

# 1. Halmazállapotok

**Sorold fel, hogy milyen halmazállapotokat ismersz!**

A következőkben az lesz a feladatunk, hogy ezekről alkossunk modellt, annak érdekében, hogy bizonyos természeti jelenségeket ezen modellek segítségével értelmezni tudjunk.

**Végezd el az alábbi egyszerű kísérleteket és jegyezd le tapasztalataidat!**

<i>Feladat</i>	<i>Tapasztalat</i>
Fújj fel egy léggömböt! Mit tapasztalsz, ha egyre több levegőt fújsz bele? Mitől lesz egyre feszesebb a lufi?	
Fogd be egy orvosi fecskendő kivezetését! Nyomd be a dugattyúját!	
Óraüveggel lezárt mérőhengerben jódot szublimáltass!	

A gázokról szétterjedés, keveredés, nyomás szempontjából a következő képet alkothatjuk. A gáz igen kicsi méretű és rendkívül nagyszámú golyók halmaza. A golyók nagy sebességgel mozognak, eközben egymással és az edény falával ütköznek. Rendszertelen röptükkel kitöltik a rendelkezésükre álló térfogatot.

**Mosás után kiterítjük a vizes ruhákat száradni. Miért, és mi történik?**

A folyadékok párolgás közben gázzá alakulnak, ez az átalakulás pedig azt engedi sejtetni, hogy a folyadékokat is golyók halmazaként képzelhetjük el.

**Végezd el az alábbi egyszerű kísérleteket és jegyezd le tapasztalataidat!**

<i>Feladat</i>	<i>Tapasztalat</i>	<i>Következtetés</i>
Orvosi fecskendőt tölts meg vízzel! Fogd be a nyílását, és nyomd a dugattyút!		Kemény golyók, amelyek egymással érintkeznek. Sőt bizonyos távolságból már taszítják egymást.
Meleg vízbe mártsál tea filtert!		Sokkal lassúbb ez a keveredés, mint amit a gázoknál tapasztaltunk.
Rúgós erőmérő segítségével emelj fel egy korongot száraz asztalról, illetve víz felületéről!		A részecskék ezek szerint távolításkor vonzzák egymást
Mérőhengerbe tölts rizst, és fölé babot! jelöld be a szinteket! Ezután rázd össze a henger tartalmát!		

A folyadék kemény golyók halmaza. Ezek rendkívül kicsik, méretük anyagonként különböző lehet. A golyók mozognak, de mozgásukat a közeli szomszédok szüntelenül akadályozzák, rendszertelenné teszik. Amennyiben a szomszédos golyókat el akarjuk távolítani egymástól, közöttük vonzás lép fel, ami nagyobb távon megszűnik.

***Gondolj vissza a jód szublimációjára! Miből állhat ezek alapján a szilárd anyagok modellje?***

***Végezd el az alábbi egyszerű kísérleteket és jegyezd le tapasztalataidat!***

<i>Feladat</i>	<i>Tapasztalat</i>
Nagyítóval figyelj meg különböző szilárd anyagok felületét!(pl. konyhasó, bármilyen ásvány)	
Sörétgolyók sokaságát enyhe rázogatással tereld a tálca egyik sarkába!	
Próbálj kavicsot széttörni, illetve széttört váza darabjait egymáshoz nyomni!	

A szilárd anyagokról a halmazállapot – változás, a szabályos felület, a nagyfokú összenyomhatatlanság alapján a következő modellt alkothatjuk: Sok apró golyó halmaza. A golyók egymáshoz közel vannak, közelítéskor taszítják, távolításkor vonzzák egymást. A kristályban a golyók szabályos sorrendben helyezkednek el. A szomszédok gyűrűjében lévő golyók mozgása, helyhez kötött rezgés.

## 2. A golyómodell alapján magyarázható jelenségek

### Az I. és a II. főtétel

Láttuk, hogy bármelyik halmazállapotot golyók sokaságával sikerült modellezni. Az is mindenki számára egyértelmű, hogy a halmazállapotokban az a jelentős különbség, hogy milyen erős a kapcsolat, a kölcsönhatás a halmazt felépítő részecskék között. Mindhárom halmazállapotban valamiféle mozgást végeznek a sokaság építő elemei. Amennyiben egy test mozog, akkor van sebessége, és ebből következik, hogy rendelkezik mozgási energiával. Térbeli mozgást feltételezve a részecskék mozgását 3 adattal-koordinátával- írhatjuk le, így sebességüknek is három egymástól független értéke lehet. Azaz a mozgási energiáját három módon hordozhatja.

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2}m_0v_x^2 + \frac{1}{2}m_0v_y^2 + \frac{1}{2}m_0v_z^2$$

*Az energiátárolás független lehetőségeit energiátároló szabadsági fokoknak nevezzük.*

#### 1. Állapítsd meg, hogy az alábbi testeknek hány szabadsági foka van!

- térben röpdülő labda
- jégen csúszó korong
- emelkedő lift

#### 2.. Próbál meg értelmezni szabadsági fokok szintjén az alábbi jelenséget!

A jégpályán változatlan testtartással siklik feléd egy korcsolyázó, hogy beléd ne ütközzön kicsit bedől, irányt változtat. Hogyan érte el, hogy sebességének nagysága ne változzon?

A gázokat szüntelenül, sebesen mozgó, rendszertelenül ütköző golyók sokaságának tekintettük. Vagyis mindegyek részecskének lehet mozgási energiája. Éppen ezért a gáz energiája a golyók mozgási energiájának összege. Ugyanis nem követünk el hibát, ha a kölcsönhatási energiájukat elhanyagoljuk, mivel nem érzik egymás hatását, illetve csak nagyon rövid ideig. Két golyó koccanásakor az egyik golyó mozgási energiája részben vagy egészben áttevődhet a másikra.

A folyadékok, és szilárd anyagok megértéséhez azonban figyelembe kell majd vennünk a golyók kölcsönhatását is, hiszen bennük a golyók mindig közel vannak egymáshoz.

#### 3. Víz elforrálásához energiára van szükségünk. Mire fordítódik ez az energia? Értelmezd a jelenséget a bevezetett modell alapján!

*A környezettől elzárt anyaghalmoz energiája állandó. A környezetével kölcsönhatásban lévő halmaz energiája pontosan annyival változik, mint amennyi energiát kap a környezettől, vagy annak lead. Ez nem más, mint a már oly sokszor megfogalmazott energiamegmaradás. Ha sok részecskéből összetett halmazra vonatkoztatjuk, I. főtételnek nevezzük.*

#### 4. Modell kísérlet (Diffúzió jelensége, Miért terjed ki a gáz?)

A korongok, oxigén molekulák átkerülését egyik szobából a másikba, dobókocka segítségével modellezzük. Hat korongot számozz meg! Amennyit dobsz az a korong kerül át a másik szobába. Minden dobás után jegyezd fel az állást! Legalább 50 alkalommal dobj!

eloszlás	6,0	5,1	4,2	3,3	2,4	1,5	0,6
alkalmak száma							

A kezdeti rendet a dobások véletlenje szétzilálta. Végül a golyósokaság legrendetlenebb eloszlása bizonyul tartósnak, ezen a további kockadobások ritkán okoznak számottevő változást.

A szobánkról ránézésre meg tudjuk mondani, hogy mikor rendetlenebb. Fizikai értelemben viszont akkor nevezünk egy eloszlást rendetlenebbnek, ha az nagyobb valószínűséggel valósul meg, mint egy másik.

Játékunk modellszerűen magyarázza a gázok szétterjedését, diffúzióját, térkitöltését. A levegő a kupac teremben, a málnalé a vízben mind úgy oszlik szét, ahogyan azt játékunk szemlélteti. Így szerencsére sohasem fordulhat elő, hogy oxigén után kapkodunk, hiszen az, hogy minden hol van oxigén sokkal valószínűbb, több eloszlással tud megvalósulni, mint az, hogy egy adott térrészben nincs. Természetesen, amikor sok golyó együttes térbeli eloszlását figyeljük, nem érdekel bennünket minden egyes golyó pontos helye. Az nem fontos, hogy éppen melyik oxigén molekulát lélegzem be, melyik van éppen ott.

**5. A felismert törvényszerűséget fogalmazzuk is meg! Mi határozza meg a folyamatok irányát!**

*Környezetétől elzárt golyósokaságban magától végbemennek az olyan folyamatok, amelyek során a sokaság eloszlása rendetlenné válik. Ha elérte a legrendetlenebb állapotot, akkor ebben marad, ez tartósul egyensúlyi eloszlásként. Ez a II. főtétele. Nyílt halmaz nincs szükségszerűen a legrendetlenebb eloszlásban.*

**6. Jégkockát dobunk egy pohár üdítőbe. Mi történik? Elképzelhető-e, hogy a folyamat visszafelé lejátsszódjon?**

Zárt anyaghalmazban végbemenő folyamatok időben megfordíthatatlanok. Ez a tapasztalati tény egyenrangú azzal, amit a II. főtétele mond ki, vagyis, hogy nagyon sok elemből álló zárt anyaghalmaz eloszlását rendetlenebbek követik, és nem fordítva.

**7. Fonálra kötött golyót hozz lengésbe! Figyeld meg mi történik? Hány szabadsági foka van a felfüggesztett golyónak és mennyi a környezetének? Elég határozatlan számnévvel válaszolni!**

A test néhány szabadsági fokára összpontosuló energia szétszóródik a nagyszámú alkotóelemből álló környezet sok szabadsági fokára, hiszen ez a folyamat fokozza a rendetlenséget, ezért megfordíthatatlan. A folyamat végén a test szabadsági fokán(fokain)

nem marad jelentős energia. Tehát a végállapot a legkisebb energiájú állapot lesz. Ez az energiaminimum- elve. (A II. főtétel egy másik megfogalmazása)

**8. Gyűjts a mindennapi életből példát, amikor egy test folyamatosan szórja szét az energiáját a környezetének!**

**9. Mit nevezünk párolgásnak? Mi szükséges ehhez a folyamathoz?**

A következő modell kísérletünk elvégzése után sikeresen tudjuk majd ezt a halmazállapotváltozást is magyarázni.

**10. Vegyünk hat számozott korongot, mindegyikre tegyünk egy-egy babszemet, melyek a golyók energiáját szemléltetik. Két különböző színű dobókockával dobjunk! Az egyik azt jelöli, hogy kitől veszünk el babszemet, a másik színű azt, hogy ki kapja. Eredményeidet jegyezd fel! Dobj minél többször!**

A sokaság energiája az ütközések, dobások során nem változott (végig hat babszem volt), az egy szabadsági fokra jutó energia adag száma viszont igen. Modelljátékunk alapján azt is kijelenthetjük, hogy egyensúlyi eloszlásban a szabadsági fokok nem egyenlő mértékben osztoznak a sokaság energiáján. Ha elég nagy a sokaság előfordulhat, hogy egy szabadsági fokra kiugróan sok energia gyűlik össze. A víz képes párologni.

**11. Végezd el a fenti játékot még egyszer és egy kiválasztott korong energia mennyiségét jegyezd fel minden dobás után!**

**Képezz időátlagot!**  $\text{időátlag} = \frac{\text{feljegyzett számok összege}}{\text{dobások száma}}$

Ha elég sok dobás után átlagolunk, bármelyik korongot választhatjuk, rá időátlagban 1 bab jut. Időátlagban ugyanakkora energia jut a sokaság bármelyik szabadsági fokára. Ez az energia egyenletes eloszlásának tétele. (*Ekvipartíció tétele*).

Legyen egy energiában gazdag sokaságunk és egy energiában szegény sokaságunk. Engedjük meg a két sokaság között a kapcsolatot.

**12. Vegyél négy piros korongot és két kék korongot! A két kék korongnak legyen összesen hat baba. A piros korongoknak nincs baba. Két kockával dobj egyszerre. Egyik mutatja, hogy ki ad babot, a másik hogy ki kap. Minden tizedik dobás után számítsd ki, hogy az adott eloszlásban átlagosan hány bab jut egy piros, illetve egy kék korongra! Tulajdonképpen a halmazátlagot kell kiszámolnod!**

$$\text{halmazátlag} = \frac{\text{sokaságösszenergiája}}{\text{sokaságot alkotó golyók száma}}$$

Zárt sokaságban az energia a sokaság azon részhalmaza felé áramlik, ahol kisebb a halmazátlag. Ez nem más, mint a második főtétel megnyilvánulása. A két rész között az

energiaáramlás mindaddig tart, amíg a két részhalmazban ki nem egyenlítődik az egy szabadsági fokra jutó energia halmazátlaga.  
Egyensúlyban a halmazátlag és az időátlag ugyanakkora.

### 3. A nyomás

A **szilárd testek nyomásával** kapcsolatos jelenségekkel tele vannak hétköznapjaink. A szánkó benyomódása a hóba akkor, ha egy és akkor, ha több gyerek ül rajta, a túsarkú és a lapos sarkú cipők sarkának benyomódása az aszfaltba, a pénzérme kilapítása a síneken, a tó jegébe beszakadt kimentése úgy, hogy létrát fektetünk a jégre, azon közelítjük meg a bajbajutottat, stb. mind a nyomás fogalmára hoznak példát.

