \Rightarrow D = m_1 \cdot \left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^2 = 0,1 \text{ kg} \cdot \left(\frac{2\pi}{0,4 \text{ s}}\right)^2 = 24,7 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

c) Először számoljuk ki az új rezgésidőt:

$$T_2 = \frac{t}{k_2} = 0,5 \text{ s}$$

A fenti módon kifejezett rugóállandót felírhatjuk kétféleképpen:

$$D = m_1 \cdot \left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^2, \quad D = m_2 \cdot \left(\frac{2\pi}{T_2}\right)^2$$

$$m_1 \cdot \left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^2 = m_2 \cdot \left(\frac{2\pi}{T_2}\right)^2 \Rightarrow \frac{m_1}{T_1^2} = \frac{m_2}{T_2^2}$$

$$m_2 = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 \cdot m_1 = \left(\frac{0,5 \text{ s}}{0,4 \text{ s}}\right)^2 \cdot 0,1 \text{ kg} = 0,156 \text{ kg}$$

A második esetben kb. 15,6 dkg tömegű test rezeg a rugón.

Kérdések és feladatok

1 Az 1500 kg tömegű autó göröngyös úton $2 \frac{1}{s}$ frekvenciájú rezgésbe jön. Hogyan változik a frekvencia, ha az autóban öt 60 kg tömegű ember is ül?

2 Egy függőleges rugóra akasztott test 5 cm-es megnyúlást okoz a rugón. A testet rezgésbe hozzuk. Mekkora periódusidejű mozgás alakul ki?

3 Egy rugón két azonos tömegű test függ egyensúlyban. A megnyúlás 5 cm. Ekkor az egyik hirtelen leesik. Mekkora frekvenciájú rezgésbe kezd a rugón maradó test? Mekkora a rezgés amplitúdója?

4 Másodpercingának azt a matematikai ingát nevezzük, amelynek a fél lengésideje 1 másodperc.

a) Mekkora a hossza, ha $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$?

b) Mekkora a másodpercinga hossza a Holdon, ahol a nehézségi gyorsulás a földinek egyhatoda?

c) Huygens a „méter” egységének a másodpercinga hosszát javasolta. Vajon miért nem elfogadható ez az ötlete?

5 Jean-Bernard-Léon *Foucault* (1819–1868) francia fizikus 1851-ben kísérletileg bizonyította be, hogy a Föld forog a tengelye körül. A párizsi Panthéon kupolacsarnokában 67 méter hosszú drótszálon lengő, nehéz vasgolyó lengéseit vizsgálta. 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. Hány teljes lengése volt a vasgolyónak 1 óra alatt?

6 A Nemzetközi Űrállomáson a testek a súlytalanság állapotában vannak. Hagyományos mérleggel a testek tömege nem mérhető meg. Dolgozz ki mérési eljárást arra, hogyan lehetne a Nemzetközi Űrállomáson tömeget mérni!



PROJEKTFELADAT

1 Készíts tanórára kiselőadást, hogy az iparban és a háztartásban hol van gyakorlati jelentősége a centrifugálásnak és a fűrésnek! Keresd minden esetben az illető mozgás fordulatszám adatait!



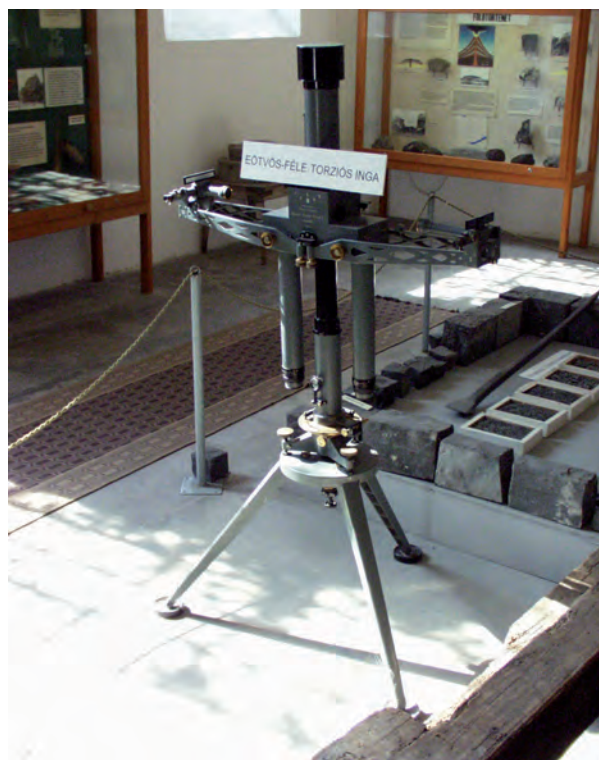
2 Keresd meg az interneten, hogyan épül fel egy ingaóra! Mi az egyes alkatrészek szerepe? Hogyan működik az ingaóra? Állíts össze egy kiselőadást a tanítási órára!

3 Készíts otthon olyan ingát, melynek periódusideje egy másodperc! Számítással és konkrét méréssel is ellenőrizd az inga lengésidejét!

4 Mutasd be részletesen Eötvös Loránd életútját! Melyek voltak életútjának főbb állomásai? Mely tudományos eredményeivel vált híressé? A közéletben milyen feladatokat kapott? A projektet képekkel és korabeli illusztrációkkal támaszd alá!



5 Mutasd be az Eötvös ingát! Műszaki és tudományos szempontból milyen feladatokat kellett megoldania Eötvös Lorándnak? Milyen típusú ingákat készített el? Hogyan és miért változik a Föld nehézségi erőtere a Földünk belsejében? Az űrgravimetria mire használja fel Eötvös találmányát?



6 Hozz létre rugóra függesztett csillapodó rezgést, melyet vegyél fel videoelemző szoftverrel! A szoftver segítségével figyeld meg és elemezd a mozgást! Figyeld meg a mozgás videoelemző segítségével előállított kitérés-idő és sebesség-idő függvényét!

10. lecke

A rezgés energia- viszonyai



Miért kell a kisgyerekeknek segíteni a hintázásban?

Hogyan működik a járművek lengéscsillapítója?

Mi a különbség a csapóajtó és a lengőajtó között?

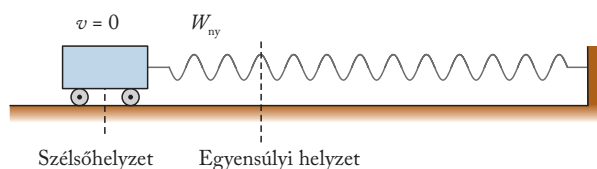
Miért kell a hangvillát a fülhöz vagy a halántékhoz érinteni?

A 10. Centripetális gyorsulás c. lecke kiegészítése

Ha a játszótéren egy üres hintát meglökünk, akkor az ingamozgás sokáig kitart, és hosszú idő után áll meg az egyensúlyi helyzetében. Ha egy anyuka kisgyermekét a hintába ülteti, majd kilendíti, akkor a hinta már nem fog olyan sokáig lengeni, hamar leáll. Ha a gyerek hosszabb ideig hintázni szeretne, akkor az anyukának a megfelelő ütemben meg kell löknie a hintát. Nagyobb gyerekek pedig már maguk is képesek a hintát hajtani. *Mi áll a jelenség hátterében?*

A rezgésben tárolt energia

Vízszintes, sima asztallapon egy húzó-nyomó rugót rögzítünk. A másik végéhez egy testet erősítünk.



Abol a kiskocsit elengedjük, az lesz a mozgás szélsőhelyzete

Ha a testet az egyensúlyi helyzetéből kitérítjük és magára hagyjuk, a test a rugó hatására harmonikus rezgőmozgást fog végezni.

A mozgás létrejötte előtt nekünk munkát kellett végeznünk. Miközben a testet az egyensúlyi helyzetéből lassan, egyenletesen a később kialakuló rezgőmozgás egyik szélsőhelyzetébe mozgattuk, a rugó megnyúlása nulláról amplitúdónyira nőtt. Eközben nyújtási munkát végeztünk:

$$W_{ny} = \frac{1}{2} D \cdot \Delta l^2 = \frac{1}{2} D \cdot A^2$$

Ekkor a testet elengedjük, és innentől csak a rugó alakítja a mozgását. A rezgést csillapító hatásokat (súrlódás, közegellenállás) most ne vegyük figyelembe! Így a test és a rugó együtt zárt rendszert alkot, mechanikai energiáinak összege állandó. A rugón végzett munkánk a rendszerben tárolódik.

A rezgés energiaviszonyai

A testből és rugóból álló rendszerben két energiafajta van jelen. A mozgó testnek $E_{\text{mozg}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ mozgási energiája van. A megfeszített rugó pedig $E_{\text{rug}} = \frac{1}{2} D \cdot y^2$ rugalmas energiával rendelkezik.

A rezgőképes rendszer rezgési energiája a mozgási és a rugalmas energia összegével egyenlő:

$$E_{\text{rezg}} = E_{\text{mozg}} + E_{\text{rug}}$$

Amikor a testet elengedjük a rezgés egyik szélsőhelyzetéből, a kitérése és a rugalmas energia is maximális:

$$y = A, \text{ valamint } E_{\text{rug}} = \frac{1}{2} D \cdot y^2 = \frac{1}{2} D \cdot A^2$$

Ekkor a test még áll, mozgási energiája nulla.

Ahogy közelít a test az egyensúlyi helyzet felé, kitérése – és így a rugalmas energia is – csökken. Eközben a test sebessége és a mozgási energiája is nő.

Az egyensúlyi helyzeten való áthaladáskor a kitérés, és így a rugalmas energia is nulla, míg a test sebessége és mozgási energiája is maximális.

$$E_{\text{mozg}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{max}}^2$$

Az egyensúlyi helyzeten való átlendülés után a mozgási energia csökken, a rugalmas energia nő, egészen a másik oldalon lévő szélsőhelyzetig.

Megállapíthatjuk, hogy az egyik energiafajta növekedése a másik csökkenésével jár.



Ha a rezgőképes rendszert zártan tekintjük, akkor a rezgési energia állandó.

$$E_{\text{rezg}} = E_{\text{mozg}} + E_{\text{rug}} = \text{állandó}$$

A rezgési energia minden pillanatban egyenlő a szélsőhelyzethez tartozó (maximális) rugalmas energiával, illetve az egyensúlyi helyzetben a test (maximális) mozgási energiájával.

$$E_{\text{rezg}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + \frac{1}{2} D \cdot y^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{max}}^2 = \frac{1}{2} D \cdot A^2$$

Szabad rezgés

Idáig a harmonikus rezgéseket ideális környezetben vizsgáltuk. A jelenséget azért figyelhettük meg időben hosszan, mert a rezgést lassító hatások (súrlódás, közegellenállás) igen kicsik voltak. Éppen ezért a mozgás leírása során a csillapító hatásokat nem vettük figyelembe.

A rezgőképes rendszert kétféle módon juttathatjuk energiához. A rugón függő test kezdetben egyensúlyban van, majd megfeszítjük a rugót, és a testet elengedjük, vagy a testet pillanatszerűen sebességhez juttatjuk.

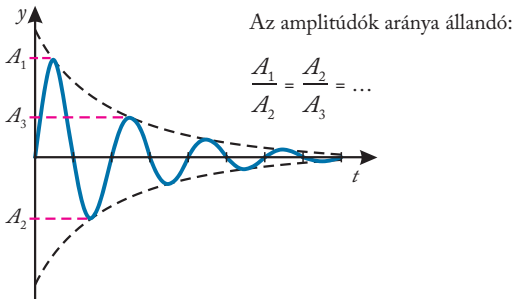
Ekkor a test mozgását alakító eredő erő harmonikus, azaz nagysága arányos a kitéréssel, iránya ellentétes vele. Az ily módon kialakuló mozgást **szabad rezgésnek**, sajátrezgésnek, illetve csillapítatlan rezgésnek nevezzük. Az ilyen rendszer rezgési energiája állandó. A mozgási és rugalmas energia folyamatosan átalakul egymásba, összegük állandó. Eddig ilyen jellegű harmonikus rezgéseket vizsgáltunk. A szabad rezgést az amplitúdó időbeli állandósága jellemzi. Frekvenciáját **sajátfrekvenciának** (f_0) nevezzük.