**A nyomást a nyomóerő és a nyomott felület hányadosaként számolhatjuk ki, tehát**

$$p = F/A, \text{ mértékegységekkel}$$

$$\frac{N}{m^2} = \text{pascal (pászkal)} = Pa$$



A képen Blaise Pascalt (1623-1662) láthatjátok, akiről a mértékegység kapta nevét, és akiről [itt](#) olvashatsz részletesebben.

Talán még nem hallottad: Az Országházát 1885-ben kezdték építeni. A kiválasztott helyen azonban laza, homokos volt a talaj. Az épület süllyedésének megelőzése érdekében megnövelték a készülő épület alapjának a felületét, a "nyomott felületet". Az épületet egy hatalmas, összefüggő, kb.  $20\,000\,m^2$  területű betonlapra építették, ami hol  $2\,m$ , hol  $5\,m$  vastagságú (pl. a kupola alatt).



**1. A fertő-tavi, nádaratásra használt lánctalpas traktor súlya  $24\,000\,N$ , lánctalpainak felülete  $2$  négyzetméter. Mekkora a traktor által kifejtett nyomás?**

**2. Egy betonoszlop mérete  $20\,cm \times 20\,cm \times 3\,m$ , sűrűsége  $2200 \frac{kg}{cm^3}$ . Mekkora a nyomása**

**akkor, ha**

**a, függőleges helyzetben áll**

**b, a földön fekszik?**

Hogyan mérhető meg a gázok, folyadékok nyomása?

**3. Mekkora erővel nyomja a víz 10 m mélységben az 1 m<sup>2</sup> területű felületet? Mekkora a víz nyomása 10 m mélyen?**

Adatok:

$$h = 10 \text{ m}$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

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

$$F = ?$$

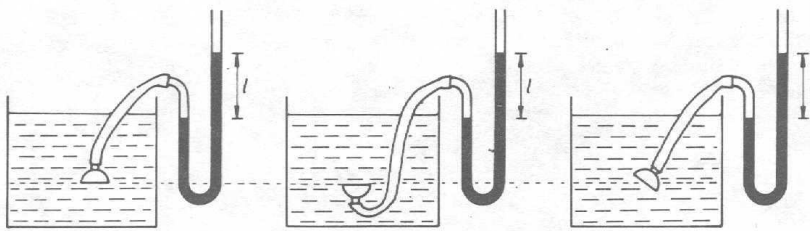
$$p = ?$$

Megoldás: az adott felületre  $V = A \cdot h$  térfogatban lévő víz nehezedik, vagyis ennek a térfogatnak kell a tömegét meghatároznunk, majd a súlyát.

$$F = mg = \rho Vg = \rho Ahg = 1000 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 10 = 100000 \text{ N} = 10^5 \text{ N}$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho hg = 10^5 \text{ Pa}$$

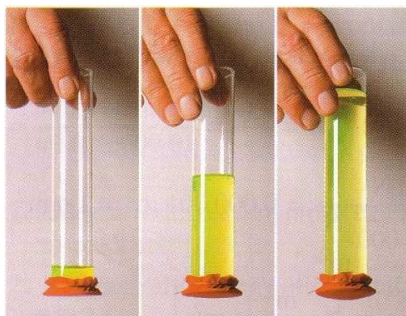
A  $\rho$  sűrűségű folyadék súlyából származó nyomás a folyadék felületétől számított  $h$  mélységben  $p = \rho gh$ .



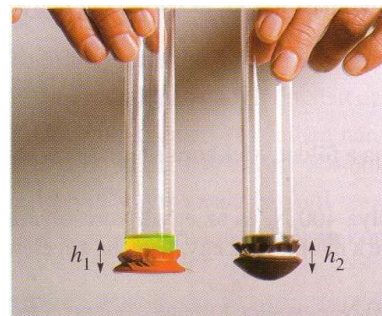
A folyadékok nyomását nyomásmérővel vizsgálhatjuk. Ha vízzel teli edényben tesszük ezt, azt tapasztaljuk, hogy bármerre forgatjuk, minden irányban azonos értéket mutat.

Tehát a matematikai levezetéssel kapott eredményeinket a kísérletek igazolják, és azt is beláttuk, hogy irány független.

**4. Foglald össze, hogy mitől függ a hidrosztatikai nyomás, és hogyan?**



72.1. A gumihártya a magasabb vízoszlop alatt jobban megnyúlik.



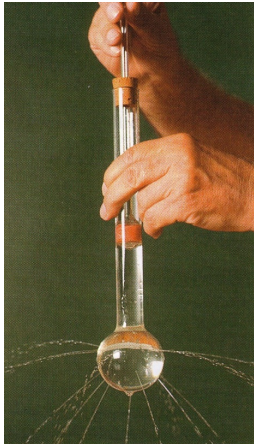
72.2. Ha  $h_1 = h_2$ , akkor a higany nyomása nagyobb, mint a vízé.

A mélytengeri búvárok testét olyan búváruha fedi, amely megvédi a hatalmas nyomástól. Ennél is nagyobb nyomásnak vannak kitéve a mélytengeri halak, pl. a mélytengeri árkok területén.

**5. Számold ki, hogy mekkora a hidrosztatikai nyomás a Mariann árok alján!**



**6. A külső erő hatására minden lyukon víz áramlik ki. Hasonlítsd össze a vízugarak erősségét!**

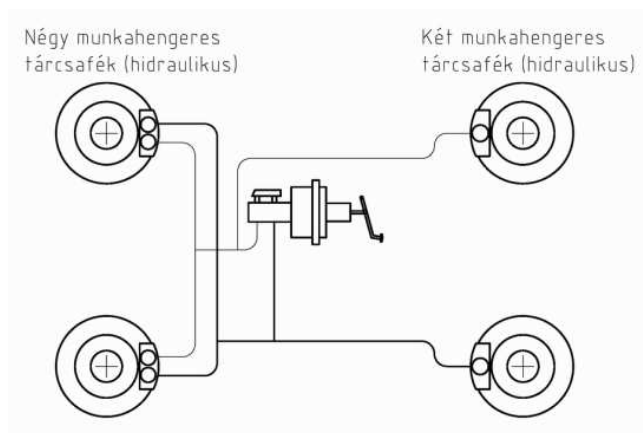
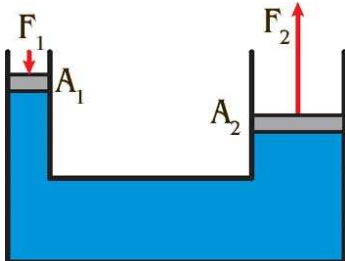


**6. Állítsd össze a képen látható kísérleti elrendezést! Különböző mértékben told be a vízszintes fecskendő dugattyúját! Olvasd le, hogy a felső mennyire emelkedik fel!**



A dugattyú által kifejtett nyomóerő a folyadékban tovaterjed, sőt az is bizonyítható, hogy minden irányba. A folyadékoknak ezt a tulajdonságát Pascal francia fizikus ismerte fel, s róla Pascal – törvénynek nevezzük.

**7. Nevez meg, olyan berendezéseket, melyek működése a Pascal - törvényen alapul! Nézz utána a működésüknek!**



**8. Számítási feladatok**

A Földet sok-sok kilométer vastagságban levegő veszi körül. Régen azt hitték, hogy a levegőnek nincs súlya, de ennek az ellenkezőjéről könnyen meg lehet győződni.

**9. Tegyük egy mérleg két serpenyőjébe annyi súlyt, amennyi egy leeresztett labdát ki tud egyensúlyozni. Ezután fújjuk fel a labdát, és úgy is mérjük meg! Mit tapasztalunk?**

A levegőnek tehát van súlya. Laboratóriumi mérések szerint  $1 \text{ m}^3$  levegő súlya  $12,9 \text{ N}$ . **A tengerszint feletti magasság növekedésével a " levegőoszlop" rétegvastagsága és a levegő átlagsűrűsége egyre kisebb, ezért a légnyomás nagysága csökken. A légnyomás függ a levegő páratartalmától is.** Ha esős idő várható, a légnyomás csökken, mivel csökken a levegő átlagsűrűsége. Ez azért van, mert a nagyobb páratartalmú levegőnek kisebb a sűrűsége, mint a levegőnek, hiszen a levegő helyét vízgőz foglalja el, aminek kisebb a sűrűsége. Ha nem így lenne, a felhők nem a fejünk fölött lennének.

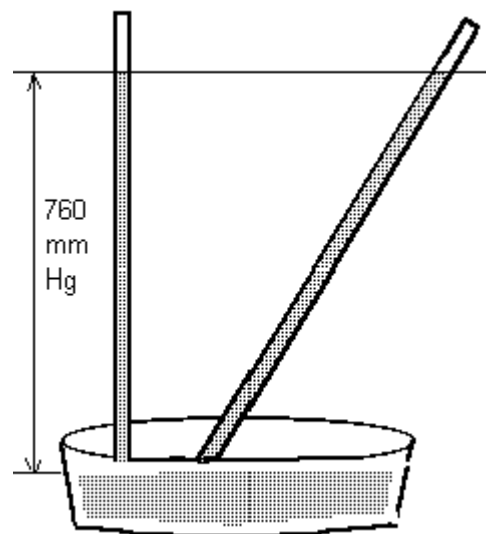


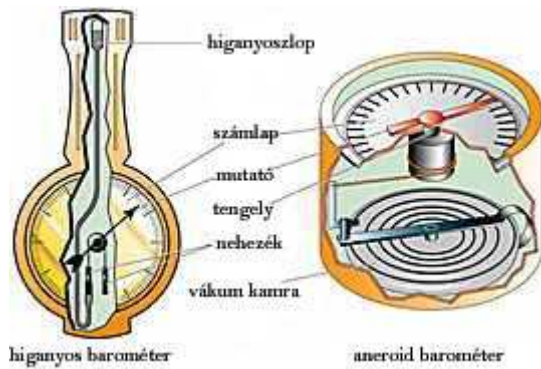
Mint azt, főleg az idősebbek közül többen ismerik, a légnyomás változása, főleg, ha gyorsan történik, érzékenyen érintheti szervezetünket.

A hidrosztatikai nyomás, bár neve félrevezető lehet, ugyanúgy érvényes gázok, ill. a levegő esetében is, és ugyanúgy minden irányba hat.

**10. Állítsd sorrendbe a következő égitesteket úgy, hogy a felszíni légnyomás egyre növekedjen! (Vénusz, Hold, Föld, Merkúr, Mars) Mely égitesteket nem kellett volna itt felsorolni?**

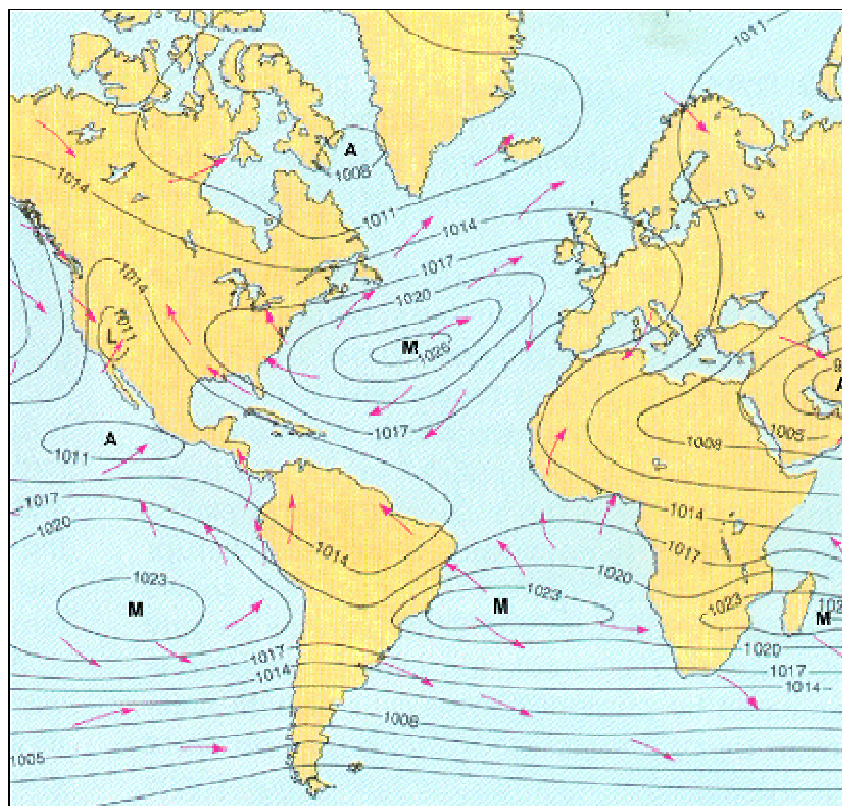
Evangelista **Torricelli** (1608-1647) Galilei tanítványa volt, és a légköri nyomást létét először ő bizonyította 1643-ban. Higanyal töltött meg egy  $1 \text{ m}$  hosszú, egyik végén zárt üvegcsövet, majd nyitott végével lefelé fordítva higanyal megtöltött edénybe állította. Azt tapasztalta, hogy a higany nem ömlött ki teljesen a csőből, hanem bizonyos magasságig továbbra is kitöltötte. A tálban lévő higanyra tehát a levegő akkora nyomást gyakorol, ami egyensúlyt tart a higanyoszlop nyomásával. Ezt átlagosan  $76 \text{ cm}$ -esnek mérték, ennek a nyomása tehát megfelel a légköri nyomásnak. Felfelé haladva ez az érték csökken.





A légnyomás mérésére szolgáló eszközöket **barométereknek** nevezzük. A barométerek egyik fajtája a **higanyos barométer**, működésének alapja a Torricelli kísérlet. A másik típusa az ú.n. **aneroid barométer**, mely egy rugalmas tetejű fémdoboz, amelyben légritkított levegő van. Ha a légnyomás változik, akkor a fémdoboz tetejére ható erő és így a tető alakja is változik. A légnyomás változását a tetővel összekötött és egy skála előtt mozgó mutató jelzi. Ebből lehet következtetni a várható időjárásra.

Valamely magassági szintben az azonos légnyomású helyeket **izobár vonalak** kötik össze.



### 11. Miért van nyomása a zárt térben lévő, elhanyagolható súlyú gáznak?

A gázokban nemcsak súlyuk miatt lehet nyomás, ugyanis a gázcseppkék rendezetlenül mozognak. Mozgásuk közben egymással és az edény falával egyaránt ütköznek. Ütközéskor a részecskék erőhatást gyakorolnak az edény falára. az ütések együttes állandó nyomóerőt jelentenek a fal minden részére. Erre a későbbiekben még részletesen visszatérünk. Most még maradjunk a folyadékoknál.

## 4. Nyugvó folyadékok, Arkhimédész törvénye

Arkhimédész



(i.e. 287? - 212)

A görög ókor egyik legnagyobb matematikusa és fizikusa. Ifjabb korában megfordult az akkori világ legnagyobb kultúrközpontjában, Alexandriában is. Itt ismerkedett meg Eratoszthenesszel, akivel hazatérte után is levelező kapcsolatot tartott fenn. Tudományos munkásságának eredményeit nagy részben éppen ez a baráti-tudományos levelezés őrizte meg számunkra.

A második pún háború idején a rómaiak Szirakuza városát ostromolták. Arkhimédész a várost két évnél tovább védelmezte gépezeteivel a rómaiakat vezető Marcellus ellen és különösen a római hajóhadnak nagy veszteségeket okozott. Amikor a várost árulás következtében Marcellus seregei bevették, a hadvezér utasítást adott, hogy a nagy ellenfél, a nagy tudós életét kíméljék. Egy római harcos mégis leszúrta a 75 éves tudóst, aki matematikai problémáiban volt elmerülve. Talán felingerelte a katonát azzal, hogy amikor az a homokba rajzolt ábrát összetaposta, Arkhimédész rászólt: "Noli turbare circulos meos!" (Ne zavarj köreimet!)

Marcellus a gyilkost megbüntette, és Arkhimédészt tisztességgel eltemettette, kívánsága szerint sírkövére vésette a hengerbe írt gömb és kúp körvonalait, legkedvesebb tételének ábráját.

A tétel szerint az egyenlő alapú és magasságú kúp, félgömb és henger térfogatainak aránya 1:2:3 .

A következő kísérletsor a folyadékba merülő testekre ható erőt tanulmányozza.

Pistike, most Arkhimédész törvényéről foglak kérdezni - szólítja fel a kis Pistát a tanár:

- Mi történik, ha beülsz egy vízzel teli kádba?
- Megszólal a telefon.

A testek különböző közegekben eltérő módon viselkednek. Egy fadarab, egy parafadugó a levegőben leesik (a földfelszín közelében), a vízben azonban már felemelkedik. Ott "nehéz", itt "könnyű" a gyermeki fogalomalkotás szerint. Tudjuk, hogy a jelenségek a közegek és a testek sűrűségeinek viszonyaival magyarázhatók, s a testre ható erőket vizsgálva az eredő (nehézségi erő – felhajtóerő) iránya valóban lehet függőlegesen lefelé és felfelé mutató.

**1. Mit nevezünk súlyerőnek?**

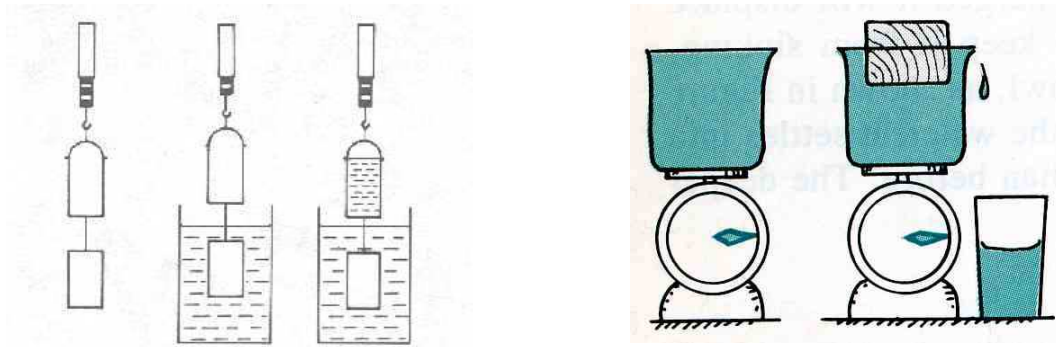
**Mit nevezünk sűrűségnek?**

**2. Arkhimédész törvényének kísérleti meghatározása**

Mechanikai tanulókísérleti készletből a következő eszközökre lesz szükséged:

- Arkhimédészi henger
- Egyenlő térfogatú testek (sárgaréz-, vas-, alumínium-, fahenger)
- Rúgós erőmérő
- Üveg edény

### Mérés menete:



Egy üres és egy abba pontosan beleillő tömör hengerből álló ún. "arkhimédészi hengerpárt" akasszuk rugós erőmérőre!

Jegyezzük fel a súlyát!

Mind a négy különböző anyag esetében tegyük ezt meg!

Majd mérítsük vízbe az alul elhelyezkedő tömör hengert! Ebben az esetben is olvassuk le, hogy mit mutat az erőmérő!

Töltsük fel ezután vízzel a felső üres hengert, ügyelve arra, hogy közben továbbra is csak az alsó tömör henger merüljön a vízbe!

Adatainkat foglaljuk táblázatba!

anyag	A hengerpár súlya ( $N$ )	A vízbe mártott súly ( $N$ )	Az üres henger vízzel telt súlya	Reláció a három adat között
alumínium				
réz				
vas				
fa				

### Feladat:

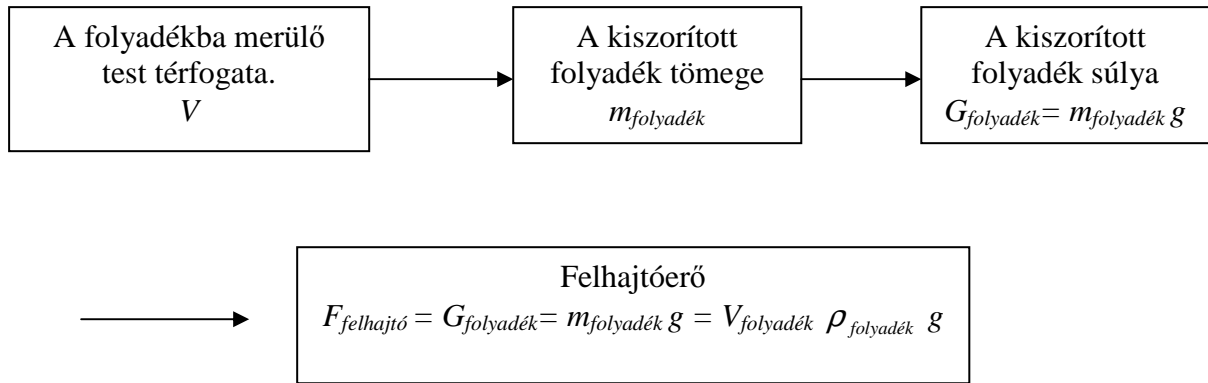
Vonjunk le következtetést arra nézve, hogy mi történik egy folyadékba merített test súlyával!

Mivel egyenlő a testekre ható felhajtó erő?

A táblázat adataival támaszd alá megállapításaidat!

Kísérletünkől most már tudjuk, hogy a folyadékba merített testre ható felhajtóerő egyenlő a test által kiszorított folyadék súlyával. Azonban a felhajtóerőt akkor is meg tudjuk határozni, ha nem ismerjük a test által kiszorított folyadék súlyát, de ismerjük a folyadékba merülő test térfogatát.

A következtetés lépései a következők lehetnek:



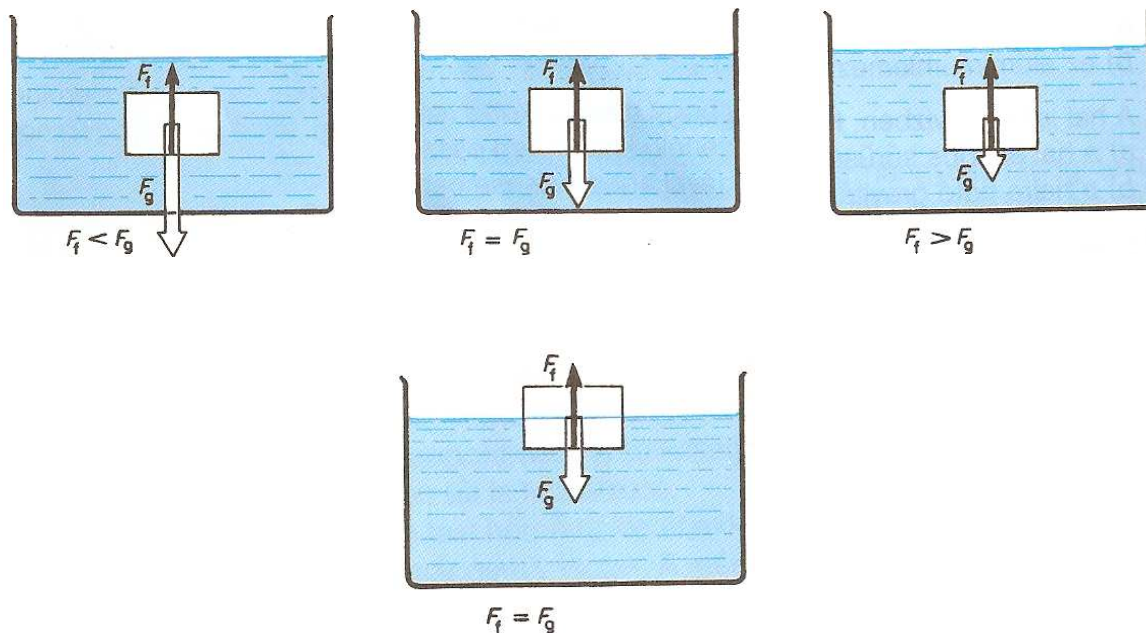
A Földön lévő, nyugvó folyadékba vagy gázba merülő testre mindenféleképpen két erő hat. A nehézségi erő  $G = \rho_{\text{test}} \cdot V_{\text{test}} \cdot g$ , és a felhajtóerő  $F_{\text{felhajtó}} = V_{\text{folyadék}} \rho_{\text{folyadék}} g$ . A két erő ellentétes irányú. Tekintsük pozitívnak a nehézségi erő irányát, akkor a testre ható eredő erő:

$$F_{\text{eredő}} = G - F_{\text{felhajtó}} = \rho_{\text{test}} V_{\text{test}} g - \rho_{\text{folyadék}} V_{\text{test}} g = (\rho_{\text{test}} - \rho_{\text{folyadék}}) V_{\text{test}} g$$

**3. A fenti összefüggés alapján dönts el, hogy mikor merre mutat a testre ható eredő erő!**

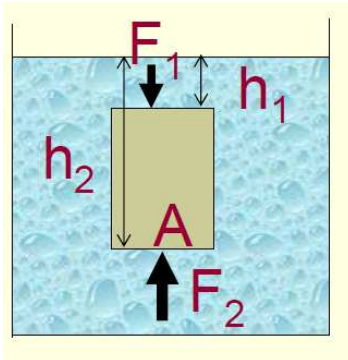
A test és a folyadék sűrűségének viszonya	Eredő erő iránya	Merre mozdul a test?
$\rho_{\text{test}} > \rho_{\text{folyadék}}$		
$\rho_{\text{test}} = \rho_{\text{folyadék}}$		
$\rho_{\text{test}} < \rho_{\text{folyadék}}$		

**4. Mi történik a testtel az alábbi esetekben?**



**Kiegészítés:**

Arkhimédész törvénye a hidrosztatikai nyomás következménye:



$$F_1 = p_1 A = (\rho g h_1) A$$

$$F_2 = p_2 A = (\rho g h_2) A$$

$$F_e = F_2 - F_1 = \rho g (h_2 - h_1) A = \rho V_{\text{bemerülő}} g$$



## 5. A testek úszása, sűrűség meghatározás

Az előzőekben láttuk, hogy a folyadék és a test sűrűségétől függ, hogy milyen irányba mozdul el a test.

**1. Mikor nem mozdul el a folyadékba merített test?**

**Mit mondhatunk ilyenkor a testre ható nehézségi erőről, illetve felhajtóerőről?**

Azt a jelenséget, amikor a testre ható felhajtóerő és nehézségi erő egymással megegyezik **lebegésnek** nevezzük.

Amennyiben az eredő erő felfelé mutat, akkor a test felfelé gyorsul, a felszínre tör és úszni kezd. Az úszó test nem merül el teljesen a folyadékban. A test térfogatának csak annyi része merül a folyadékba, amennyi térfogatnyi folyadék súlya meg egyezik a test súlyával.