Csillapított rezgőmozgás

A valóságban bármely rezgőképes rendszer (például egy rugó és a rajta lévő test) kölcsönhatásban van a környezetével. A rezgési energia nem állandó, folyamatosan csökken. A rezgőképes rendszernek adott

energia szétszóródik a környezetbe. A környezeti hatások miatt a hosszú időre magára hagyott rezgés lecsillapodik. Eközben a rezgés frekvenciája nem változik ugyan, de az amplitúdója nullára csökken. Alapvetően kétféle **csillapított rezgőmozgást** ismerünk. A közegellenállással csillapított rezgőmozgást és a súrlódással csillapított rezgőmozgást.

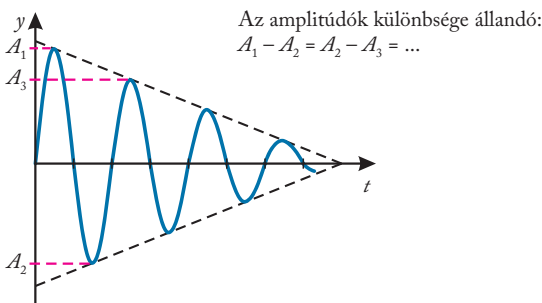
Ha a rezgőmozgás közegellenállással csillapított, akkor a csillapítás pillanatnyi mértéke a rezgő test pillanatnyi sebességétől függ. Pontos számítások igazolták, hogy a **közegellenállással csillapított rezgés egymást követő amplitúdóinak aránya állandó**. Másképp megfogalmazva, az amplitúdó nagysága az előző amplitúdó meghatározott százaléka.



Közegellenállással csillapított rezgés

Ha a rezgőmozgás súrlódással csillapított, akkor a csillapítást a súrlódási erő végzi.

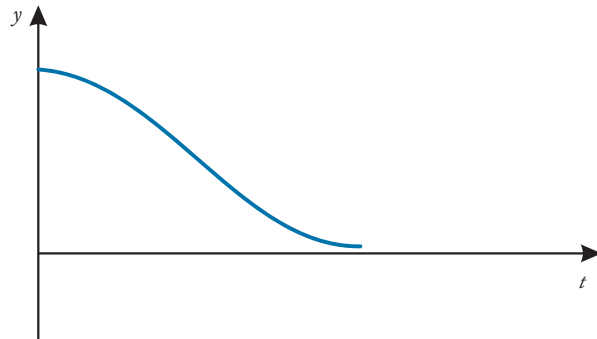
Súrlódással csillapított rezgés egymást követő amplitúdóinak különbsége állandó. Ez azt is jelenti, hogy az amplitúdó nagysága időben lineárisan csökken.



Súrlódással csillapított rezgés

Ha a csillapítás igen nagy, akkor gyakran a rezgés létre sem jön. A kitérített testre olyan nagy fé-

kezőerő hat, hogy nem lendül túl az egyensúlyi helyzetben. Ilyen elven működik az ajtókat visszahúzó berendezés.



A túlszillapított rezgés kitérés-idő függvénye

Közegellenállással csillapított rezgést használnak például a járművek lengéscsillapító berendezéseiben, vagy a buszvezetői üléseknél. Itt a rezgő rendszer által mozgatott dugattyú az általa bezárt levegőt összenyomja, ez csillapítja a rezgést. Súrlódással csillapított rezgést végez például a karos mérleg. Mutatója, ha kismértékben is, de egyre kisebb amplitúdóval rezeg az egyensúlyi helyzete körül.

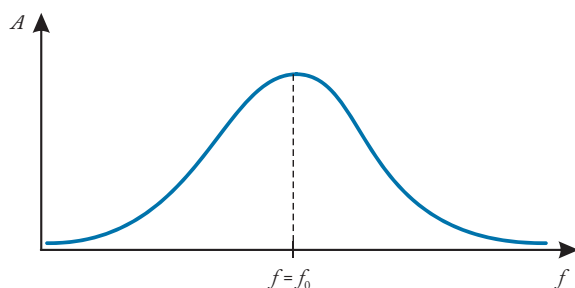
Kényszerrezgés

A hétköznapi életben gyakran előfordul, hogy a rezgésállapotot tartósan fenn kell tartanunk. Ilyenkor a környezet felé szétszóródó energiát periodikusan közölnünk kell a rendszerrel.

Ha egy rezgőképes rendszerre periodikus külső erő – a gerjesztőerő – hat, akkor kis idő múlva a rendszer frekvenciája megegyezik a gerjesztőerő frekvenciájával. A periodikus külső erő által létrehozott rezgést **kényszerrezgésnek** nevezzük.

A rezgés energiájáról az amplitúdó árulkodik. Ha a gerjesztő frekvencia függvényében ábrázoljuk a kialakuló





A kényszerrezgés amplitúdójának függése a gerjesztőerő frekvenciájától

rezgés amplitúdóját, akkor megkapjuk a rendszert jellemző **rezonanciagörbét**.

Kísérletileg kimutatható, hogy az energiaátadás akkor a leghatékonyabb, azaz a kényszerrezgés amplitúdója akkor a legnagyobb, ha a gerjesztőerő frekvenciája megegyezik a sajátrezgés frekvenciájával. Természetesen az is fontos, hogy a testre ható periodikus impulzusok megfelelő fázisban ériék a testet. Ezt a jelenséget **rezonanciának** nevezzük.

A matematikai ingának egyetlen sajátfrekvenciája van. Más, kiterjedt rendszerek (húr, dob) több sajátfrekvenciával rendelkeznek, így több különböző frekvenciájú gerjesztőerő esetén is létrejön a rezonancia.

Rezonanciajelenségek

A rezonanciajelenség igen gyakori hétköznapi esemény. *Motorok, gépek gyengén rögzített alkatrészei* kellemetlenül, esetenként veszélyesen berezeghetnek. Ez akkor fordul elő, ha az alkatrész sajátfrekvenciája közel van a gép működése során előálló rezgés frekvenciájához. Kiterjedt rugalmas testek méretüktől, alakjuktól, anyaguktól függően több sajátrezgésszámmal is rendelkeznek. Ez igen fontos a *hangszereknél*. A hegedűkészítők által készített vonós hangszerek egyedi hangkaraktere a „rezonáló doboz” egyediségében rejlik.

A kisebb csillapítás hatására nagyobb amplitúdójú rezgés állandósul bármely gerjesztő frekvencia esetén. Előfordulhat olyan nagy amplitúdójú rezgés, hogy a kényszerrezgést végző test tönkremegy. Ezt a jelenséget hívjuk **rezonanciakatasztrófának**. Komoly tragédia következett be több híd esetében.



A XIX. század közepén egy franciaországi híd a rajta átvonuló katonák ütemes lépései miatt összedőlt. Azóta parancsolják a katonáknak a hídon való áthaladás előtt: „Ne tarts lépést!” A legismertebb hídkatasztrófa az USA-ban történt 1940. november 7-én. A *Tacoma-szorost átvéelő híd rezonanciakatasztrófáját* az okozta, hogy a 70-80 km/h sebességű szél hatására a hídszerkezetről leváló légörvények frekvenciája közel volt a híd sajátfrekvenciájához. A katasztrófa órák alatt alakult ki, így lehetőség volt a jelenség filmfelvételére.



Tacoma-híd

Kényszerrezgés földrengéskor

Olvasmány

Japánban igen gyakran van földrengés. Megfigyelték, hogy az azonos technikával épült házak közül nem feltétlenül a magasabb dől össze. Előfordult, hogy a 7 emeletes épület összedőlt, a 10 emeletes nem. Az a ház sérül jobban, amelynek sajátfrekvenciája közelebb van a rengés frekvenciájához. A XXI. században már több módon tudnak a földrengések által okozott károk ellen védekezni. Az egyik bevált technológiát *Tarics Sándor* (az 1936-os olimpiai bajnok magyar vízilabdacsapat tagja) mérnök dolgozta ki. A Tarics-féle földrengés-szigetelő pogácsák feladata *a földrengés energiájának az elnyelése*. Ezek a pogácsák kb. 30 rétegben felváltva tartalmaznak 0,5 cm vastag, szénnel adalékolt gumit és 1 cm acélt (gumikrémes vastorta).

Mit tegyünk földrengés esetén?

A legfontosabb teendő az épületek mielőbbi elhagyása, hiszen a veszélyt leginkább a hulló törmelékek, dőlő falak jelentik. Vigyázz! Az omlás a földrengés után is jelentkezhet. Nagyobb épület esetén használj lépcsőt! A liftek elakadhatnak, túlsúlyolttá válhatnak. Ha lehetetlen a kimenekülés, akkor húzódj masszív bútor alá, mely megvéd a lehulló törmelékektől, vagy kuporodj egy vastagabb fal sarkába, és próbáld minél jobban védeni a fejed! Ne maradj egyedül! Ha legalább ketten vagytok, mindig tudtok egymásnak segíteni. Ha működik a tévé vagy a rádió, akkor figyeld a katasztrófavédelem utasításait!



Kérdések és feladatok

- 1 Hányszorosára nő a rezgés energiája, ha
 - a) az amplitúdót megduplázzuk?
 - b) a frekvenciát megduplázzuk?
 - c) az amplitúdót és a frekvenciát is megduplázzuk?
- 2 A rugós mérlegre helyezett test milyen mozgást végezne, ha nem lenne csillapítása? Hogyan tudnád megállapítani a test tömegét ekkor?
- 3 Milyen energia biztosítja a tartós működését a hagyományos „felhúzó” órának, a fali „súlyos” kakukkos órának, illetve a kvarcórának?
- 4 A gyermek egyenletes hintázását az biztosítja, hogy anyuka időről időre pótolja a lengő gyermek környezetbe szökő energiáját. Milyen ütemben „lökje” az anyja a hintát, ha a leghatékonyabban akar eljáráni?

PROJEKTFELADAT

1 Befőttesgumik

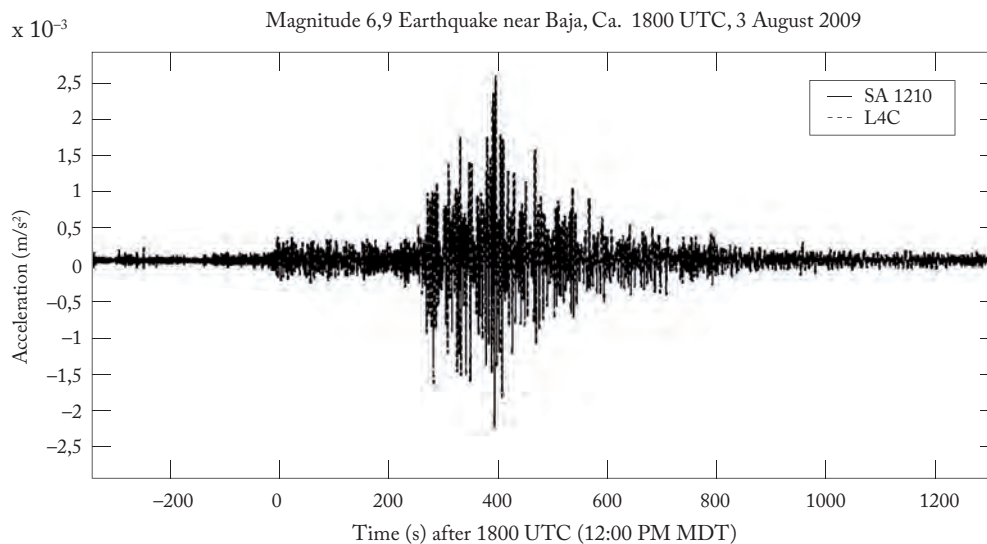
A következő feladathoz két egyforma befőttesgumira lesz szükséged! Rögzíts az egyik gumihoz egy tárgyat, majd a gumit tartva lógasd le azt! Húzd le egy kissé a tárgyat, majd hagyd magára! Milyen mozgást végez a tárgy? Most azzal a kezeddal, amivel eddig tartottad a gumit, ütemesen rezgess meg a tárgyat! A kezed kitérése ne legyen nagy (kb. 1-2 cm)! Keresd meg azt a ritmust, amivel a kényszerrezgést végző tárgy rezonanciába kerül! Ebben a helyzetben mérd meg tíz rezgés idejét, majd abból számítsd ki a rezgésidőt és a frekvenciát! Ezután a tárgyat két gumira rögzítsd úgy, hogy a két gumi egymás mellett, párhuzamosan helyezkedjen el a kezed és a tárgy között! Ismételd meg az előző kísérletsorozatot! Ismét tíz rezgés idejét mérd meg, majd számítsd ki a rezgésidőt és a frekvenciát! Alakítsd át úgy a kísérletet, hogy a két gumit egymáshoz kötd, és most az egyik lesz a kezedben, míg a másikon lóg a tárgy! Újra végezd el a kísérletsorozatot! A tíz rezgés idejéből ebben az esetben is határozd meg a rezgésidőt és a frekvenciát! Rendezd táblázatba a mért és számított mennyiségeket! Hasonlítsd össze a három mérés eredményeit! Milyen magyarázatot tudsz adni a fenti eredményekre?