$G_{test} = F_{felhajtó}$  de csak a testnek azon részére, amelyik folyadékba merül

$$m_{test} g = m_{kiszorítottfolyadék} g$$

$$\rho_{test} V_{test} g = \rho_{folyadék} V_{bemerült} g$$

$$\rho_{test} V_{test} = \rho_{folyadék} V_{bemerült}$$

$$V_{bemerült} = \frac{\rho_{test}}{\rho_{folyadék}} \cdot V_{test}$$

**2. A fenti összefüggés segítségével old meg az alábbi egyszerű feladatot!**

A víz sűrűsége  $1000 \text{ kg/m}^3$ , a jég sűrűsége  $0^\circ\text{C}$ -on  $920 \text{ kg/m}^3$ . A jéghegy térfogatának hány %-a látszódik ki?

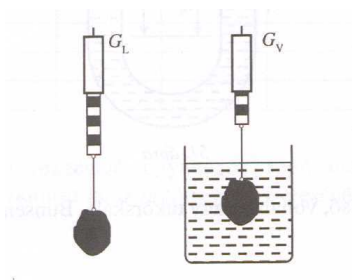
A feladat megoldásával magyarázatot adhatsz a „jéghegy csúcsa” kifejezésre is.

**3. Szilárd test sűrűségének meghatározása**

**Mérés menete:**

A szilárd test sűrűségének meghatározásához függesszük a tetszőleges testet dinamóméterre, és mérjük meg a súlyát!

Merítsük a testet vízbe úgy, hogy a víz a testet teljesen ellepje!



$$\rho_t = \frac{G_L \cdot \rho_v}{G_L - G_v}$$

**Feladat:**

Számítsuk ki a szilárd test sűrűségét!

Ellenőrizd mérésed pontosságát!

Mérd meg a hasáb alakú test oldalainak hosszát, és számítsd ki a térfogatát!

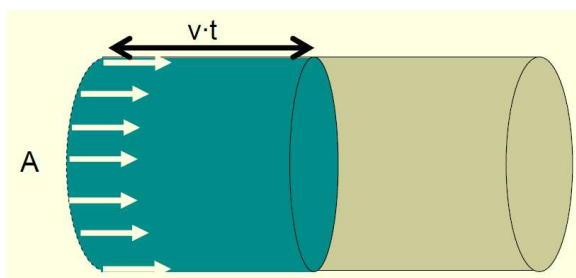


Mérd meg a test súlyát, és számítsd ki a tömegét!

A tömeg és a térfogat ismeretében határozd meg a test sűrűségét!

## 6. Áramlástan

Áramlás akkor jön létre ha a folyadékban vagy a gázban nyomáskülönbség alakul ki. A gázok, folyadékok mozgásának egyszerűbb esete, amikor a folyamat időben állandó, azaz egy adott helyen nem változnak a folyamatot jellemző fizikai mennyiségek az idő múlásával. Az ilyen stacionárius áramlás leírása is könnyebb. A stacionárius áramlás fontos jellemzője, hogy a cső, meder, vagy vezeték egy adott keresztmetszetén egységnyi idő alatt, mennyi folyadék halad keresztül, mekkora az áramerősség. Az áramerősség a térfogat és az idő hányadosa. Ha patak mellett sétálunk, észre lehet venni, hogy ahol összeszűkül a patak medre, a víz gyorsabban, míg a szélesebb szakaszokon lassabban folyik. Fontos, hogy adott helyen a sebesség fordítottan arányos a cső keresztmetszetével. Ez a folytonossági vagy kontinuitási törvény.



A  $t$  idő alatt átfolyó térfogat egy henger térfogata:

$V = \text{alapterület} \cdot \text{magasság} = A \cdot v \cdot t$ , azaz

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Áramló ideális folyadék esetén a keresztmetszet és az áramlási sebesség szorzata állandó:

$A \cdot v = \text{állandó}$

**1. Miért keskenyedik el a vízcsapból kifolyó vízszugár?**



**2. Hol áramlik gyorsabban a vér, az ütőérben vagy a kapillárisban?**

értípus	szám	hossz (cm)	összkeresztmetszet (cm <sup>2</sup> )
aorta	1	40	3
nagyartériák	40	20	6
artériák	2000	5	15
arteriolák	$4 \cdot 10^7$	0,2	130
kapillárisok	$5 \cdot 10^9$	0,1	1500
venulák	$8 \cdot 10^7$	0,2	600
vénák	1200	5	40

Egy svájci tudós, Daniel Bernoulli elméleti úton mutatta ki az összefüggést a sebesség és a nyomáscsökkenés között. A két mennyiség kapcsolata eléggé bonyolult, és bár hasonlít a fordított arányossághoz, nem az. Ez sok érdekes jelenséggel mutatható be. Végezd el az alábbi kísérleteket!

**3/a Égő gyertya mellett egy összetekert papírlapból készült csövön keresztül fújjunk el!**

**3/b Fújj levegőt két egymástól 1-2 cm-re felfüggesztett papírlap közé!**

**3/c. Tölcsérbe helyezz ping-pong labdát! Próbáld meg függőlegesen felfelé kifújni belőle a labdát!**

**3/d. Tartsd függőlegesen lefelé a tölcsért! Ismét helyezd bele a ping-pong labdát, amikor elkezded a tölcsérbe fújni a levegőt enged el a labdát!**

**3/e Hosszú neylon zsákot fújjatok fel kétféleképpen. Először a tüdőtok segítségével, másodszor lengessétek meg a zsákot!**

Előbbi jelenségek magyarázata: Ha megnő a közeg áramlási sebessége, akkor lecsökken a nyomás

$$\text{ha } v_1 < v_2$$

↓

$$p_1 > p_2$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

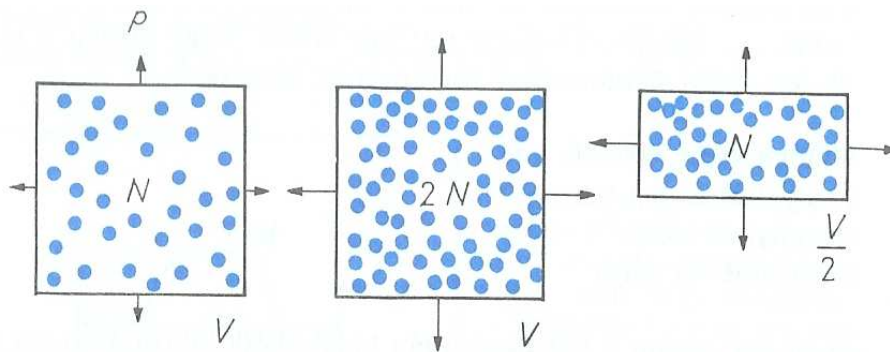
**4. Készítetek kiselőadásokat a Bernoulli egyenlet gyakorlati felhasználásáról, a természetbeni megjelenéséről. (pl: porlasztó, parfümszóró, nagy sebességű közeg szívó hatása: viharban a háztető, biztonsági sáv a metrónál, repülőgépre ható emelő erő)**

## 7. Nyomás és térfogat

### 1. Mi okozhatja a lufi vagy egy labda feszességét?

A gáz nyomását a gázgolyók dörömbölése okozhatja, hiszen amennyiben több golyót juttatok ugyanakkora zárt térbe, ugyanakkora térfogatba, akkor feszesebbnek érzem a lufit, illetve a labdát.

### 2. Az alábbi tartályokban először változtatjuk a golyók számát, majd a tartály méretét? Mekkora nyomást vársz?



Gondolati kísérletünk azt az eredményt adja, hogy a golyók száma és az általuk okozott nyomás között egyenes arányosság áll fenn, míg állandó levegő mennyiség esetén a nyomás és a térfogat között fordított arányosság. Elméleti megfontolásainkat igazoljuk rázógép segítségével!

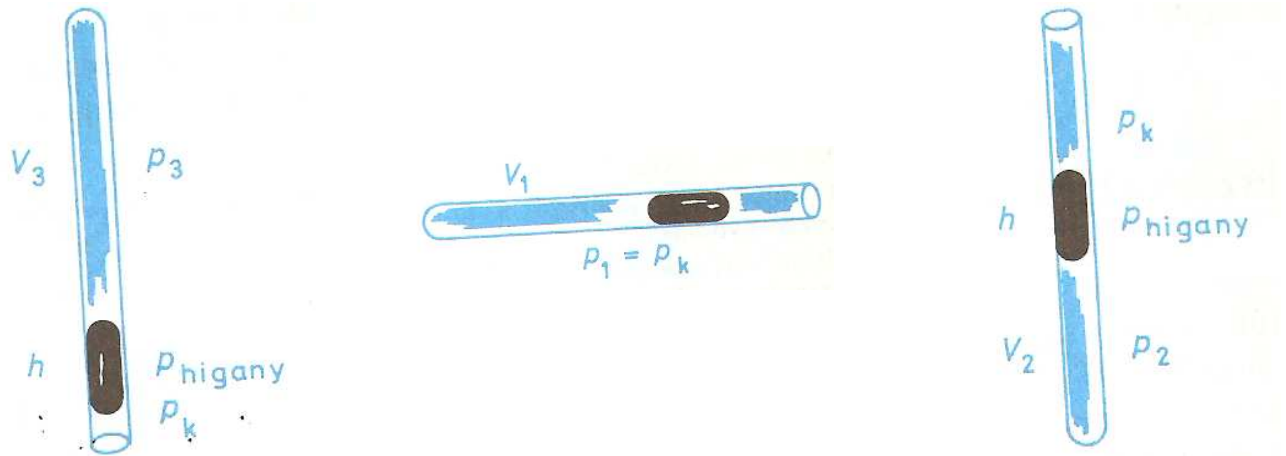
### 3. Rázógépbe helyezünk golyókat! Jelöljük meg, hogy meddig emeli fel a dugattyút! Ezután duplázzuk meg a dugattyú súlyát! Ezt is jelöljük meg!

Általánosítva kijelenthetjük, hogy a bezárt gáz (vagyis állandó golyószám esetén) nyomása fordítottan arányos a térfogattal.

$$pV = \text{állandó}$$

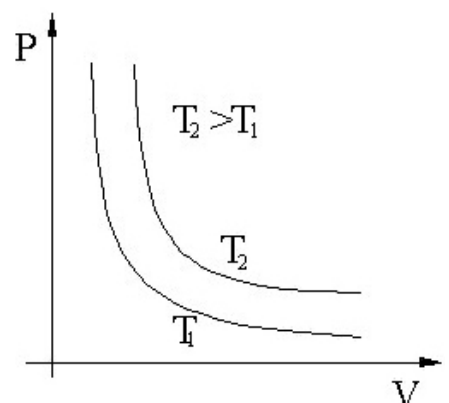
Pontos számításokkal kimutatható, hogy  $pV$  szorzat állandóságához nemcsak az szükséges, hogy a golyók száma ne változzék. Az is kell, hogy egy szabadsági fokra átlagosan ugyanakkora energia jusson.  $pV = 2N\varepsilon_1$ , ahol  $N$  a golyók száma,  $\varepsilon_1$  az egy szabadsági fokra jutó átlagos energia. Hiszen tudjuk, hogy a gáz belső energiája a részecskék mozgási energiájából tevődik össze, és ha ez nagyobb, azaz gyorsabban mozognak akkor többször fognak az edény falával ütközni, azaz nagyobb nyomást fejtenek ki.

4. A kapott eredmény ellenőrzése kísérlettel! Határozzuk meg levegő nyomásának és térfogatának szorzatát!

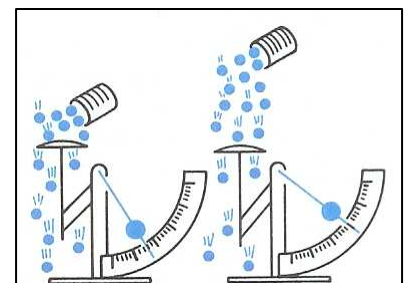
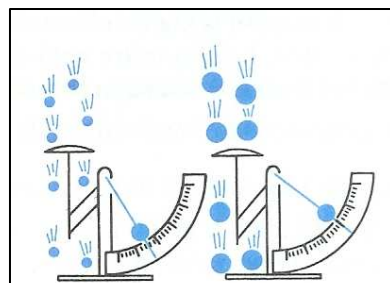
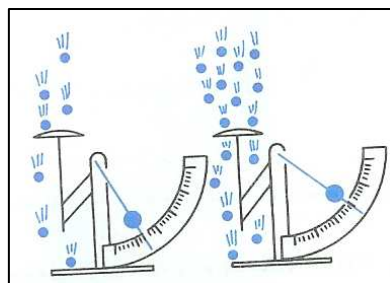


Tehát a modellünk segítségével levont következtetések teljes mértékben összhangban vannak a hétköznapi tapasztalattal. Ezt a törvényszerűséget az 1600-as évek második felében Robert **Boyle** és Edme **Mariotte**, egymástól függetlenül, megközelítőleg egy időben állapította meg. A törvény róluk kapta a **Boyle-Mariotte** nevet. Ez a törvény izoterm, állandó hőmérsékletű állapotváltozásokra igaz. Már most sejtjük, hogy akkor a gáz belsőenergiája és a hőmérséklet között szoros kapcsolatnak kell fennállni.