2 Szeizmográf

Készíts szeizmográfot! Függeszd fel egy félliteres, vízzel teli, álló műanyag palackot egy kicsi, könnyen mozgatható asztal alá! A felfüggesztést két madzaggal oldd meg úgy, hogy az asztallap két átellenes pontjához rögzítéd, így a palack csak oldalirányba lesz képes kimozdulni. A palack a talaj felett 3-4 cm magasan legyen! A palack oldalára ragasztószalaggal rögzíts egy hegyes ceruzát, vagy egy filctollat, melynek hegye a talajt érinti! Az íróeszköz alá tegyél egy papírt! Kérj meg valakit, hogy lassan, egyenletesen húzza ki a lapot, miközben az asztalt megmeglököd földrengést imitálva. Készíts egy olyan szeizmogramot, amely egy előrengést, egy nagyobb rengést és több kisebb utórengést mutat!

Az alábbi szeizmogram egy valódi földrengést örökített meg.

Az időtengelyen a 0 a világidő szerinti 18:00 órát mutatja, az értékek másodpercekben értendők. Mikor volt az első rengés? Milyen hullámfajta volt ez a rengés? Mennyi idő múlva következett be a rengés maximuma?



PROJEKTFELADAT

A 21. Egyenletes körmozgás dinamikai leírása c. lecke kiegészítése

1 Sporteszközök tervezése és fizikai háttere

Keresd meg az interneten, hogy a különböző sporteszközök (síléc, snowboard, teniszlabda, röplabda, kosárlabda stb.) tervezése folyamán milyen tényezőkre figyelnek! Gyűjtsd össze, hogy mi az eszközök kialakításának fizikai háttere!



PROJEKTFELADAT

A 27. Pontrendszerek c. lecke kiegészítése

1 Súrlódás csökkentése légpárnás eszközökkel

Készíts kísérletet, és mutasd be sematikus rajzon a légpárnás hajók működési elvét!

Milyen terepen előnyös az alkalmazásuk? Hogyan csökkentik mozgásuk közben a súrlódást? Hogyan tudnak vízszintesen haladni?

2 Sporteszközök (pl. síléc, labda) kialakításának és fizikai hátterének feltárása

a) Keresd meg az interneten, hogy a különféle típusú sílécet hogyan alakítják ki! Milyen fizikai jellemzőik vannak ezeknek a síléceknek?

b) Nézd meg az interneten, hogy a pingpong, a tenisz és a szivacs labda külső felülete és belseje milyen szerkezetű! Mi lehet a különböző felépítés célja? Milyen fizikai tulajdonságai lesznek ezeknek a labdáknak? Milyen az egyes labdák rugalmassága?

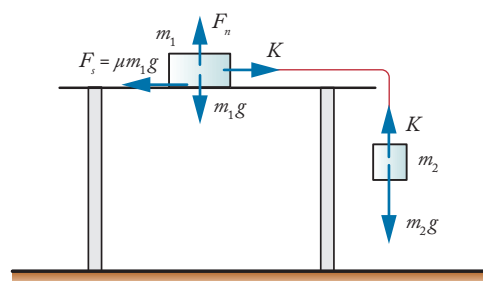
3 egymáson csúszó testek vizsgálata

Határozzuk meg a csúszási és tapadási súrlódási együttható nagyságát! Hasonlítsuk össze értéküket!

a) Tapadási súrlódási együttható meghatározása

Mérés menete:

1. Tegyéél az asztalra egy m_1 tömegű üres dobozt, melyhez vékony zsineggel köss hozzá egy kisebb m_2 tömegű edényt. Mérd le mindkettő tömegét!
2. Helyezz 50 g tömegű „súlyokat” a felfüggesztett edénybe addig, míg éppen elindulnak a zsineggel összekötött testek.
3. Helyezz az asztalon lévő dobozba 0,5 kg, 1 kg, 1,5 kg és 2 kg tömegű testeket! Mérd meg mindegyik esetben, hogy mennyi 50 g-os tömeget kell az edénybe tenni, hogy elinduljon a rendszer. Jegyezd fel a kapott adatokat a táblázatba!



A tapadási súrlódási együtthatót a két testre felírt mozgásegyenletek segítségével számíthatjuk ki:

$$m_2g - \mu_0 m_1g = 0, \text{ amelyből } \mu_0 = m_2/m_1$$

| Sorszám | Doboz tömege (kg) | Dobozba tett tömeg (kg) | Doboz össztömege m_1 (kg) | Edény tömege (kg) | Edénybe helyezett tömeg (kg) | Edény össztömege m_2 (kg) | Tapadási súrlódási együttható μ_0 |
|---------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 1. | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | |
| 3. | | | | | | | |
| Átlag | — | — | — | — | — | — | |

b) Csúszási súrlódási együttható meghatározása

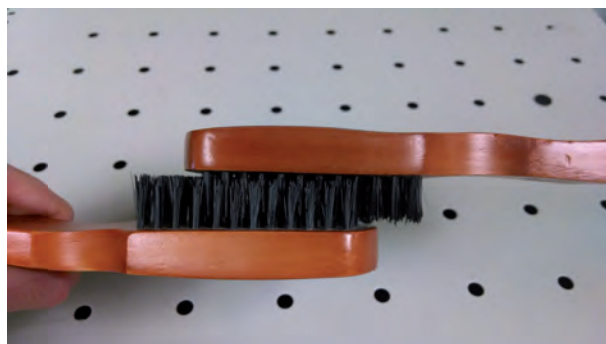
- Helyezd el az a) méréshez hasonlóan az m_2 tömegű edényt a talaj közelében úgy, hogy ne essen le a mozgás folyamán az m_1 tömegű doboz az asztalról! Jelöljük meg a doboz kiindulási helyét az asztalon!
- Helyezz súlyokat az edénybe úgy, hogy elinduljon a talaj felé.
Mérd meg:
 - mekkora az edény aljának a távolsága a talajtól (s_1),
 - mennyi idő alatt ér az m_2 tömegű edény a talajra,
 - az asztalon lévő doboz mennyit mozdult el a kiindulási helyéhez képest (miután az edény a talajra leér (s_1) a doboz továbbhalad. Ezt a többlettutát jelöld s_2 -vel!

- Határozd meg a doboz v_{max} maximális sebességét!
A maximális sebességet zérus kezdősebességről éri el a doboz. Így az $s_1 = \frac{v_0 + v_{max}}{2} \cdot t$ összefüggéssel számolhatsz!
- Mekkora a doboz mozgási energiája amikor az edény éppen földet ér? ($E_{m,max} = \frac{1}{2} m \cdot v_{max}^2$)
- Mérd meg az s_2 utat, melyet a doboz az edény földetérése után tesz meg (a doboz teljes megtett útja – edény által megtett út)!
- Határozd meg a doboz által végzett W_s súrlódási munkát ($W_s = E_h - E_{m,max}$)!
- Számítsd ki a μ csúszási súrlódási együttható értékét a súrlódási munka ismeretében!

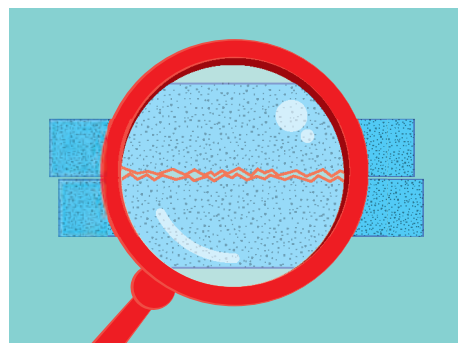
| Sorszám | Doboz össztömege m_1 (kg) | Edény talajtól mért távolsága s_1 (m) | Edény talajt érési ideje t (s) | Doboz által megtett út $s_1 + s_2$ (m) | Doboz max. sebessége v (m/s) | Doboz összes mozgási energiája E_m (J) | Doboz súrlódási munkavégzése W_s (J) | Csúszási súrlódási együttható értéke μ |
|---------|-----------------------------|---|----------------------------------|--|--------------------------------|--|--|--|
| 1. | | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | | |
| 3. | | | | | | | | |
| Átlag | — | — | — | — | — | — | — | |

Gondolkodtató kérdések

1 Miért hatékonyabbak a gépkocsik ABS blokkolásgátló rendszerei, mint a hagyományos (ABS nélküli) fékrendszerek? Értelmezd a jelenséget!



2 Mondj példákat, hogy a műszaki életben hol van jelentősége a csúszási és hol a tapadási súrlódásnak!



4 Tapadási súrlódási együttható meghatározása változó hajlásszögű lejtőn különféle szennyező anyagok esetén

A mérés célja: Érintkező felületek közötti súrlódás befolyásolása kis mennyiségű szennyező anyaggal

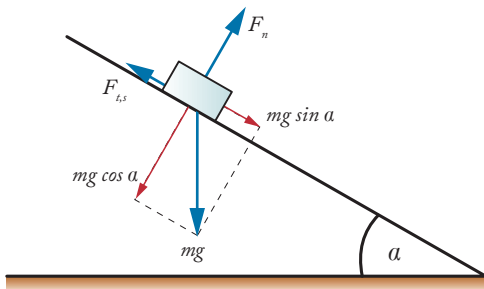
A rendelkezésre álló eszközök: állítható hajlásszögű lejtő, olaj, kréta, kisebb méretű téglatest.

A mérés menete:

a) Határozd meg a lejtő és a hasáb közötti μ_0 tapadási súrlódási együttható értékét!

Ehhez első lépésként állíts össze egy változtatható hajlásszögű lejtőt! Határozd meg a lejtőnek azt a hajlásszögét, melynél éppen megcsúszik a hasáb (minél kisebb lépésekben változtatod a hajlásszöget, annál pontosabb lesz a mérés).

A hasábra az ábra szerinti erők hatnak.



A lejtőre helyezett testre a lejtő irányában $m \cdot g \cdot \sin \alpha$ nagyságú erő hat. Ha ennek nagysága meghaladja az F_{ts} tapadási súrlódási erő értékét, akkor a test megindul:

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha \geq \mu_0 \cdot m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Az egyenlet rendezése után kapjuk:

$$\tan \alpha \geq \mu_0$$

Ha a lejtő hajlásszöge α , akkor a tapadási súrlódási együttható értéke μ_0 .

b) Nézzük meg, hogy a tapadási súrlódási együttható értéke hogyan változik meg a felületek anyagi minőségének megváltozásától!

Tegyünk a lejtőre finom krétaport, majd a lejtő letisztítása után ugyan csak ide olajat öntsünk.

A krétaporttal, majd olajjal bevont felületek esetén a μ_0 meghatározásának folyamata az a) esethez hasonló. Nézzük meg, hogy melyik esetben lesz nagyobb, illetve kisebb a μ_0 értéke!

c) Helyezz a lejtőre nagyméretű radírgumit és határozd meg a lejtő és a radírgumi közötti tapadási súrlódási együttható értékét! Ezután tedd a radírgumit a fagyasz-tóba, majd a lefagyasztva is végezd el újra a mérést! Milyen különbséget tapasztalsz? Milyen közlekedéssel kapcsolatos jelenséget modellezz ez a kísérlet?

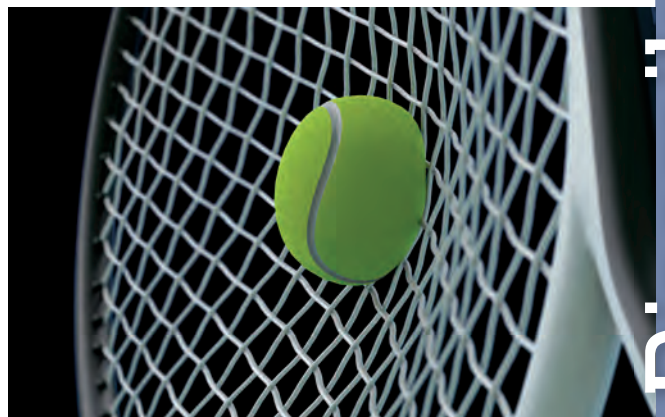
5 Pingponglabda és teniszlabda mozgásának vizsgálata videoelemző szoftverrel, testekkel való ütközés esetén

A mérés célja: Nagy sebességű kamerával rögzített lassított képek tanulmányozása ütközéseknél, labdák deformációjáról

A méréshez szükséges eszközök: pingponglabda és teniszlabda, kamera (videokamera, webkamera, rövid filmfelvétellel alkalmas számítógép), méterrúd, vagy hosszú vonalzó, videoelemző szoftverrel (pl. Tracker) rendelkező számítógép.

A mérés menete:

A pingponglabda, majd a teniszlabda pattogását rögzítse a videoképen úgy, hogy a mozgás beleférjen a videokamera képernyőjébe! A rögzített filmen lévő képkockákat elemezze egy videoelemző szoftverrel!





Adja meg az első öt lepatтанás idejét, és a lepatтанásokhoz tartozó leérkezés és visszapatтанás sebességét!

Milyen összefüggés fedezhető fel a leérkezés és a hozzájuk tartozó visszapatтанások sebessége között?

Mi lehet ennek az oka?

Határozza meg az első öt lepatтанás esetén azt a sebességet, amellyel felfelé indul a labda, és azt, amellyel visszaérkezik a talajra! Hasonlítsa össze az adatokat és elemezze a mozgást az adatok alapján!

A videofelvétel kiértékelése

A videoelemző program a felvett videót képkockáknként, állóképként vetíti a képernyőre.

Jelöld meg a képkockákon a labda pillanatnyi helyzetét! A program megjegyzi a labda helyzetét és hozzá rendel a mozgás időpillanatait! Ebből a két adatból a program képes ábrázolni a mozgás út-idő grafikonját.

Ezután a program a labda képkockákon lévő távolságából és a képen elhelyezett fix hosszúságú mérőszalag segítségével meghatározza a labda mozgása során az egyes időpontok közötti távolságokat (ezt hívjuk kalibrálásnak).

Az egymást követő felpatтанások sebességarányait kell megvizsgálnunk. A talajjal történő ütközés előtti és ütközés utáni sebességeit gyűjtsd ki a táblázatba!

| Sorszám | Idő (s) | Ütközés előtti sebesség (m/s) | Ütközés utáni sebesség (m/s) | Az ütközések között eltelt időtartam (s) |
|---------|---------|-------------------------------|------------------------------|--|
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| 3. | | | | |
| 4. | | | | |
| 5. | | | | |
| 6. | | | | |

Figyeld meg az egymást követő talajjal történő ütközések között eltelt időtartam változását! Mit tapasztalsz? Mi az oka?

A labda és a talaj közötti ütközés nem tökéletesen rugalmas. Az ütközések rugalmasságának jellemzésére a k ütközési számot használjuk. Az ütközési szám az ütköző test ütközés utáni impulzusának és az ütközés előtti impulzusának hányadosa, ami egyenlő a sebességek abszolútértékeinek hányadosával.

$$k = \frac{mv_2}{mv_1} = \frac{|v_2|}{|v_1|}$$

Számítsuk ki a k ütközési paraméter értékét az előző ütközésekben!

| Sorszám | Ütközés előtti sebesség (m/s) | Ütközés utáni sebesség (m/s) | k ütközési szám értéke | Ütközés során bekövetkezett sebességváltozások Δv (m/s) |
|---------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|---|
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| 3. | | | | |
| 4. | | | | |
| 5. | | | | |
| 6. | | | | |

Elemezd a k ütközési paraméter értékének változását az ütközések során!

Nézd meg, hogy az egyes ütközések alkalmával milyen mértékben változik az ütköző labda sebessége!

Mely esetekben kell figyelembe venni a közegellenállást?

c) Az előző mérést végezd el teniszlabdával és röplabdával is. Hasonlítsd össze a k ütközési szám értékét az egyes labdák esetén! Milyen következtetést tudsz levonni a kísérletről?

Nézd meg, hogy a testek (labdák) különféle felületekkel való ütközése, visszapatтанása esetén (cement, falap) hogyan változik a k ütközési szám értéke! Melyik esetekben és milyen mértékben marad rugalmas az ütközés pingpong-, tenisz- és röplabda esetén?

PROJEKTFELADAT

A 31. A súrlódási erő munkája c. lecke kiegészítése

Csúszási súrlódási együttható meghatározása

Célszerű, ha a munkádról *mérési naplót* vezetsz majd pedig *mérési jegyzőkönyvet* készítesz. Nézz utána a neten, hogy mit is takar ez a két fogalom!

A méréshez szükséges eszközök:

- kalapgumi (beszerezhető rövidáru boltban) vagy erősebb befőttesgumi, elvágyva,
- konyhai mérleg (kijelzőjén legalább g felbontásban legyen olvasható a tömeg értéke),
- különféle kis tömegű tárgyak,
- mérőszalag vagy vonalzó.



A mérés leírása:

Vízszintes asztalon a kalapgumi egyik végét nagy tömegű testhez rögzítjük, másik végére kis tömegű hasábot (pl. a már régen nem használt építőkocka készletünk egyik da-

rabját) kötünk, és a gumit megnyújtjuk néhány centiméterrel. A test elengedése után lemérjük, hogy mekkora úton fékezte le a súrlódási erő.

A számolásunk alapja:

A megnyújtott gumiszál rugalmas energiája a hasáb mozgási energiájává alakul (a rugóerő munkát végezz a testen), de a munkatétel szerint: a hasábra ható erők (nehézségi, tartó-, súrlódási, gumiszál mint rugalmas erő) összes munkája megadja a hasáb mozgási energiájának megváltozását.

A mérés végrehajtása:

Először mérjük meg a gumiszál rugóállandóját (direkciós állandóját). Asztal szélén rögzítve, a kalapgumi végére egyre több kis tömeget akasztva mérjük meg a megnyúlást. A kis testek tömegét konyhai mérleggel mérjük meg, mindegyiket ötször, és képezzünk számtani átlagot.

Az $\frac{1}{2} D \cdot (\Delta l)^2 = \mu \cdot m \cdot g \cdot \Delta s$ összefüggés alapján határozzuk meg a hasáb és az asztal közötti csúszási súrlódási együttható értékét. A kapott értékekből képezzünk számtani átlagot!

| | | m_1 | $m_1 + m_2$ | $m_1 + m_2 + m_3$ | $m_1 + m_2 + m_3 + m_4$ | $m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5$ |
|----------|-------------------------|-------|-------------|-------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1. mérés | m (g) | | | | | |
| | Δl (cm) | | | | | |
| | F ($m \cdot g$) (N) | | | | | |
| 2. mérés | m (g) | | | | | |
| | Δl (cm) | | | | | |
| | F ($m \cdot g$) (N) | | | | | |
| 3. mérés | m (g) | | | | | |
| | Δl (cm) | | | | | |
| | F ($m \cdot g$) (N) | | | | | |
| 4. mérés | m (g) | | | | | |
| | Δl (cm) | | | | | |
| | F ($m \cdot g$) (N) | | | | | |
| 5. mérés | m (g) | | | | | |
| | Δl (cm) | | | | | |
| | F ($m \cdot g$) (N) | | | | | |
| Átlag | m (g) | | | | | |
| | Δl (cm) | | | | | |
| | F ($m \cdot g$) (N) | | | | | |

Táblázat a rugóállandó meghatározásához

| | 1. mérés | 2. mérés | 3. mérés | 4. mérés | 5. mérés |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Δl (cm) | | | | | |
| Δs (cm) | | | | | |
| $\frac{1}{2} D \cdot (\Delta l)^2$ | | | | | |
| $\mu = \frac{\frac{1}{2} D \cdot (\Delta l)^2}{m \cdot g \cdot \Delta s}$ | | | | | |
| $\mu_{\text{átlag}}$ | | | | | |

Táblázat a súrlódási együttható meghatározásához

Milliméterpapíron, vagy Excel program segítségével ábrázoljuk a megnyúlást a húzóerő függvényében. Vizsgáljuk meg, hogy mekkora megnyúlásig (Δl_{max}) tekinthető lineárisnak a függvény, és erre az intervallumra illesztünk origón átmenő egyenest. Az egyenes meredekségéből határozzuk meg a D „rugóállandót”.

Vízszintes felületen (asztalon) rögzítsük a gumiszalag egyik végét. A másik végére kötött hasábbal nyújtuk meg a gumit legfeljebb Δl_{max} távolsággal, majd engedjük el. Mérjük meg, hogy mekkora úton állt meg a hasáb.

Tanácsok, szempontok a mérés sikeres végrehajtásához:

A mérés látszólag nagyon egyszerű, de sok buktatója van a sikeres végrehajtásnak.

- A rugóállandó meghatározásánál próbálkozással kell megtalálni, hogy mekkora tömegű kis testeket akaszunk a kalapgumira. (Nem fontos, hogy azonos tömegűek legyenek.) Az a cél, hogy 4-5 tömeg még tudjon nyújtani. A gumi nyugalmi, kezdeti hosszát is változtathatjuk annak érdekében, hogy megtaláljuk az optimális tömeg és megnyúlás értékeket. (Gondolkozd el azon, hogy a nyugalmi hossz melyik paraméterre van hatással!) Próbálkozhatunk különböző vastagságú,

(erősségű) gumival. Találd ki, hogyan lehet legpontosabban lemérni a megnyúlást!

- A hasáb tömegét próbálgatással úgy válasszuk meg, hogy legyen elég hely a csúszáshoz. Gondoljunk arra, hogy a test elengedése után a kalapgumi is mozog, sűrűlódik, tehát a kezdeti rugalmas energia egy része mérésünk szempontjából elvész. Ezt a veszteséget úgy csökkenthetjük, ha a hasáb tömege jóval nagyobb, mint a gumiszál tömege. Ügyeljünk arra, hogy a befogások után a kalapgumi hossza pontosan ugyanannyi legyen, mint amennyi a rugóállandó mérésénél volt.
- Figyeld meg, hogy mennyire egyenletesen, vagy akadózva csúszik a hasáb. Mire következtetsz ebből?

A mérés értékelése, hibabecslés:

Foglald össze (írd le) a mérés célját, a végrehajtás módját, és értékelj az eredményt. Elemezd a mérési tapasztalataidat, írd le, hogy a feladatban említettekén kívül milyen tényezőkre kellett még odafigyelni, milyen praktikákat alkalmaztál a mérés sikeres végrehajtása érdekében. Becsüld meg, hogy mekkora hiba terheli a mérést! Becsüld meg, hogy reális-e a kapott eredmény!

A 32. Teljesítmény, hatások c. lecke kiegészítése

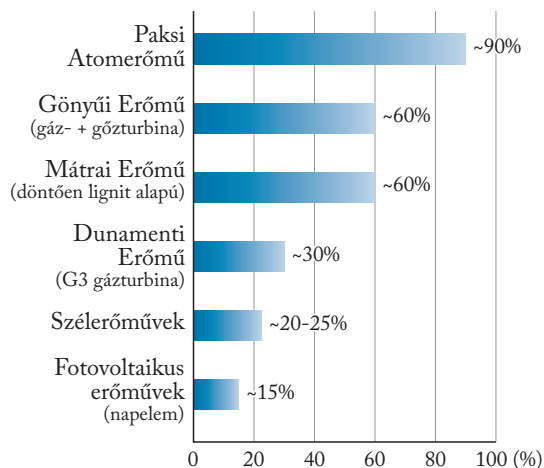
Elektromos energia előállítása és felhasználása

| Paksi Atomerőmű | Gönyüi Erőmű (gáz- + gőzturbina) | Mátrai Erőmű (döntően lignit alapú) | Dunamenti Erőmű (G3 gázturbina) | Szélerőművek | Fotovoltaikus erőművek (napelem) |
|-----------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------|----------------------------------|
| ~90% | ~60% | ~60% | ~30% | ~20-25% | ~15% |

Az ország összes energiafelhasználásának jelentős része villamosenergia formájában történik. A fenti táblázat bemutatja, hogy az egyes erőművek, erőműfajták milyen kihasználtsággal működnek. Az adatok több év átlagának közelítő értékei.

A Paksi Atomerőmű gyakorlatilag folyamatosan, teljes terheléssel működik, csak a karbantartások és a fűtőelemek átrakásakor áll le. Teljesítménye csak lassan szabályozható, ezért alaperőmű funkciója van. Az országos terhelés mindig nagyobb, mint a paksi teljesítmény, így folyamatosan maximális teljesítménnyel működhet. A szél- és fotovoltaikus erőművek napszaktól és időjárási helyzettől függően termelnek, ezért ezek energiáját mindig felveszi a rendszer. Az egyensúlyt a termelés és fogyasztói igény között a gyorsan szabályozható gázturbinás erőművek biztosítják.