Adott gázmennyiség nyomása és térfogata úgy változhat csak állandó hőmérséklet esetén, hogy a nyomás és a térfogat szorzata közben állandó marad. A szobahőmérséklettől eltérő hőmérsékleten végzett kísérletek is hasonló eredményre vezetnek. Eltérő eredmény csak igen nagy nyomás esetén jelentkezik, de ritka gázok esetén nagy pontossággal teljesül.



Gáz nyomásának értelmezése a kinetikus gázelmélet segítségével:



$$p \sim N \cdot m_0 \cdot v$$

Látjuk, hogy  $N$  és  $m_0$  állandósága mellett az is szükséges, hogy  $v$  állandó legyen. Pontos számításokkal igazolható, hogy az egy szabadsági fokra jutó energia mennyiség átlagának kell még  $N$  mellett állandónak lennie.

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

$$pV = 2N\varepsilon_1.$$

## 8. Hőmérséklet, hőtágulás

1. Fektesd a Melde – csövet vízszintes asztallapra! Jelöld meg, hogy milyen hosszú a bezárt légoszlop! Ezután lehelgess rá a levegővel töltött csőre! Mit tapasztalsz?

A vízszintes helyzet biztosítja, hogy a bezárt levegő nyomása mindig egyenlő a külső légnyomással, vagyis állandó nyomáson vizsgálom a gáz állapotváltozását. Az ilyen folyamatokat izobár folyamatoknak nevezzük. Sőt kísérletünkben a vizsgált gáz mennyisége is állandó. E kísérleti tapasztalatunkat használjuk fel a hőmérséklet mérésére. Hiszen azt láttuk, hogy ha emelkedik a bezárt gáz hőmérséklete, akkor a gáznak növekszik a térfogata is. Tehát a gáz hőmérséklete és térfogata között egyenes arányosság áll fenn.

Azt pedig tudjuk, hogy amennyiben két mennyiség egyenese arányos, akkor a hányadosuk állandó.

$$V \sim T$$

$$V = \text{állandó} * T$$

Ugyanakkor a múlt órán kapott eredményünk:

$$pV = 2N\varepsilon_1$$

↓

$$V = 2 \frac{N}{p} \varepsilon_1$$

A két eredményt vessük össze:

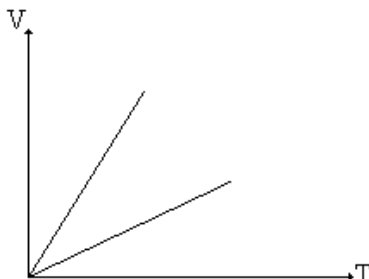
$$V = \text{állandó} * T \text{ és } V = 2 \frac{N}{p} \varepsilon_1$$

Ezek szerint a hőmérséklet szoros összefüggésben áll a rendszertelenül röpködő golyók egy szabadsági fokára átlagosan jutó mozgási energiával, vagyis a makroszkopikusan tapasztalható hőmérsékletemelkedés jelensége mögött a golyók mozgási energiájának növekedése áll. Ez egy nagyon fontos felismerés, hiszen ezáltal modellezni, definiálni tudjuk a hőmérsékletet: *A hőmérséklet nem más, mint az anyagi halmazt felépítő részecskék egy szabadsági fokára jutó energiával arányos mennyiség.*

Ez egyben azt is jelenti, hogy létezik egy **abszolút nulla fok**, amikor a részecskék gyakorlatilag mozdulatlanok. A részecskék állandó ütközésekkel módosítják egymás sebességét is: lefékeződnek, ill. felgyorsulnak. Így egy meghatározott hőmérsékletű anyag molekulái a legkülönbözőbb sebességgel mozognak. Egy adott hőmérsékletre tehát nem az egyes molekulák sebessége jellemző, hanem a részecskék sebességének az átlaga. A levegő részecskéi 480 m/s sebességgel mozognak átlagosan, ez nagyobb, mint a hangsebesség.

A hőmérséklet és az egy szabadsági fokra jutó átlagos energia közötti pontos összefüggés az alábbi:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2} kT, \text{ ahol } k \text{ a Boltzmann – állandó.}$$



A jobb oldali képen látható úr Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850) fogalmazta meg a következő gáztörvényt, amikor állandó nyomás (izobár) mellett vizsgálta a gázok



térfogatát úgy, hogy közben változtatta a gáz hőmérsékletét. A bal oldali grafikon mutatja, hogy egyenes arányosság mutatkozik a hőmérséklet és a térfogat közt, állandó nyomás mellett, abszolút hőmérsékleti skálát használva. A kapott egyenes arányosság azt jelenti, hogy állandó nyomás mellett a gáz térfogata és az abszolút hőmérséklet, azaz  $V/T = \text{állandó}$ . Ha ugyanannak a gáznak két állapotát hasonlítjuk össze azonos nyomások esetén, akkor ezt így

írhatjuk le:  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ . Ezt a törvényt **Gay-Lussac I. törvényének** nevezzük

**2. Tegyé l kockacukrot hideg és meleg vízbe! Melyikben oldódik fel hamarabb? Melyikben mozognak lomhábban és melyikben gyorsabban a halmazt alkotó részecskék?**

### Röviden a hőtágulásról

Hőmérséklet emelkedésével az anyagok tágulnak térfogatuk nagyobb lesz. Ezt láttuk a levegő esetében a Melde – csöves kísérletnél. Kezdjük akkor a gázok hőtágulásával.

**3. Mi történik a sörös üvegbe zárt levegővel, ha melegítjük?**

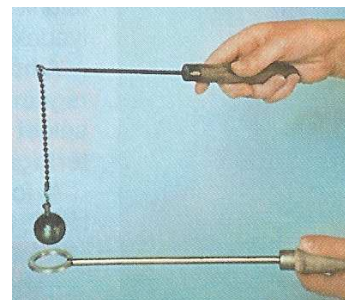


Nilvánvaló, hogy minél nagyobb a hőmérsékletváltozás annál nagyobb a gázok hőtágulása, valamint függ még a gáz eredeti térfogatától is. Érdekes, hogy a gázok hőtágulása nem függ az anyagi minőségtől, azonos körülmények között minden gáz egyenlő mértékben tágul. A mérések szerint, ha 1 °C-kal növeljük a gáz hőmérsékletét, a térfogata 1/273-ad részével nő, azonos külső légnyomás mellett, és hűtéskor ugyanennyivel csökken. Amennyiben nincs lehetőségük tágulásra, azaz zárt térben vannak akkor a bezárt gáz nyomása fog növekedni. A nagy nyomás pedig szétfeszítheti a tárolóedényt.

**4. Miért nem fogsz a nyáron sprayt a tűző napon felejteni?**

A **szilárd testek** hőtágulását a mindennapi életben gyakran figyelembe kell venni. Tudnál erre példákat mondani? (Hidak, sínek, vezetékek, stb.)

**5. Mi történik a képen látható kísérletben?**



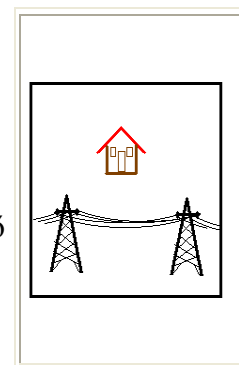
**6. Szerinted miért nincs probléma a vasbetonba szilárdan rögzített vasakkal hőmérsékletváltozáskor?**



A szilárd testek hőtágulása három dologtól függ:

- a hőmérsékletváltozás nagyságától
- a test eredeti méretétől
- anyagi minőségtől

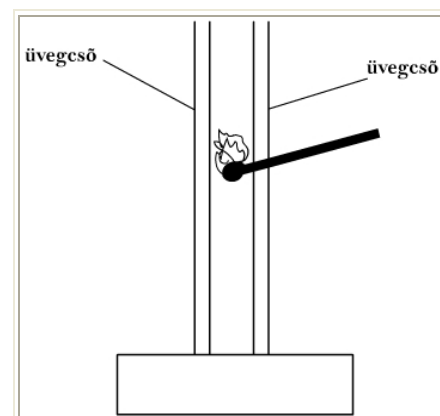
A hőtágulás egyszerűsített magyarázata, hogy hő hatására valójában a rezgő mozgást végző molekulák egy szabadsági fokára jutó átlagos energia nő meg, ezért nagyobb amplitúdójú rezgést végeznek, ami térfogat növekedést eredményez.



*Itt különböző anyagokból készített 1 m hosszú rudak megnyúlási értékeit láthatod 100 Celsius fokos hőmérséklet növekedéskor*

gyémánt	0,1 mm
tégla	0,9 mm
arany	1,4 mm
ólom	2,9 mm
jég	5,1 mm

Két, 30-40 cm hosszú üvegcövet erősítsünk egy deszkalapra. A két cső közé egy égő gyufát tartunk. Az üvegcövek végei eltávolodnak egymástól. Mi a magyarázata?



**7. Válaszolj az alábbi kérdésekre!**

***A beszorult csavaranyát meg lehet lazítani úgy, hogy gyorsan felmelegítjük. Miért?***

***Mit gondolsz, a hordókra az abroncsokat felmelegítve vagy lehűtve húzzák fel?***

***Miért károsítja a fogzománcot a hideg ital vagy a forró étel?***

***Egy alumínium és egy rézlemez szegecselünk össze. Az így kapott ikerfém***

***(bimetálszalagot) melegítjük. Milyen irányban hajlik el az ikerfém? Hol találkozhatasz ilyennel a mindennapi életben?***

### **A folyadékok hőtágulása**

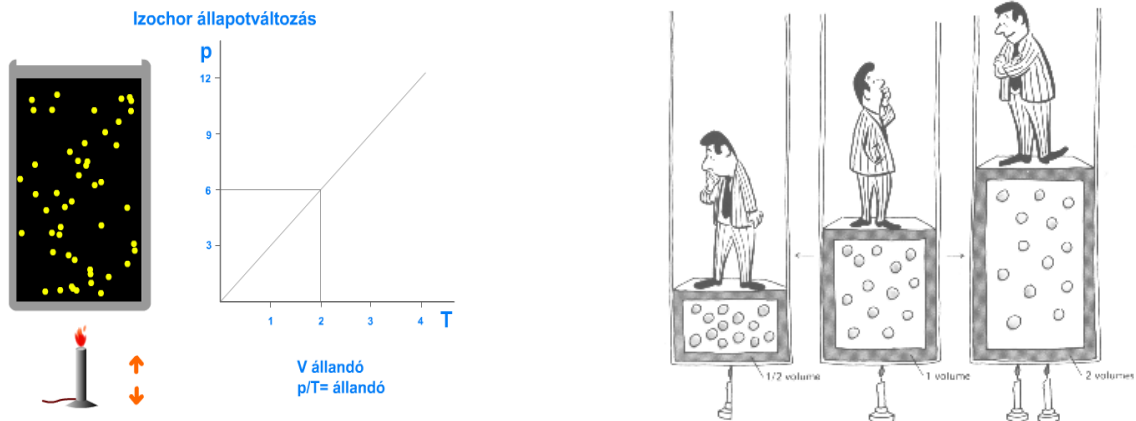
A folyadékok hőtágulására is érvényesek a fenti megállapítások, azaz, pl. anyagi minőségtől, ill. az eredeti térfogattól függő. Ezen az elven alapulnak a folyadékos hőmérők, amikben lehet pl. higany, petróleum, vagy alkohol, amiket a felhasználási területnek megfelelően alkalmazunk, ezért alkalmaznak a hideg övben borszeszes hőmérőket, mert a higany  $-30^{\circ}\text{C}$  alatt megfagyana.



## 9. További gáztörvények

Már ismerjük a Boyle-Mariotte törvényt és Gay-Lussac I. törvényét. A további gáztörvények megfogalmazásában Verne Gyula Öt hét léghajón című könyvének hősei segítenek. **Gay-Lussac II. törvénye** azt vizsgálja, hogyan változik a gáz nyomása a hőmérséklet függvényében, ha a gáz térfogata állandó, azaz izochor állapotváltozást nézünk.

**1. Rajzolj egy kísérleti elrendezést, amely a fenti törvényt támasztja alá, és a következőkből áll: borszeszegő, vasháromláb, azbesztháló, rajta főzőpohárban, vízben zárt lombik, összekötve nyomásmérővel!**



Louis Joseph Gay-Lussac léghajójával a magaslégkör kémiai összetételét, valamint a Föld mágneses tulajdonságát vizsgálta, amikor ezt a felfedezést tette. Majdnem áldozatul esett ennek a kísérletnek a ritka légkör miatt (7019 m). A tisztesség kedvéért meg kell jegyeznünk, hogy tudomásunk szerint ezt a Gay-Lussac-nak tulajdonított törvényt előtte már ketten felfedezték: Jacques Alexandre Charles (1746-1823) francia fizikus és John Dalton (1766-1844) angol vegyész. Ezért pl. az angol nyelvű országokban ezeket a törvényeket Charles törvényeknek nevezik.

A gázok állapotát tehát bizonyos esetekben már egzaktul le tudjuk írni a nyomás, a térfogat és a hőmérséklet segítségével. Éppen ezért, ezeket a fizikai mennyiségeket állapotjelzőknek nevezzük. Az előbb megfogalmazott törvényeket egyesíthetjük egyetlen kifejezésbe is.