Érdeemes megnézni, hogy a szél és naperőművek éves viszonylatban a névleges kapacitásukhoz képest hogyan termelnek. A szélerőművek általában júliusban és augusztusban termelnek a legkevesebbet, ezek a legszélsőséesebb időszakok. Ekkor kihasználtságuk 10-18%, de a legszelesebb tavaszi időszakban is csak 35% körüli. A napelemes erőművek értelemszerűen a nyári hónapokban termelnek a legtöbbet, de kihasználtságuk nem éri el a 25%-ot. Ezek számára a december és a január a leggyengébb hónap, alig 5%-os kihasználtsággal.



PROJEKTFELADAT

A 35. Légnyomás c. lecke kiegészítése

Az osztályteremben levő levegő tömegének becslése, számítása

Az osztály minden tanulója becslje meg az osztályteremben levő levegő tömegét. Ezután mérjétek le a terem oldalhosszúságait, becsljétek meg a teremben levő testek (berendezések, tanulók, hátizsákok, kabátok) térfogatát. Ez utóbbi esetén közös megegyezésre kell jutni. Számol-

játok ki az így becslt térfogatot, majd ábrázoljátok grafikonon az egyes tanulók becslésének eltérését a számított, becslt értéktől. A legkisebb hibát elérő tanulónak gratuláljatok!



A 39. A közegellenállás c. lecke kiegészítése

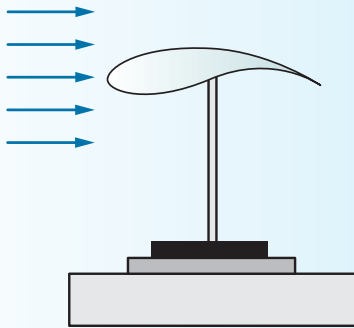
A REPÜLÉS FIZIKÁJA

Aerodinamikai felhajtóerő

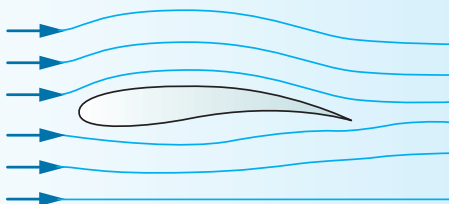
KÍSÉRLET

Helyezzünk egy vastag kartonlapból készített szárnyprofil (ún. Zsukovszkij-féle profilt) egy vékony rúdra. A kísérleti eszközünket helyezzük digitális mérlegre, ahol a kísérleti eszközünk pillanatnyi súlyát tudjuk mérni.

Áramoltassunk a szárnyprofillal szemben levegőt. A digitális mérleg a kísérleti eszközünket az előző méréshez képest könnyebbnek mutatja. Ez azt jelenti, hogy az áramló levegő egy emelőerőt fejtett ki a szárnyprofilra.



A kísérlet elméleti háttere: A szárnyprofil két oldalán az áramlás sebessége nem azonos. Az áramlás sebessége a szárnyprofil fölött nagyobb, alul kisebb. Felül a nagyobb sebességhez kisebb, alul a kisebb sebességhez nagyobb nyomás tartozik. A nyomáskülönbségből egy felfelé irányú emelőerő származik. ezt az erőt **aerodinamikai felhajtóerő**nek nevezzük.



A repülés elve és a légellenállás

A repülőgép levegőbe emeléséhez és a levegőben tartásához szükséges erőt, a szárnyfelületen fellépő aerodinamikai felhajtóerő szolgáltatja. Ehhez a repülőgépet a nyugvó levegőhöz képest megfelelő sebességgel mozgásba kell hozni. A repülőre ható F_h húzóerőt a repülőgép motorja szolgáltatja.

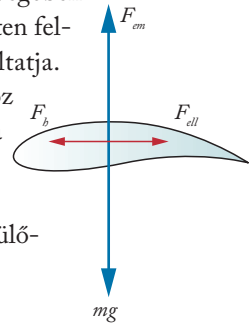
A repülőgépszárnyon ható erők a repülőgép vízszintes haladása esetén:

- az F_h húzóerő,
- az $m \cdot g$ nehézségi erő,
- F_{em} aerodinamikai felhajtóerő
- levegő ellenállásából származó $F_{kő}$ közegellenállási erő.

Az egyensúly feltétele úgy valósulhat meg, ha az erők hatásvonalai a szárny tömegközéppontjában metszik egymást, és függőleges és vízszintes irányban egyaránt fennáll:

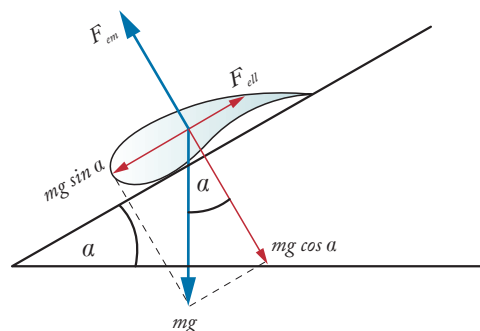
$$F_h = F_{kő}$$

$$F_{em} = m \cdot g$$



Siklórepülés

A vitorlázó repülőgépeknek nincs motorjuk, így nincs húzóerőt szolgáltató motorjuk sem. A vitorlázó gépet ezért motoros repülőgéppel történő vontatással emelik magasba, ahol leválik a vontató gépről. A gép ezután már csak siklórepülést végez.



A repülés során bekövetkező magasságvesztést esetleg a felfelé irányuló légáramok (termik) segítségével vissza is nyerheti.

Ha a repülőgépszárny a vízszintessel lefelé irányuló α szöget alkot, akkor a repülőgép külön húzóerő nélkül siklórepülést végez. Az F_h húzóerő és F_{em} erőkre fennáll:

$$F_h = m \cdot g \cdot \sin \alpha = F_{ell.} \quad \text{és} \quad F_{em} = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

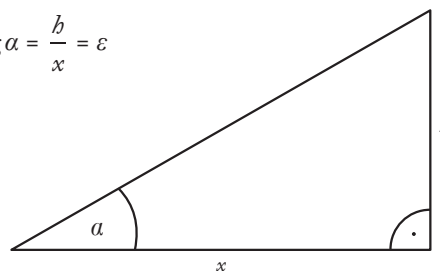
A siklásra jellemző állandót siklási számnak nevezik, mely értéke:

$$\varepsilon = \frac{F_{ell.}}{F_{em}} = \tan \alpha$$

A repülőgép annál kisebb α szöggel siklik, minél kisebb az ε értéke.

Adott b magasságból indulva a repülőgép a földet érésig annál nagyobb vízszintes távolságot tehet meg siklórepüléssel, minél kisebb a

$$\tan \alpha = \frac{b}{x} = \varepsilon$$



A repülőgép irányítása elfordítható, elforgatható kormány síkkal történik. A haladás irányával (a légáramlással) szögben állított felületekre a síkra merőleges közegellenállási erő lép fel, amely a repülőgép törzsét függőleges vagy vízszintes tengely körül elfordítja.

PROJEKTFELADAT

1 Hajómodell

Tervezz meg egy hajómodellt, mely teheráru szállítására alkalmas! Nézz utána a nagy teherszállító hajók felépítésének és főbb fizikai adatainak!

Milyen fizikai feltételeknek kell fennállnia, hogy egy valóságban is működőképes hajót hozz létre?

2 Áramló levegő nyomáscsökkenése

Vegyél két papírlapot és tartsd magad előtt párhuzamosan egymás mellett kb. egymástól 2-3 cm-re! Erősen fújj a két lap közé! Mit tapasztalsz? Mi lehet az oka?

Hol tapasztalhatod ezt a jelenséget?

A 40. Az energia előállítása és felhasználása c. lecke kiegészítése

Napenergia

A napenergia hasznosításának alapvetően két módja van.

Az egyik esetben a napsugárzás hőhatását hasznosítjuk valamilyen formában. Ez történik a korszerű, energiatakarékos házak déli, nyugati tájolású, nagy üvegfelületű homlokzatai által. A helyiségekbe beérkező napsugárzás elnyelődik, felmelegíti a bútorzatot, padlót, ami által a levegő is felmelegszik. A Naphoz képest sokkal alacsonyabb hőmérsékletű tárgyak sugárzása az üvegházhatás miatt nem jut ki a szobából. A több légkamrás, jó hőszigetelő ablakokon a vezetéssel kijutó hő csekély, bár fajlagosan (1 m²-re számítva) nagyobb, mint a külső falakon. Éjjel külső redőnnyel és függönnyel csökkenthető a veszteség.

Lehetséges napkollektorokban (jellemzően fekete csőrendszer) vizet áramoltatva egy nagyobb víztartályban melegíteni vizet, amit később mint használati melegvizet (szokásos rövidítése HMV) közvetlenül felhasználunk. Ha nem elég meleg mint előmelegített víz, kisebb költséggel tudjuk kellő hőmérsékletre melegíteni.

A napenergia hasznosításának másik lehetősége a napelem használata. A napelem szilíciumból készült energiaátalakító. A Nap sugárzásának a látható és közeli infravörös tartományát hasznosítja, közvetlenül villamos energiát állít elő. Mivel nagy mennyiségű villamos energia tárolása nehezen megoldható, költségigényes, hatalmas akkumulátortelepek szükségesek, ezért ezt a megoldást csak ott érdemes használni, ahol nincs villamos hálózat. Ahol van villamos hálózat, ott a napelemekkel „termelt” elektromos energiát a hálózatba lehet táplálni. Ez megoldja a tárolás problémáját, hiszen országos szinten mindig van valamekkora fogyasztás, és a gyors

reagálású erőművek (ezek jellemzően gázturbinás erőművek) teljesítményével lehet szabályozni az egész rendszert annak érdekében, hogy mindig rendelkezésre álljon a szükséges mennyiségű elektromos energia. Napjainkban egyre gyakoribb, hogy háztetőkre telepítenek napelemeket, és a lakosság eladja a termelt villamos energiafeleslegét a szolgáltatóknak.



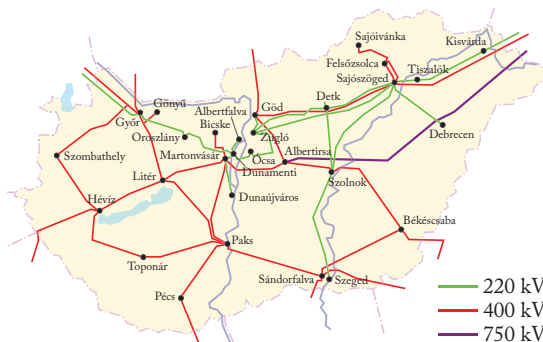
Napkollektor egy ház tetején



Napelemek szerelése háztetőre

A villamos energia szállítása

A villamos energiát különféle erőművekben állítják elő (termelik), felhasználása pedig egy országban szétszórtnan, ipari, mezőgazdasági üzemekben, lakásokban, intézményekben történik. A villamos energiának a fogyasztóhoz való elszállítását az országos villamosenergia-átviteli hálózat biztosítja. Ennek a gerinchálózata 750 kV, 400kV és 220kV feszültségű távvezetésekből áll. A szállítás veszteséggel jár, hiszen a vezetéken az abban folyó áram négyzetével arányos veszteség (hő) keletkezik. Ezért ott, ahol nagy teljesítmény átvitelét kell biztosítani, a hálózati feszültséget kell növelni, mert így elérhető, hogy adott teljesítmény mellett kisebb áram folyjon és kisebb legyen a veszteség. Ez tehát az oka annak, hogy gerinchálózat ilyen nagy feszültségen üzemel. Az igazán jó megoldás természetesen az lenne, hogy szupravezető kábeleken, veszteség nélkül lehetne szállítani a villamos energiát, de a szobahőmérsékletű szupravezető anyagok felfedezése még várat magára.



Nagy jelentősége van az egyes országok villamos-energia hálózatának összekötésének. Minél nagyobb rendszert alakítanak ki ilyen módon, annál biztonságosabb a fogyasztók ellátása. Nagy csúcsfogyasztás, üzemzavar, kedvezőtlen időjárási körülmények (elsősorban a nap- és szélenergia-termelés esetén) esetén a szomszédos rendszerekből lehet energiát átvinni. Arra is lehetőség van egy ilyen hálózatban, hogy az erőművek a legjobb kihasználással működjenek és az adott helyen felesleges energiát a szomszédos országokban használják fel.

PROJEKTFELADAT

1 Megújuló energiaforrások

a) Nézz utána, hogy mi a KÁT, milyen napelemfajták vannak, mik a házi napelempark kiépítésének technikai lépései, mennyi a beruházás mérettől függő aktuális költsége és a várható megtérülési idő. Készíts belőle kiselőadást.

b) Érdekes megvizsgálni, hogyan alakult a hazai villamosenergia-termelésben a megújuló források-

ből származó energia aránya. Keresd meg a neten a legújabb adatokat, és készíts belőle kiselőadást.

c) Nézzetek utána, hogy az egyes erőműfajták milyen költséggel állítanak elő 1 kWh villamos energiát! Milyen érvek szólnak a legolcsóbb előállítási mód mellett és miért indokolt a lényegesen drágábban termelő erőműveket is működtetni? Kis csoportokban vitassátok meg, hogy egy optimális modellben milyen az egyes termelési módok aránya, végül hasonlítsátok össze az egyes modelleket!

A 41. A hőmérséklet és a hőmennyiség c. lecke kiegészítése

Mi mennyire meleg?

Érdeemes megnézni, hogy a környezetünkben, illetve a nagyvilágban hol, mekkora a hőmérséklet.

Gyakori kérdés, hogy hány fokos a világűr. Ez önmagában értelmetlen felvetés, mert ha a világűrűt úgy tekintjük, hogy ott semmi nincs, akkor nincs minek a hőmérsékletéről beszélni. Nagyon kis sűrűségben és változó eloszlásban találhatóak elemi részecskék, és mindenütt jelen van a kozmikus háttérsugárzás. A kérdésre adott szokásos válasz: 2,7 K. Az egy értelmes szám, ha tudjuk, hogy mire vonatkozik. A mai elfogadott elmélet szerint az általunk ismert világ, a világegyetem ősrobbanással jött létre. Ennek jele, maradványa a napjainkban is tapasztalható kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás. Ez egy olyan eloszlású elektromágneses sugárzás, ami egy 2,7 K-es test sugárzásának felel meg. Mivel ez a sugárzás csaknem egyenletesen van jelen mindenütt, ezért a hozzá tartozó hőmérsékletet szokás a világűr hőmérsékletének tekinteni.

Kamerlingh Onnes-nak 1908-ban sikerült cseppfolyósítania a héliumot. Folyékony héliummal hűtve a higanyt annak vezetőképességét vizsgálta. Azt tapasztalta, hogy 4,2 K-en a mintájának ellenállása nullára csökken, vagyis a higany szupravezetővé válik.

A nitrogéngáz -196 °C -on cseppfolyósodik, ez a folyékony nitrogén hőmérséklete. Az MRI, a mágneses magrezonancián alapuló képalkotó diagnosztikai műszer nagy mágneses térben vizsgálja az emberi szervezetet. A mágneses teret szupravezető mágnes állítja elő, amit folyékony nitrogénnel hűtenek.



A Földön természetes körülmények között valaha mért legalacsonyabb hőmérséklet -93 °C , a legmagasabb 70 °C . Ezek az értékek a levegőre vonatkoznak.

Fagyasztószekrényben, fagyasztóládában a legtöbb típus esetében -18 °C van.

Hűtőgépben alul $2-3\text{ °C}$, a felső polcon $8-10\text{ °C}$ lehet. (Ne felejtjük el: a meleg levegő felfelé áramlik.)

Nyáron a felmelegedett talaj, ami már égeti a talpunkat, $50-70\text{ °C}$ -os is lehet.

A víz (normál körülmények között) 100 °C -on forr.

A konyhai sütőben $200-250\text{ °C}$ körüli hőmérsékleten sütjük az ételeket.

Ha egy sötét konyhában bekapcsoljuk az elektromos tűzhely egyik lapját, vagy egy „rezsót”, akkor egy idő után sötétvörösnek látjuk a felületét. Ekkor $500-550\text{ °C}$ a hőmérséklete.

Egy hagyományos izzó volfrámszálljának hőmérséklete 3000 K körüli.

A legmagasabb hőmérsékleten a volfrám olvad, 3422 °C -on.

A szén gyémánt változata 3500 °C -on bomlik, grafit formája 3650 °C -on szublimál.

Napunk felületi hőmérséklete közel 6000 K , belsőjében, ahol a magfúziós energiatermelés történik, $15 \cdot 10^6\text{ K}$ van.



A 49. A gázok belső energiája, A hőtan I. főtétele c. lecke kiegészítése

Az ember energiaháztartása

A mindennapi létünk során sokféle munkát végzünk (akaratlagosan és a biológiai működésünk során is), valamint biztosítjuk a megfelelő testhőmérsékletünket. Ennek energiafedezetét a táplálkozással a szervezetünkbe bevitt élelmiszerek adják. Energiaforrás szempontjából a szénhidrátok, a zsírok és a fehérjék a legfontosabbak. Fontos tudni azonban, hogy ezeknek nem mindegyik változatát képes az emberi szervezet feldolgozni, hasznosítani (elégetni). Például a cellulóz (szénhidrát) a szarvasmarhák számára fontos tápanyag, de az ember nem képes lebontani, tehát számára nem táplálék.

A fehérjefogyasztásunk jellemzően állati eredetű húsokból áll. Vannak növények is, amik jelentős fehérjetartalmúak és képesek vagyunk megemészteni. Ilyen a szója, amit általában nem önmagában fogyasztunk, de jelentős mértékben tartalmazzák különféle ételkészítmények. Az olajos magvak közül elsősorban a mandula, a földimogyoró és a tökmag, a hüvelyesek közül a bab, borsó, lencse jelentős fehérjeforrás.

A zsírok is alapvető fontosságú táplálékok, szintén vannak állati és növényi eredetűek. Az étolajok is zsírok, csupán folyékony halmazállapotúak, többnyire növényi eredetűek, kivétel a halolaj.

Az élelmiszerek energiatartalmát hagyományosan kcal-ban, újabban már MJ-ban adják meg, és általában (ezt fel is tüntetik a csomagoláson) 100 g tömegrre vonatkoztatják. Napjainkban lépten-nyomon találkozunk táplálkozási „szakértőkkel”, akik legtöbbször kalóriát említenek kcal helyett. Éttermekben is általánossá vált az ételek összetételének és tápértékének feltüntetése az étlapon, sokszor ott is hibásan, kalóriát írva. Ha igazak lennének azok az értékek, bizony nagyon gyorsan megéheznénk egy kiadós ebéd után. Érdeemes tudni, hogy egy átlagos középiskolás napi tápanyagigénye ~12 000 kJ (~2900 kcal), egy felnőtt, közepesen nehéz munkát végző személynek ~13 000 kJ (~3100 kcal) bevitt energiára van szüksége. Fontos tudni, hogy ezek a számok valóban

nagyon átlagos értékek. Az, hogy a bevitt tápanyag mekkora része fordítódik az életfolyamatok fenntartására és mennyi épül be a szervezetbe, egyéni alkattól és a testtömegetől függ.



A lassú és a gyors égés

A köznapi életben, ha égésről beszélünk, általában egy anyag látványos, lánggal és füsttel járó átalakulására gondolunk. Ilyen lehet a kályhában eléggő szén, vagy fa, a kazánban eléggő földgáz folyamata. Ez a gyors égés, ilyenkor jelentős hő keletkezik, amit jellemzően melegítésre használunk. Az éghető anyagon kívül oxigén, kellően magas hőmérséklet szükséges hozzá és szén-dioxid keletkezik.

Az emberben (és az állatokban is) a bevitt tápanyag lassan bomlik le, alakul át. Ez is egy égési folyamat, itt is termelődik hő, de az egész alacsony hőmérsékleten megy végbe. A táplálékon kívül itt is szükséges oxigén és szén-dioxid keletkezik.

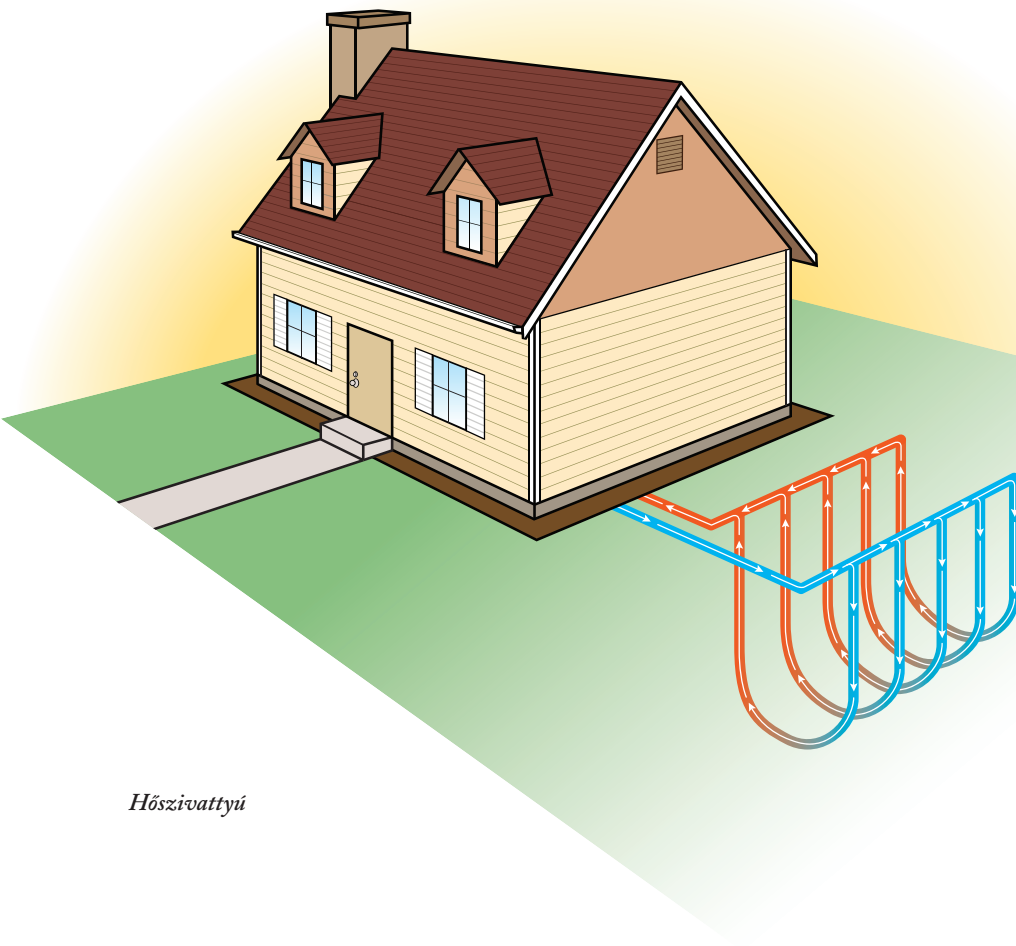
Kémiában az égést oxigénnel való egyesülésként értelmezzük, így lassú égésnek tekinthető a fémfűletek oxidációja vagy általában a szerves anyagok elbomlása.

Az 51. A hőtan II. főtétele c. lecke kiegészítése

A hőszivattyú

A korszerű lakások fűtésének, hűtésének egy módja a hőszivattyús rendszer alkalmazása. A hűtőgép és a hőszivattyú között lényegében csak a használat céljában van különbség. Hűtőgép esetén egy zárt térből azért vonunk el hőt, hogy ott hidegebb legyen. A befektetett munka és az elvont hő a környezetet melegíti, ami adott esetben hasznos is lehet, például télen melegíti a konyhát, vagy az előszobát. Geotermikus hőszivattyú egy hidegebb

környezetből (a talaj mélyebb rétegeiből) azért von el hőt és szállítja a lakásba, hogy az felmelegedjen. A talaj igazi hőtartályként viselkedik. (Ideális hőtartály: bármennyi hőt veszünk ki belőle, a hőmérséklete nem változik.) A csőhálózatot körülvevő föld lehül ugyan egy kicsit, de a környezete hővezetéssel visszamelegíti. Nyáron klímaberendezésként használható. A ház meleg levegője a föld alatti csőrendszerben áramolva lehül, és ez tér vissza a lakótérbe.