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad \text{vagyis} \quad \frac{pV}{T} = \text{állandó}$$

Ez az egyesített gáztörvény, mely magába foglalja G.L.I. törvényét, G.L.II. törvényét és B.M. törvényt egyaránt.

**2. Hideg és meleg téglát érintsünk egymáshoz, mi történik?  
Hideg és meleg levegő keveredését engedjük meg! Mi történik?**

Egy idő után a környezetétől elzárt anyaghalmazban nem lesz külön meleg és hideg levegő, hanem egyféle langyos levegő lesz. Azaz a hőmérséklet alkalmas az egyensúlyi állapotba jutott halmaz jellemzésére. A hőmérséklet fogalmának tisztázásakor megállapítottuk, hogy

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2} kT, \quad \text{ugyanakkor} \quad pV = 2\varepsilon_1 N$$

$$pV = NkT$$

Ez az általános gáztörvény, mely az egyensúlyban lévő gáz nyomása, térfogata és hőmérséklete közötti kapcsolatot fejezi ki.

**3. A léghajós két palackot cipel. Egyikben hidrogén, másikban oxigén van. A két palack azonos térfogatú, azonos hőmérsékletű. A rájuk szerelt nyomásmérő szerint mindkét palackban  $2 \cdot 10^5$  Pa a nyomás. Az egyik mégis lényegesen nehezebb, mint a másik. Hogy lehet ez?**

Megoldás:

$p, V, T$  azonos

Ez csak úgy lehet, hogy a gázmolekulák száma is azonos, mivel  $pV = NkT$ .

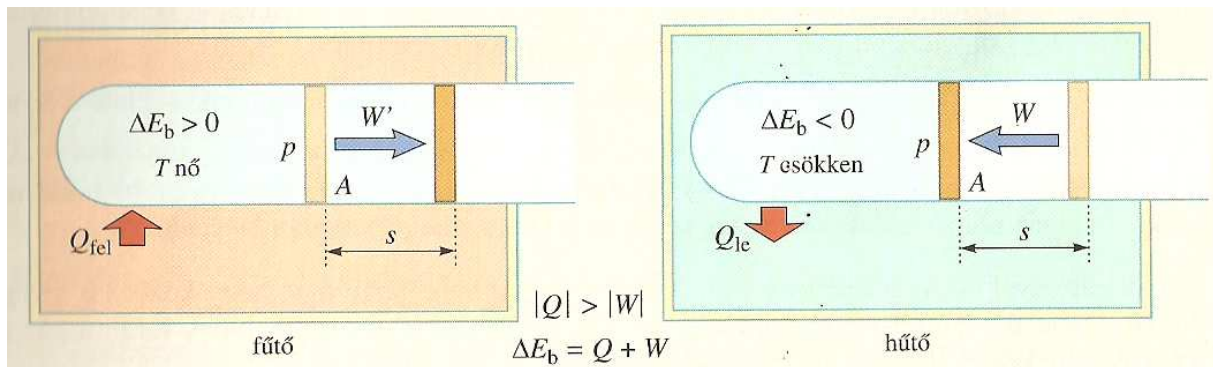
A tömeg különbségből arra következtetünk, hogy a hidrogénmolekulák tömege más, mint az oxigénmolekuláké. Azonban ebben a feladatban meghúzódik egy híres törvény, még hozzá Avogadroé, mely szerint ha két gáz térfogata, hőmérséklete és nyomása is megegyezik, akkor a két gázmennyiségben azonos számú golyó van.

**4. Határozzuk meg, hány részecske van abban az oxigén gázban, amelyiknek nyomása  $10^5$  Pa, térfogata  $1 \text{ m}^3$  és hőmérséklete  $27^\circ \text{C}$ ?**

## 10. A gázok állapotváltozásainak energetikai vizsgálata

A gázok állapotváltozása, amikor is az állapot jelzőiben változás áll be, mindig más testekkel való kölcsönhatás révén jön létre. Ez a kölcsönhatás lehet termikus, amikor is hőközlés, vagy hőelvonás lép fel a gáz és környezete között. A gázok tágulásakor és összenyomásakor pedig mechanikai kölcsönhatás jön létre. Mindkét kölcsönhatás során energiacsere valósul meg, melynek során a gáz belső energiája növekszik, csökken vagy állandó marad. Nézzük sorra a speciális állapotváltozások energetikaiviszonyait! az első főtétel alapján!

1. Az ábrák alapján próbáld meg értelmezni, hogy izobár állapotváltozásnál mire fordítódhat a gázzal közölt hő!



Melegítéskor a gáz tágul, vagyis munkát végez, hűtéskor a külső környezet végez a gázon munkát. A végzett munka kiszámítható a munka definíciója segítségével.

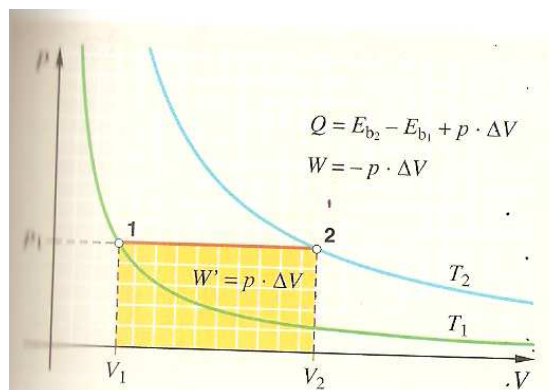
$$W = F \cdot s = p \cdot A \cdot s = p \cdot \Delta V$$

Izobár állapotváltozás energiaviszonyaira a következő állítások igazak:

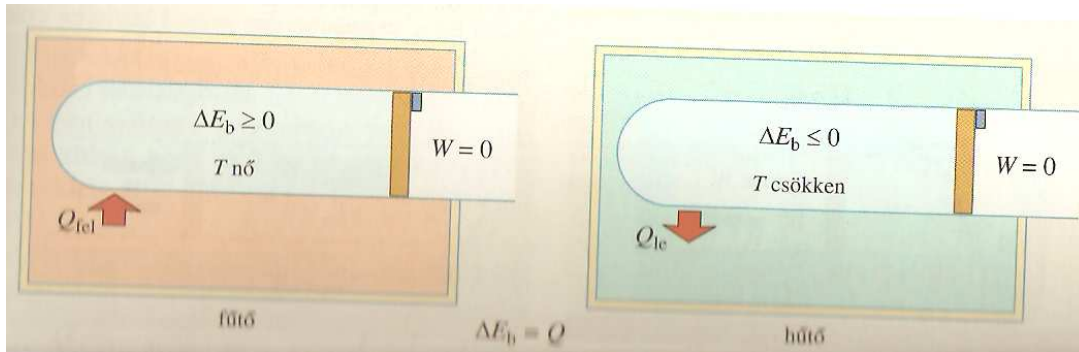
- egyidejűleg van termikus és mechanikai kölcsönhatás
- a kétfajta kölcsönhatás során az energiacsere iránya mindig ellentétes, azaz ha termikus úton energiát kap, akkor tágulási munkavégzéssel energiát ad le.
- a termikus úton történő energiacsere nagysága mindig nagyobb a mechanikai energiacsere nagyságánál => melegítéskor a gáz belső energiája nő, hűtéskor csökken.

$$\Delta E_b = Q - p \Delta V$$

2. Elemezd az alábbi grafikont! Minek feleltethető meg a gáz által illetve a gázon végzett munka?

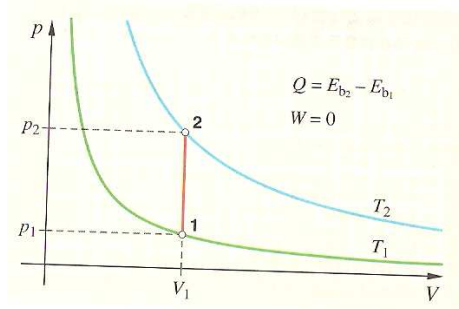


3. Az ábrák alapján próbáld meg értelmezni, hogy izochor állapotváltozásnál mire fordítódhat a gázzal közölt hő!

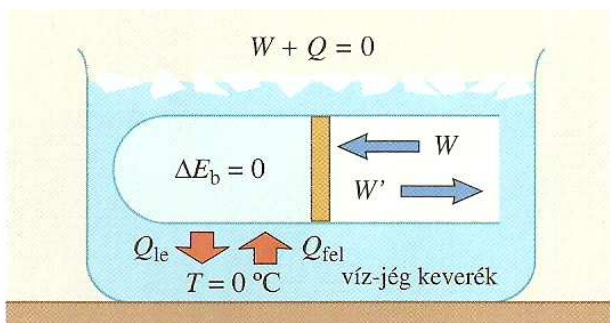


A gáz állapota csak hűtéssel vagy melegítéssel változhat. Mivel térfogata állandó nincs lehetőség mechanikai kölcsönhatásra, így munkavégzés sem jön létre a gáz és külső környezete között. Csak termikus úton történő energiacsere jön létre, vagyis a felvett illetve leadott hő a gáz belső energiáját változtatja meg.

4. Elemezd az alábbi grafikont!



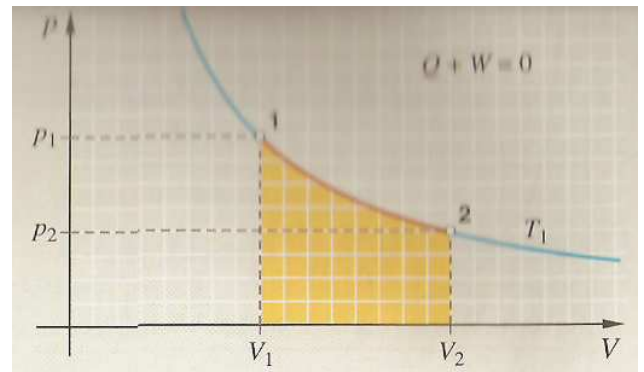
5. Az ábra alapján próbáld meg értelmezni, hogy izoterm állapotváltozásnál mire fordítódhat a gázzal közölt hő!



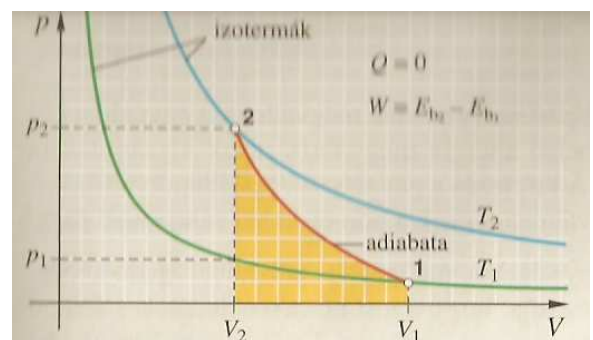
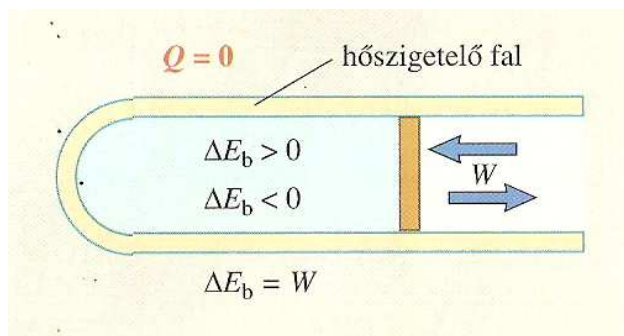
Izoterm folyamat során a gáz hőmérséklete, így a gáz belső energiája állandó. Vagyis:

- a gáz és környezete között kétfajta energiacsere jön létre
- gáz összenyomásakor a gázon végzett munkát a környezetének leadott hővel kompenzálja
- a táguláskor végzett munkát a környezetétől felvett hővel kompenzálja
- a kettő mindenesetben ellentétes irányú, és az energiváltozások előjeles összege nulla

6. Elemezd az alábbi grafikont!



7. Az ábra alapján próbáld meg értelmezni az adiabatikus állapotváltozást!



Ha nincs hőcsere, akkor a gázon végzett teljes munka a gáz belső energiájának növelésére fordítódik, ezért összenyomáskor felmelegszik, illetve fordítva.

## 11. Hőtani ismeretek gyakorlati alkalmazása

### Hőerőgépek

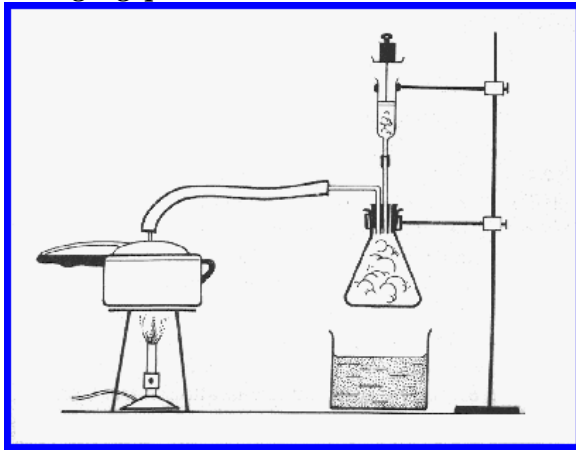
Az olyan gépeket, amelyek hőfelvétellel mechanikai munkát képesek végezni, hőerőgépeknek nevezzük.