Hőszivattyú

Az 54. Párolgás, forrás, lecsapódás c. lecke kiegészítése

Egy új konyhatechnológia

A kuktafazék régóta használt konyhatechnikai eszköz. Meggyorsítja a főzést, és sok esetben az étel ízhatása is kellemesebb. Egy újabban elterjedt főzési mód a szuvidálás. A főzésre, sütésre szánt élelmiszert műanyag zacskóba csomagolják, abból a levegő jelentős részét kiszívják és a zacskót lezárják. Ezután fajtától függően néhány órán vagy esetleg egy, másfél napon át 40-80 °C-os vízben tartják egy edényben. Ez az edény tulajdonképpen egy termosztát. A belemerülő szuvidáló szerkezet a beállított hőmérsékletre fűti fel a vizet, majd azon tartja. Közben folyamatos keveréssel biztosítja az egyenletes hőmérsékletet. Viszonylag alacsony hőmérsékleten, de hosszú idő alatt az étel (elősorban hús)

nagyon jól megpuhul, de az ízanyagok nem bomlanak el. Szuvidálás után már csak néhány perces sütésre van szükség.



Az 55. Halmazállapot-változások a természetben c. lecke kiegészítése

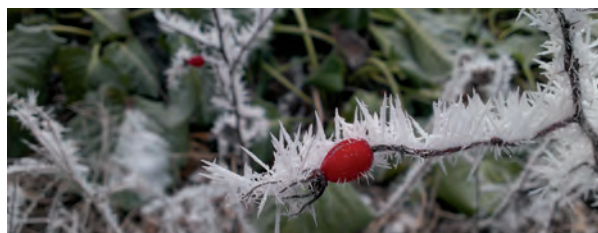
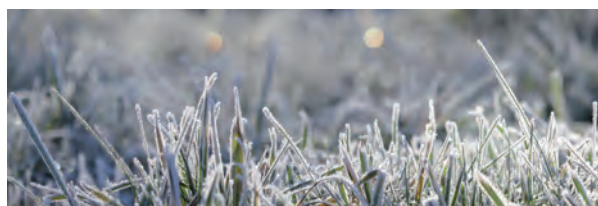
Harmat, dér, zúzmara

A hulló csapadék mellett, mint amilyen az eső, jégeső és hó, beszélhetünk nem hulló csapadékról is. Ilyen a harmat, a dér és a zúzmara. Ezek közös jellemzője, hogy a levegő felszínközeli rétegének nedvességtartalmától és hőmérsékletétől függően keletkeznek.

A **harmat**: a lehűlő levegőben (jellemzően hajnalban) telítetté váló vízgőz a talaj felszínére, a környezeti tárgyakra lecsapódik és ott apró vízcseppekké áll össze. Az a hőmérséklet, amin a levegőben levő víz telítetté válik a harmatpont, éppen erről a jelenségről kapta a nevét.

Amikor a harmatképződés folyamán a hőmérséklet még tovább csökken, akkor a képződött vízcseppek megfagynak és **dér** keletkezik.

Nagy hidegben, főként, ha kicsit nagyobb páratartalmú levegő érkezik, akkor a felszíni tárgyakon mindjárt szilárd állapotban csapódik ki a víz és a hópelyhekhez hasonló kristályos szerkezetet alkot. Ez a **zúzmara**.



PROJEKTFELADAT

A víz különleges tulajdonságai

Eddigi tanulmányaid során sokszor találkoztál a vízzel, a vízhez kapcsolódó különféle jelenségekkel, törvényekkel. A világháló segítségével gyűjtsd össze minél több (nem csak hőtani) jellemzőjét, anyagállandóját, amelyek lényegesen eltérnek a szokásos anyagoktól. Több tantárgyban is tanultál már a víz különleges szerkezetéről, ami ezeket az eltérő viselkedéseket okozza. Foglald össze egy kiselőadásban a víz szerkezetéről és tulajdonságairól meglévő ismereteidet!

Az 56. A hő terjedése (kiegészítő anyag) c. lecke kiegészítése

Hővezetés a mikrohullámú sütőben

A mikrohullámú sütő adófeje, a magnetron 2,45 GHz frekvenciájú (12 cm hullámhosszú) elektromágneses sugárzást bocsajt ki. Ez elsősorban a nagy víztartalmú anyagokban nyelődik el. Tapasztalhatjuk, hogy egy pohár víz, vagy tej egyenletesen melegszik át, nem kell melegítés után kavargatni. Ha összetételét tekintve bonyolultabb

ételeket gyorsan melegítünk az nem egyenletesen melegszik. Ha viszont lassan, kis teljesítménnyel végezzük a melegítést akkor jobb eredményt érünk el. Ugyanis van idő, hogy a jól melegedő részekről vezetéssel eljusson a hő más helyekre is. Gyűjtsd össze tapasztalataidat ezzel kapcsolatban! Mi, hogyan melegedett különböző levesekben, főzelék-feltét, vagy hús-köret esetén?

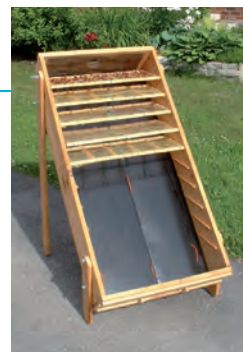
PROJEKTFELADAT

1 Tervezz, készíts házi gyümölcsaszalót!

Sok zöldség és gyümölcs csaknem teljes értékűen tartósítható aszalással. A tiszta, egészséges termények víztartalmát lassan kell elvonni, hogy a felszín megszáradása ne akadályozza a belső részek vízleadását. Az üzletekben kapható aszalt gyümölcsök hozzáadott cukrot tartalmazhatnak, és hogy tetszetősebbek legyenek, gyakorta vegyi anyagokkal kezelik. Érdemes tehát házi aszalással kísérletezni. Ha nagyon környezetbarátok szeretnénk lenni, akkor az aszalót is magunk tervezzük, építjük és napenergiával működtetjük.

Az aszalás 35 °C – 80 °C közötti hőmérsékleten, enyhe légáramlásban történik. A Nap sugárzása hőelnyeléssel melegít egy megfelelően kialakított felületet. Ez a része az aszalónak tulajdonképpen egy alkalmas módon megtervezett napkollektor. A felmelegedett felület hőátadással melegíti a levegőt, ami áramlással szállítja a hőt a zöldséget, gyümölcsöt tartó, rácsos kialakítású tálca alá. A felmelegített termény párolgással adja át víztartalmát az áramló levegőnek. Gondoskodni kell arról, hogy ne következzen be telítődés, ne legyen kondenzálódás, a víz ne csepegjen vissza. A hőelnyelő felület bevilágításának nagyságával be tudjuk állítani az adott gyümölcs számára optimális hőmérsékletet. A meleg levegő áramlását segíthetjük egy napelemmel hajtott kis ventilátorral (egyenáramú motorra szerelt propellerrel) is.

Ha csupán tervezés a célunk, akkor úgynevezett „tanulmány aszalót” tervezzünk. Hasonlóan, mint az autógyártók, akik a nemzetközi autószalonokon „tanulmányautókat” mutatnak be. Vagyis nem az a cél, hogy a tervet egészében, mi magunk meg tudjuk valósítani, de fejezze ki, hogy milyen ötleteink, elképzeléseink vannak. Ha szeretnénk megépíteni a készülékünket, akkor realistábban, lehetőségeink mérlegelésével tervezzük életünk első aszalóberendezését.



Házi készítésű gyümölcsaszaló

2 Hőátbocsátási és hővezetési együttható mérése

Célszerű, ha a munkádról mérési naplót vezetsz, majd pedig mérési jegyzőkönyvet készítesz. Nézz utána a neten, hogy mit is takar ez a két fogalom.

Az eredményesebb munka és a biztonság érdekében jó, ha két tanuló egy mérőpárt alkotva végzi el a mérést tanári vagy szülői felügyelet mellett.

Egy adott vastagságú anyag 1 m²-én időegység alatt, a két oldal között 1 °C hőmérséklet-különbség esetén átjutó

hőmennyiséget a hőátbocsátási együttható (jele U , korábban k -val jelölték) írja le.

$$\text{Mértékegysége: } [U] = \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}}$$

Elsősorban az építőiparban használatos, az építőanyagok hőszigetelését jellemző mennyiség. Ez a szám konkrét termékeket (pl. B30-as téglá esetén $U = 1,52 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$)

jellemez, ami már figyelembe veszi a téglá 17,5 cm-es vastagságát és rácsos szerkezetét. Vegyük észre, hogy a fenti két mértékegység azonos tartalmú. A gyakorlatban a második alakot használják inkább. A hővezetési együttható ezzel szemben mindig egységnyi (1 m) vastagságú tömör anyag által, 1 m² felületen, 1 s alatt, a két oldal között 1 °C hőmérséklet-különbség esetén átvezetett hőt

$$\text{jelenti. Jele } \lambda, \text{ mértékegysége } [\lambda] = \frac{\text{J}}{\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{s}}$$

A méréshez szükséges eszközök:

- 4-5 literes lábas vagy fazék (vízfürdő)
- konzervdoboz, vagy fém üdítőitalos doboz
- hőmérő (elég, ha 70 °C–80 °C-ig mér, de vízbe meríthető legyen)
- konyhai mérleg
- vonalzó, tolómérő

A mérés leírása:

A fazékban vizet melegítünk, a konzervdobozt teletöltjük vízzel és belelógatjuk a fazékba. MÉRJÜK az időt és a dobozban levő víz hőmérsékletének növekedését. Ha a hőmérséklet-emelkedés percenként nem több, mint 3-4 °C, befejezzük a mérést.

A számolásunk alapja:

Adott idő alatt a doboz falán átvezetett hőmennyiség a víz hőmérsékletét növeli.

Az átvezetett hő: $Q = U \cdot A \cdot \Delta t \cdot \Delta T = c_{\text{víz}} \cdot m \cdot \Delta T$, ahol ΔT a víz hőmérséklet-emelkedése, A a doboznak a vízfürdővel érintkező felülete, Δt a melegítési idő.

A mérés végrehajtása:

Melegíts a fazékban 2-3 liter vizet 70 °C-80 °C körüli hőmérsékletre, és tartsd így. MÉRD LE a konzervdobozba töltött víz tömegét (töltsd tele a dobozt) és hőmérsékletét. MÁRTSD a fazékban felmelegített vízbe. Folyamatos, nem túl intenzív kavarással mérd a hőmérsékletét és az időt. Ha elérte a kívánt hőmérséklet-emelkedést, vedd ki a vízfürdőből. A mérést háromszor ismételd meg.

MÉRD LE a doboz vízbe mártott felületét és anyagának vastagságát. Ha a vastagságot nem tudod lemérni, vedd 0,1 mm-nek. Számítsd ki a doboz anyagának hővezetési együtthatóját, és hasonlítsd össze a *Négyjegyű függvénytáblázatban* megadott értékkel. VIGYÁZZ, a konzervdobozok anyaga vas, míg az üdítőitalos alumíniumból készül.

Tanácsok, szempontok a sikeres mérés végrehajtásához:

- A dobozt vékony drótokon, vagy spárgán tartva mártjuk a vízfürdőbe.
- Az eredményesség nagyban függ a helyes arányok megválasztásától. A dobozban levő víz mennyisége legfeljebb tizede legyen a vízfürdőének. Törekedjünk arra, hogy a mérés ne tartson egy percnél tovább. Ha szükséges, a fürdő hőmérséklete lehet kicsit magasabb, mint az ajánlott érték.
- A hőmérsékletet a lehető legpontosabban mérjük. 5 °C változás esetén fél fok leolvasási hiba 10%-ot jelent, ami ilyen arányban megjelenik az átvitt hőmennyiségben.
- A mérés a lehető legrövidebb ideig tartson, hogy ne legyen jelentős a dobozban levő víz felületén a hővesztés és a víz párolgása.

A mérés értékelése, hibabecslés:

Foglalld össze az elvégzett munkát és értékelj az eredményeket! A mérést befolyásoló tényezők hatásai közül melyeket tudtad csökkenteni, és melyeket nem? Becsüld meg, hogy az utóbbiak mekkora hibával terhelték a mérés eredményét!

3 Hőszigetelő ablakok

Épületek hőszigetelésének egyik fontos eleme a nyílászárók, ezen belül is főként az ablakok jó hőszigetelő képessége. Nézz utána, hogy mit jelent a légkamra. Miért argonnal töltik fel a légkamrákat. Kutakodj a *Négyjegyű függvénytáblázatban*, vedd össze a nitrogén, az oxigén és az argon releváns hőtani adatait! Vizsgáld meg, hogy mi az előny, hátránya a fából, fémből, műanyagból készített, és a vegyes felépítésű ablaktoknak és szárnyaknak!





Név- és tárgymutató

A, Á

adiabatikus* 56
állapotegyenlet* 58
állapothatározó 36
állapotjelző* 36
általános gázállandó 37
anyagmennyiség 48
Avogadro, Amadeo 47
Avogadro-állandó 45
Avogadro törvénye 45

B

belső égésű motor 30
belső energia 49
benzinmotor 59
bimetallszalag 15
Boltzmann, Ludwig Eduard 47
Boltzmann-állandó 46
Boyle, Robert 26
Boyle–Mariotte-törvény* 22
Brown, Robert 44
Brown-féle mozgás* 44

C, Cs

Carnot-körfolyamat 66
Cartesius-búvár 26
Celsius, Anders 8
Celsius-fok* 7
csapadékképződés 84

D

Davy-lámpa 87
dér 83, 139
diffúzió* 44
dilatométer 17
dízelmotor 30

E

égéshő 92
egyensúlyi állapot* 106
egyesített gáztörvény 36
ekvipartíció tétele 50
elsőfajú perpetuum mobile* 52
energiamegmaradás törvénye 51
energiatétel 52
entrópia 62

F

fagyás* 70
fagyáspont* 70
Fahrenheit, Gabriel Daniel 7
fajhő* 57
felületi hőtágulás 12
folyadék halmazállapot* 70
folyadékok hőtágulása* 20
forrás* 76
forráshő* 76
forráspont* 76
fűtőérték 92

G

Gay-Lussac 33
Gay-Lussac első törvénye* 33
Gay-Lussac második törvénye* 33
globális felmelegedés 85
gőz* 84
Gravesande-készülék 13

H

halmazállapot-változás* 69
harmat 139
hatásfok* 62
higrométer 83
hó* 84
hőállapot 6
hőáramlás 83, 86
hőerőgép* 62
hőkamera 92
hőkapacitás* 57
hőmennyiség* 57
hőmérő 7
hőmérséklet* 6
hősugárzás 86
hőszigetelő 87
hőtágulás* 85
hőtan I. főtétele* 51
hőtan II. főtétele* 61
hőtan III. főtétele 65
hőterjedés 86
hővezetés 86
hűtőgép* 78

*-gal jelöltük az érettségi vizsga követelményében előforduló szavakat.

I, Í

ideális gáz 23
irreverzibilis folyamat* 61
IR-sugárzás 90
izobár állapotváltozás* 28
izochor állapotváltozás* 32
izoterm állapotváltozás* 22

J

Jedlik Ányos* 73
jég 69
jégeső* 84
jósággi tényező 62

K

kaloriméter 79
kalorimetria 79
kalorimetria alap-
egyenlete 79
Kelvin 70
Kelvin-féle hőmérsékleti
skála* 7

kinetikus gázelmélet*
45
körfolyamatok 65

L

lecsapódás* 77
lineáris hőtágulás* 11
lineáris hőtágulási
együttható 12

M

Mariotte, Edme 22
másodfajú perpetuum
mobile 62
Melde-cső 75
moláris tömeg 45
mólhő* 71
mólszám 21

N, Ny

napelem 89
naperómű 89

napkóhó 89
napkollektor 91

O, Ö

olvadás* 69
olvadáshő* 70
olvadáspont* 69
olvadék 71

P

padlófűtés 91
Papin 79
páratartalom* 83
párolgás* 75
párolgáshő* 75
Planck, Max 62

R

Réaumur, René-Antoine
8
Regnault, Henri Victor
37

rendezettség,
rendezetlenség* 62
reverzibilis folyamat*
61

T

telítetlen gőz, telített gőz*
77
térfogati hőtágulás* 12
térfogati hőtágulási
együttható 13
térfogati munka* 51
termikus egyensúly 50
termikus kölcsönhatás 50
Tyndall-jelenség 47

U, Ü

UV sugárzás 90
üvegházhatás 85

Z

zúzmara 139

Útmutató a FIZIKA 9–10. II. kötet használatához

Ez a kiadvány kiegészítése az NT-17105 Fizika 9–10. tankönyvnek. Erre azért van szükség, mert a 2020–2021-es tanévben a négy évfolyamos gimnáziumok 9. évfolymán bevezetésre kerül az új Nemzeti Alaptanterv. Ezzel az évfolyammal kezdődően a fizika tantárgyat 9. és 10. évfolyamon tanítják. Ezért a fent említett tankönyvhöz kiegészítést készítettünk, hogy a két kiadvány (NT-17105 és az NT-17105/K) eleget tegyen a Nat 2020 követelményeinek.

Ez a kiegészítés tartalmazza a két hőtani fejezetet és az egyes leckékhez tartozó kiegészítő anyagokat (új is-

meretek és projektfeladatok). A leckék számozása folyamatos a Kinematika fejezettől a Termodinamikáig. Minden kiegészítésnél jelöltük, hogy az melyik leckéhez tartozik.

Segítünk:

- fölfedezni és megérteni a fizikai ötleteket,
- kidolgozni a saját elképzelésedet az elvégzett projektfeladatok eredményein keresztül,
- láthatóvá tenni, hogy mennyire használható a fizika a mindennapi életben.

A lecke száma és címe

Az 56. A hő terjedése (kiegészítő anyag) c. lecke kiegészítése

Új ismeretek

Hővezetés a mikrohullámú sütőben

A mikrohullámú sütő adófeje, a magnetron 2,45 GHz frekvenciájú (12 cm hullámhosszú) elektromágneses sugárzást bocsát ki. Ez elsősorban a nagy víztartalmú anyagokban nyelődik el. Tapaszthatjuk, hogy egy pohár víz, vagy tej egyenesen melegszik át, nem kell melegítés után kavargatni. Ha összetétele tekintve bonyolultabb

ételeket gyorsan melegítünk az nem egyenesen melegszik. Ha viszont lassan, kis teljesítménnyel végezzük a melegítést akkor jobb eredményt érünk el. Ugyanis van idő, hogy a jól melegedő részekről vezetéssel eljusson a hő más helyekre is. Gyűjtsd össze tapasztalataidat ezzel kapcsolatban! Mi, hogyan melegedett különböző levesekben, főzések-feltét, vagy hús-köret esetén?

Projektfeladatok

PROJEKTFELADAT

1 Tervezz, készíts házi gyümölcsaszalót!

Sok zöldség és gyümölcs csaknem teljes értékűen tartósítható aszalással. A tiszta, egészséges termék egy vízmentes, az aszalónak tulajdonképpen egy alkalmas módon megtervezett napkollektor. A fellemegeedett felület hőátadással melegíti a levegőt, ami áramlással szállítja a hőt a zöldséget, gyümölcsöt tartó, rácsos kialakítású tálca alá. A fellemegeedett termény párolgással adja át víztartalmát az áramló levegőnek. Gondoskodni kell arról, hogy ne következzon be *telítődés*, ne legyen *kondenzálódás*, a víz ne cspegjen vissza. A hőelnyelő felület bevilágításának nagyságával be tudjuk állítani az adott gyümölcs számára optimális hőmérsékletet. A meleg levegő áramlását segíthetjük egy *napellenmel* hajtott kis ventilátorral (egyenáramú motorra szerelt propellerrel) is.

Ha csupán tervezés a célunk, akkor úgynevezett „tanulmány aszalót” tervezünk. Hasonlóan, mint az autógyártók, akik a nemzetközi autózsalonokon „tanulmányautókat” mutatnak be. Vagyis nem az a cél, hogy a tervet egészségben, mi magunk meg tudjuk valósítani, de fejezze ki, hogy milyen ötleteink, elképzeléseink vannak. Ha szeretnénk megépíteni a készülékünket, akkor realitásban, lehetőségeink mérlegelésével tervezzük életünk első aszalóberendezését.



Házi készítésű gyümölcsaszaló

Témakör

Termodinamika

2 Hőátbocsátási és hővezetési együttható mérése

Célszerű, ha a munkádrol *mérési naplót* vezetsz, majd pedig *mérési jegyzőkönyvet* készítesz. Nézz utána a neten, hogy mit is takar ez a két fogalom.

Az eredményesebb munka és a biztonság érdekében jó, ha két tanuló egy mérőpárt alkotva végzi el a mérést tanári vagy szülői felügyelet mellett.

Egy adott vastagságú anyag 1 m²-én időegység alatt, a két oldal között 1 °C hőmérséklet-különbség esetén átjutó

Képjogok

Cultiris: 73/jf.

Flickr: 5/ba. (Mike Willis/CC BY-ND 2.0), 6/a. (gfpeck/CC BY-ND 2.0), 8/j. (National Galleries of Scotland/public domain), 13/a. (tuchodi/CC BY-SA 2.0), 16. (ollografik/CC BY-ND 2.0), 18. (RukaKuusamo/CC BY 2.0), 19/ja.

(Peter Grima/CC BY-SA 2.0), 24. (Neil Rickards/CC BY 2.0), 43/bf. (eriwst/CC BY-SA 2.0), 49/f. (Nick.Allen/CC BY 2.0), 55/a. (Timitrius/CC BY-SA 2.0), 60. (Harwich & Dovercourt/CC BY-SA 2.0), 61/f. (Dominic's pics/CC BY 2.0), 61/a. (rick/CC BY 2.0), 69/ba. (IngaMun/CC BY 2.0), 69/jf. (Pedliano/CC BY 2.0), 82/ja. (russellsmith/CC BY 2.0), 86/f. (Todd Huffman/CC BY-SA 2.0), 86/a. (BrownGuacamole/CC BY-ND 2.0), 108/bf. (phooky/CC BY-SA 2.0), 118/a. (pri.studio360/CC BY 2.0), 119. (Fox News Insider/CC BY 2.0), 140. (postcarbonlondon/CC BY 2.0)

Frank Noschese: 124. (noschese180.wordpress.com/CC BY 4.0)

Freeimages: 5/bk., jf., ja., 43/bk., jf., ja.

MÁV-csoport: 101.

NASA: 65/a., 88/f. 113.

OH-Archívum: 4., 5/jk., 9/jf., 11/ba., j., 13/f., 14., 15/bf., bk., 17/ba., j., 22., 25., 26/k., a., 28/f., 32/a., 36/a., 42., 48., 54/a., 55/f., 56., 64., 72., 74., 75/j., 76., 77/b., 79/a., 81., 85/a., 90/f. 105., 108/j., 109., 111/f.

OH-Archívum/Dreamstime: 5/f., bf., 6/f., 7., 9/bk., ba., jk., ja., 11/bf., 17/bf., 19/b., 20/f., 21., 23., 27/ba., 28/a., 31/a., 32/f., 33–35., 36/f., 38., 43/f., jk., 44/bf., j., 49/a., 57., 77/j., 82/bf., 83/bf., ba, jf., 85/f., 87/f., 91/bf., 92–93., 104., 107., 116., 117., 118/f., 142.

Országalbum: 78. (szittyu11/CC-BY-4.0)

Pixabay: 127/f.

Regele György: 100.

Shutterstock: 15/a., 20/a., 27/bf., ja., 30/f., 39., 43/ba., 44/ba., 52/b., 53., 54/jf., 63/a., 69/jfk., 75/bf., ba., 82/ba., 83/ja., 84/f., 88/a., 90/a., 91/ba., ja., 114/bf., 115., 125., 126., 127/a., 130., 133/a., 135–138., 140/f.

Thinkstock: 133/f.

Wikipedia: 8/b. (Uppsala University), 15/jf. (Leonard G./CC BY-SA 3.0), 26/f. (Gawthorpe Hall), 30/a. (Library of Congress, Washington), 31/f. (Preussischer Kulturbesitz, Berlin) 47/f. (Uni Frankfurt), 47/a. (fexx/CC BY-SA 3.0), 52/j. (Popular Science magazine), 54/bf., 63/f. (Transocean, Berlin), 65/f. (Professor Bop/CC BY 2.0), 69/bf. (Chmee2/CC BY-SA 3.0), 69/ja. (Pjacklam/CC BY-SA 3.0), 79/f., 122/a. (Alan Vernon/CC BY 2.0), 87/a. (Pastorius/CC BY-SA 3.0), 89. (H. Zell/CC BY-SA 3.0), 111/a. (Kunstmuseum Den Haag), 114/j. (ifj. Zátonyi Sándor/CC BY-SA 3.0/Sághegyi Múzeum), 114/ba.