#### 1. Nézzetek utána, hogy milyen módon működnek az alábbi hőerőgépek.

- gőzgép működése
- belső égésű motorok (kétütemű, négyütemű)
- gőz- és gázturbinák

A gőzgépeknél a gőzkazánban előállított gőzt a munkahengerbe vezetik, ahol a gáz kitágul és ennek során mechanikai munkát végez, közben természetesen lehűl.

#### 2. A gőzgép működését ismertető modellkísérlet.



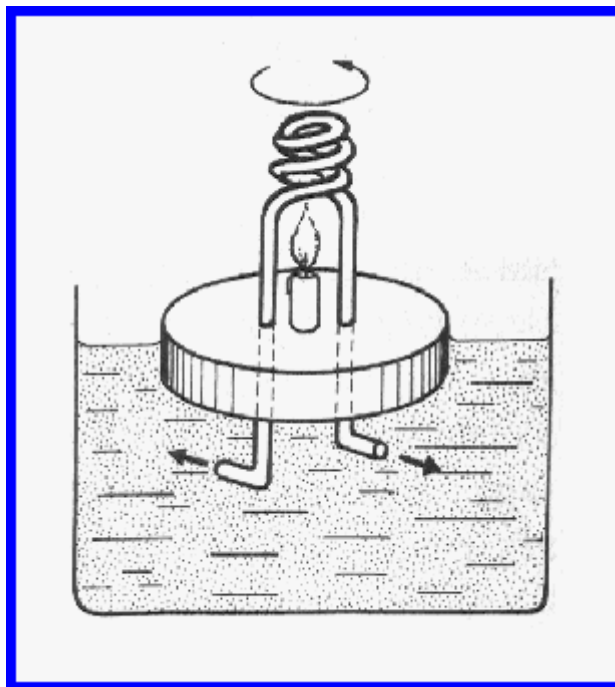
Egy Erlenmeyer-lombikot zárjunk le egy három furatot tartalmazó dugóval! A dugó egyik furatába egy derékszögben meghajlított üvegcső illeszkedik, amit gumicsővel csatlakoztatunk a gőzfejlesztőre. Gőzfejlesztőként olyan konyhai "kuktafazekat" alkalmazhatunk, amelynek szelepharangját levettük, és a tetőn lévő csöcsönkra gumicsövet húztunk. A lombik második furatába rövid, egyenes üvegcső van. A harmadik furatot egy megfelelő kicsiny dugó zárja, ez a "gőzgépünk" biztonsági szelepe. Rögzítsük a lombikot egy Bunsen-állványra olyan magasan, hogy aláférjen egy hidegvizes edény, amibe a lombik belemeríthető! Fogjunk be az állványra, a lombik fölé egy nagyméretű, jól záró, de könnyen mozgó dugattyúval rendelkező orvosi fecskendő, és kössük össze a fecskendő nyílását és a lombik dugóján átvezetett egyenes üvegcsövet egy rövid gumicsővel! A kísérlet megkezdésekor tegyük szabaddá az Erlenmeyer-lombikot lezáró dugóba fúrt harmadik lyukat, majd a kuktafazékban forraljunk vizet! Amikor a gőz a lombikba jut, zárjuk le ismét a dugón lévő szabad nyílást, amelyen keresztül eddig szabadon távozhatott a felmelegedett levegő! A lombikba áramló gőz nyomása megemeli a csatlakozó fecskendő dugattyúját. Ha a dugattyú tetejére kis súlytányért rögzítünk, és ebbe néhány kis súlyt helyezünk, érzékeltethetjük, hogy a gőz "hasznos" munkát végez. További munkavégzésre a "gőzgép" csak akkor képes, ha a dugattyú ismét alsó helyzetbe kerül. Ezt azzal érhetjük el, hogy a lombik alá helyezett hideg vizes edényt felemelve, a lombikot belemerítjük a vízbe, és ezzel a gőzt lehűtjük, kondenzáltatjuk. Amint a dugattyú visszasüllyedt, elvesszük a hideg vizes edényt, mire a csövön beáramló gőz nyomása ismét felemeli a dugattyút. Egy kis gyakorlattal elérhetjük, hogy a dugattyú szinte folyamatosan fel-le mozogjon. A kísérlet jól érzékelteti a gőzgép legfontosabb részeinek (gőzkazán, dugattyús munkahenger, kondenzátor) szerepét.



Figyeljük meg, hogy a "gép" működése során a lombikot hűtő víz melegszik. Ez mutatja, hogy a hőerőgépek működése során a felvett hő nem alakul teljes mértékben munkává.

### 3. Gőzforgó készítése

Vastagabb, széles parafa korongot a gőz folyamatosan körbe forgatja. Itt a gőz fejlesztésére szolgáló tartály hiányzik, azt a vékony fémcsőből hajlított néhány spirálmenet helyettesíti. A cső a korong középpontjára nézve szimmetrikusan fűrt lyukakon van keresztülvezetve, és a két csővég az egymással ellentétes irányban ki van hajlítva. Szívjuk tele az eszköz csövét vízzel, helyezzük az eszközt egy nagyobb fazékba öntött víz felszínére, és gyújtjuk meg a gyertyát a csőspirál alatt. A pontosan kiegyensúlyozott gőzforgó egyhelyben forog, ha az eszköz nem teljesen szimmetrikus, a forgás során helyét is megváltoztatja, és előbb-utóbb a fazék falának sodródva megáll.



Melegítsük a folyamatosan működő gőzforgó alatti fazekat gázlánggal! Minél jobban felmelegszik a fazékban lévő víz, annál inkább csökken a forgás sebessége. A 100 °C-ot megközelítve a forgás leáll, bizonyítva ezzel, hogy hőerőgépek folyamatos működéséhez egy melegebb és egy hidegebb hőtartályra van szükség.

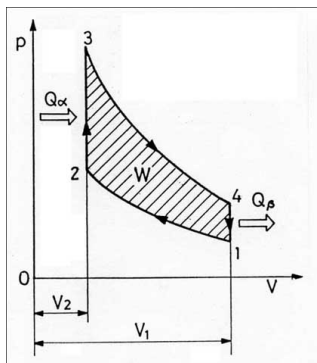
Gépkocsijaink legelterjedtebb hőerőgépe. Belső égésű, szikra gyújtásos motor, amiben az üzemanyag-levegő keveréket sűrítés útján elektromos szikra gyújtja meg.

Nevét Nikolaus Otto német mérnökről, a feltalálójáról kapta.

A motorban lejátszódó folyamatok leírása akkor válik lehetségessé, ha bizonyos egyszerűsítő feltételezésekkel élünk. Ezek a feltevések a következők:

- a hengerben lévő gáz tömege és összetétele az egész folyamat során változatlan,
- a belső égés során történő hőközlést kívülről történő hőközléssel helyettesítjük,
- a kipufogást és a friss levegő vagy keverék bevezetést az egyébként változatlan hengertöltet lehűtésével tehát hőelvonással helyettesítjük,
- a munkaközéget ideális gáznak és fajhőjét állandónak tekintjük,
- a rés- és súrlódási veszteségektől eltekintünk.

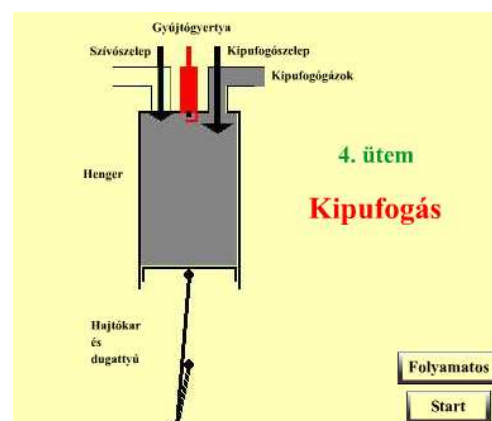
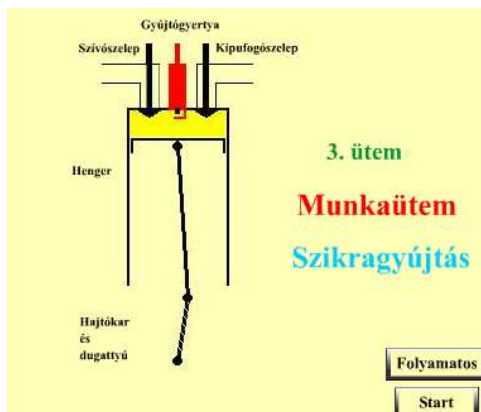
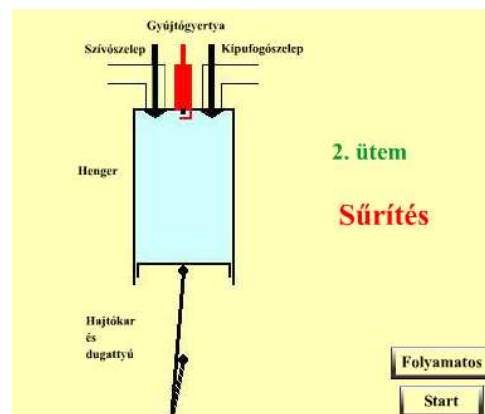
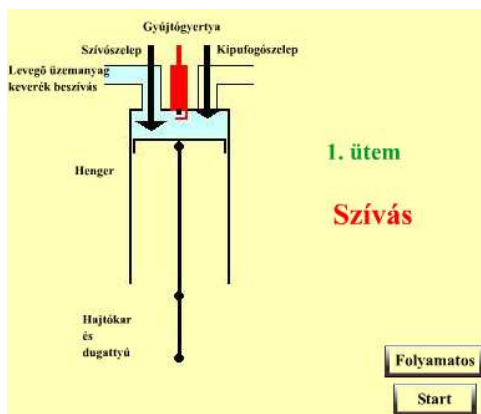
Az Otto- vagy szikragyújtású motorok ily módon eszményiesített körfolyamata során a hőbevezetés, illetve a hőelvonás izochor állapotváltozások során történik, amelyeket egy adiabatikus kompresszió és expanzió kapcsol össze.



Tehát a robbanómotorok a tüzelőrendszerben rejlő hőenergiát mechanikai munkává alakítják át, mert zárt térben meggyújtjuk /gyújtógyertya/ és nyomás keletkezik. Azért nevezzük belsőégésűnek mert a robbanás a henger belsejében, zárt térben keletkezik. Robbanás, a benzin a levegő oxigénjével egyesülve, keveredve alig pár ezred másodperc alatt robbanásszerűen ég el. A robbanástól a megnövekedett nyomás a hengerben a dugattyút tovalöki. A dugattyú egyenes vonalú mozgását forgó mozgássá alakítják és az erőátviteli részekeken keresztül hajtják meg a kereket.

#### 4. Párosítsd az alábbi képeket a megadott mondatokkal!

- A keletkezett égésgázok a kipufogón távoznak
- Levegő-üzemanyag keverék beszívása a hengerbe.
- A beszívott keveréket a dugattyú összenyomja.
- A összenyomott levegő-üzemanyag keveréket elektromos szikra gyújtja.





A dízelmotor belső égésű, a dízelciklus alapján működő motor, ami az üzemanyag-levegő keveréket sűrítés útján gyulladáspontjáig felmelegítve gyújtja meg. Tehát egy kompressziós gyújtású motor. A motor működésének ütemei a következők:

**1. ütem - szívás**

Levegő beszívása a hengerbe

**2. ütem - sűrítés**

A beszívott levegő erősen felmelegszik összenyomva

**3. ütem - munkaütem**

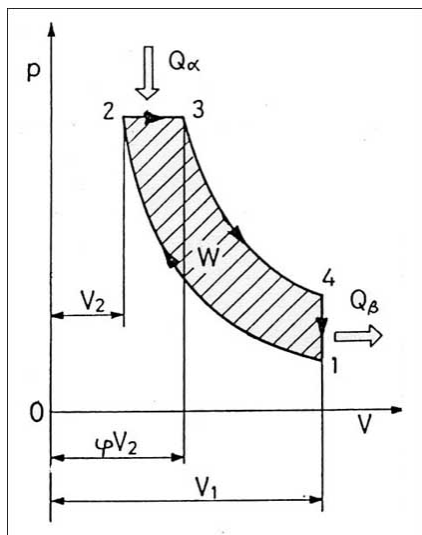
A felmelegedett levegőbe fecskendezett üzemanyag meggyullad

**4. ütem - kipufogás**

A keletkezett égésgázok a kipufogón távoznak

**5. Rajzold le az Otto-motor mintájára a dízelmotor működésének fázisait!**

Ez a körfolyamat az Otto-körfolyamattól csupán a hőközlés módjában tér el. A Diesel körfolyamatba ugyanis egy izobár állapotváltozás során történik a hőközlés, hiszen a dízelmotorok levegőt szívnak be és sűrítenek olyan nagy nyomásra, hogy a sűrítés során felmelegedett levegőbe beporlasztott gázolaj öngyulladása indítja meg az égést, a hőfelszabadulás tehát jó közelítéssel izobár hőközlésnek felel meg.



**6. Mi a hasonlóság és mi a különbség a két motorfajta között?**

Az Otto-motorok a szívóütem alatt tüzelőanyag-levegő keveréket szívnak be a hengertérbe. A keverék általában a hengeren kívül, képződik. A keveréket a motor összesűríti, majd – megfelelő időpontban – egy villamos gyújtószikra meggyújtja. A dízelmotorok a szívóütemben tiszta levegőt szívnak be és azt sűrítik. Az égéstérben összesűrített és felmelegedett levegőbe az üzemanyagot a nagy nyomással működő befecskendező rendszer porlasztva juttatja be. A tüzelőanyag-levegő keveréket a sűrítés folytán keletkező hő gyújtja meg.

A belső égésű motorokat aszerint is csoportosíthatjuk, hogy egy teljes munkafolyamat (szívás-sűrítés- terjeszkedés- kipufogás) hány ütemben, vagyis hány dugattyúlöket alatt valósul meg, a belső égésű motorokat négyütemű és kétütemű motorokként különböztetjük meg. A négyütemű motorban egy teljes munkafolyamat elvégzéséhez négy ütem szükséges:- szívás-sűrítés-terjeszkedés-kipufogás. Ez a dugattyú négy lökete alatt játszódik le. Ez idő alatt a forgattyústengely /főtengely/ két fordulatot tesz. A töltés (gázcsere) a vezérmű által működtetett szelepeken keresztül jön létre.

A kétüteműeknél egy munkafolyamat két ütem alatt történik : szívás és sűrítés valamint terjeszkedés és kipufogás . A két ütem alatt a forgattyústengely /főtengely/ csak egy fordulatot tesz meg.

A kétüteműeknél minden főtengely fordulatra egy robbanás jut , vagyis egy hasznos ütem, a gáz ki és beáramlását a dugattyú vezérli, ezért nincs szükség szelepekre. A henger falán nyílások vannak / szívó és kipufogó /, amiket a dugattyú mozgása közben nyit vagy zár, azaz a szelepek munkáját is elvégzi. Ezeknél a motoroknál csak kompressziógyűrűket alkalmaznak, ott ugyanis a forgattyúsházból nem juthat tisztán kenőolaj a hengertérbe, mert az üzemanyagba bekeverve juttatjuk a kenőolajat a hengerbe. Sajnos minden kétütemű motor több-kevesebb el nem égetett keveréket / üzemanyagot/ ereget ki kipufogócsövén, ennél fogva fogyasztása / arányaiban / kedvezőtlenebb, mint a négyütemű testvéréjé, valamint környezetszennyezése kimutathatóan sokszorosa annak.

#### **Az a bizonyos két ütem :**

1. A dugattyú az alsó holtpontról felfelé halad, bezárja az átömlő és kipuffogónyílást , és kinyitja a szívónyílást. A dugó alatt a forgattyúsházban szívás, a dugó felett a hengerben pedig sűrítés jön létre.
2. A dugattyú a felső holtpontról már lefelé mozog, a hengerben terjeszkedés történik, lent a forgattyúsházban a dugó elzárja a szívónyílást , és elkezdődik a sűrítés /előszívás/. A dugó közel az alsó holtponthoz kinyitja a kipuffogónyílást és az átömlőnyílást , és a friss üzemanyag / keverék / feljön a dugattyú fölé , az elégett gáz helyére .

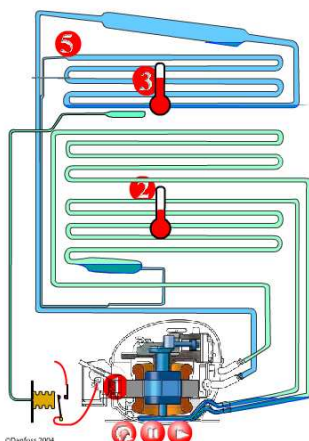
A gőz- és gázturbináknál nagy sebességgel áramló forró gőzt vagy elégett gáz égéstermékeit közvetlenül rávezetik a turbinalapátokra. Így a turbina forgásba jön, és ezáltal mechanikai munkát képes végezni.

#### **7. Hol használnak leggyakrabban turbinákat?**

#### **8. Mi az a sugárhajtómű?**

#### **9. Az alábbi honlapon a hűtőgépről és annak működéséről találsz animációt és leírást!**

<http://www.danfoss.com/Hungary/BusinessAreas/Refrigeration+and+Air+Conditioning/EducationAndTraining/The+Fridge.htm>



Fontos megjegyezni, hogy a hidegebb helyről a II. főtétel értelmében csak külső munkavégzés árán tudunk hőt elvonni. Tehát a hűtőgép működéséhez mindig energiabefektetésre van szükség. Ezt a munkát általában egy kompresszor végzi, amely a légnemű halmazállapotban lévő hűtőközeget adiabatikusan összesűríti. Az így felmelegített közeg a hátsó bordákon keresztül lehűl, miközben a környezetnek hőt ad le. Közben cseppfolyósodik. A cseppfolyós hűtőközeg a hűtőtérbe jutva gyorsan elpárolog, s eközben hőt von el, megvalósítja a hűtést. Régebben freont alkalmaztak hűtőközengként., ma már más gázokkal pl. izobutánnal helyettesítik.

#### ***10. Milyen környezetkárosító hatását ismered a freon gáznak?***

**Hőszivattyúk** olyan berendezések, amelyek elektromos energia felhasználása révén a külső, hidegebb környezetből hőt visznek át a belső, melegebb környezetbe. A hőszivattyú elvileg olyan hűtőgép, melynél nem a hideg oldalon elvont, hanem a meleg oldalon leadott hőt hasznosítják. Minden olyan fizikai elv alapján készülnek hőszivattyúk, melyeket a hűtőgépeknél is használnak. Leggyakoribbak a gőzkompressziós elven működő berendezések. A hőszivattyúk fordított üzemmódban is működnek, ekkor a melegebb hely hűtésére is használhatók. A hőszivattyúk fordított üzemmódban működtetett hőerőgépek is felfoghatók.

A hőerőgépeket hatásfokúkkal jellemezzük, a hűtőgépeket, hőszivattyúkat a jósági tényezővel. A hőtan II. főtétele szerint a felvett hőt nem lehet teljes egészében mechanikai energiává alakítani, annak csak egy része hasznosítható. A hőerőgépek hatásfokán ezt a hányadot értjük.

#### ***11. Nézz utána, hogy mi a szerepük a hőerőművek hűtőtornyainak!***

A hűtőgépek jósági tényezője megmutatja, hogy a hidegebb részből felvett hőmennyiség hányszorosa a befektetett, elektromos energiából nyert munkának. A jósági tényező értéke 1-nél nagyobb., míg a hatásfok 1-nél kisebb.

## 12. Gázok fajhője

Korábban - 7.évfolyamon – már megismerkedtünk a fajhő fogalmával.

### 1. Ismétlés

*Mit mutat meg a fajhő?*

*Mi a mértékegysége?*

*Milyen közelítéssel élünk az epocha elején alkotott modell esetében? A halmazt felépítő részecskék közti kölcsönhatásról mit állítottunk?*

Tehát a gáz energiája az őt felépítő részecskék energiájának, pontosabban mozgási energiájának összege. Az ekvipartíció tételéből tudjuk, hogy egyirányú haladómozgásra  $\frac{1}{2}kT$  energia jut. A részecskék azonban három irányba tudnak mozogni, így egy részecske átlagos energiája:

$$\varepsilon = \left( \frac{1}{2} m_o v_x^2 + \frac{1}{2} m_o v_y^2 + \frac{1}{2} m_o v_z^2 \right)_{\text{átlag}} = \frac{3}{2} kT$$

N részecskét – golyót – tartalmazó gáz energiája:  $E = N\varepsilon = \frac{3}{2} NkT$

A gáz energiája a részecskék számán kívül csak a gáz hőmérsékletétől függ, az abszolút hőmérséklettel egyenesen arányos. Ebből látható, ha a gázzal energiát közlünk, akkor a gáz hőmérséklete nő.

Tudjuk, hogy egy gáz energiáját munkavégzés és hőközlés révén egyaránt meg tudjuk változtatni.

### 2. Mi történik a napon felejtett kerékpumpában lévő gázzal? Hogyan értelmeznéd a golyómodell alapján a jelenséget?

A rendezetlen mozgással történő energiaátadást hőközlésnek nevezzük. Az energiközlés fent említett megkülönböztetése – munkavégzés és hőközlés – akkor indokolt, amikor az anyaghalmaz és környezete sok darabkából összetett, azaz a halmaz szabadság fokainak száma nagy.

### 3. Mint mond ki az I. főtétel?

$$\Delta E = Q + W$$

Vizsgálódásunkat kezdjük azzal az esettel, amikor a gáz térfogata állandó. A tartály egyik oldalfala sem mozdulhat el => nem történhet munkavégzés. Így a gáz energiája csak hőközléssel változhat meg:

$$\Delta E = Q$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{3}{2} NkT_2 - \frac{3}{2} NkT_1 = \frac{3}{2} Nk\Delta T$$

⇓

$$Q = \frac{3}{2} Nk\Delta T \Rightarrow \frac{Q}{\Delta T} = \frac{3}{2} Nk = \text{állandó} = C$$

A C arról tájékoztat, hogy a vizsgált gázmennyiség melegítése, mennyire energiaigényes. Amelyik gázmennyiség 1 K-nel történő melegítéséhez több hő szükséges, arról azt mondjuk, hogy nagyobb a hőkapacitása.

#### 4. Mitől függ a hőkapacitás értéke?

#### 5. Számold ki 1 mol hélium és 1 mol neon gáz hőkapacitását! Milyen következtetést vonhatsz le ideális gázok esetén a hőkapacitásról?

A hőkapacitás arányos a golyók számával, ezért arányos a gáz tömegével is, hiszen  $m = Nm_o$ .

$$C = \frac{3}{2} Nk = \frac{3}{2} \frac{m}{m_o} k$$

⇓

$$\frac{C}{m} = \frac{3}{2} \frac{1}{m_o} k = \text{állandó} = c$$

Ez az állandó már az anyagminőséget is magában hordozza. Amelyik gáz 1 kg-jának nagyobb a hőkapacitása, arról azt mondjuk, nagyobb a fajlagos hőbefogadó képessége, röviden fajhője. Ez a definíció teljesen összhangban van a korábban tanultakkal, hiszen számértéke ugyanazt mutatja meg. Mivel a vizsgált állapotváltozás állandó térfogaton ment végbe, ezért az állandó térfogathoz tartozó fajhőt illetve hőkapacitást kaptuk. A folyamat minőségét egy V indexszel jelöljük.

$$Q = C_V \Delta T = c_V m \Delta T$$

#### 6. Könnyen mozgó dugattyúval elzárt gázt melegítünk mi történik és miért?

Alkalmazzuk az I. főtételt!

$$\Delta E = Q + W$$

$$Q = \Delta E - W \Rightarrow Q = \Delta E - (-p\Delta V) = \Delta E + p\Delta V$$

$$W = -p\Delta V$$

Ugyanakkor azt is tudjuk, hogy  $pV = NkT \Rightarrow p\Delta V = Nk\Delta T$  Ezt alkalmazzuk!

$$Q = \Delta E + p\Delta V = \Delta E + Nk\Delta T$$

Az állandó térfogathoz tartozó hőkapacitás és fajhő analógiájára bevezethetjük az állandó nyomáshoz tartozó hőkapacitást illetve fajhőt.

$$\frac{Q}{\Delta T} = \frac{\Delta E + Nk\Delta T}{\Delta T} = \frac{\Delta E}{\Delta T} + Nk = C_p$$

$$C_p = C_V + Nk$$

Látható, hogy az állandó nyomáson mért hőkapacitás nagyobb mint az állandó térfogaton mért hőkapacitás. Ez érthető is, hiszen ugyanakkora hőmérsékletváltozáshoz (ugyanakkora belső energiaváltozáshoz), amennyiben tágulhat is a gáz több hő szükséges.

$$C_V = \frac{3}{2} Nk \text{ és } C_p = C_V + Nk = \frac{3}{2} Nk + \frac{2}{2} Nk = \frac{5}{2} Nk$$

Egy adott gáz fajhője állandó nyomáson:  $c_p = \frac{C_p}{m} = \frac{5}{2} \frac{k}{m_o}$

Úgy látszik, jól működik az epocha elején alkotott golyómodell. Hiszen segítségével a tapasztalatokkal megegyező körvényszerűségeket tudtunk értelmezni. Pl. a gázok nyomása, a hőmérséklet, a gáztörvények értelmezése, az állapotváltozások értelmezése stb. Arra azért rájöttünk, hogy a különböző gázokat alkotó golyók tömegének különböznie kell.

#### 7. Az alábbi táblázat azonos térfogatú => azonos mennyiségű( részecskeszám azonos) gázok hőkapacitás értékeit mutatja 20 °C-on és 10<sup>5</sup> Pa nyomáson. V = 24 dm<sup>3</sup>. Milyen megállapításokat tudsz levonni?

Gáz	$C_V$	Gáz	$C_V$	Gáz	$C_V$
hélium (He)	$12,3 \frac{J}{K}$	ammónia (NH <sub>3</sub> )	$24,6 \frac{J}{K}$	hidrogén (H <sub>2</sub> )	$20,5 \frac{J}{K}$
neon (Ne)	$12,3 \frac{J}{K}$	metán (CH <sub>4</sub> )	$24,6 \frac{J}{K}$	nitrogén (N <sub>2</sub> )	$20,5 \frac{J}{K}$
argon (Ar)	$12,3 \frac{J}{K}$	ózon (O <sub>3</sub> )	$24,6 \frac{J}{K}$	oxigén (O <sub>2</sub> )	$20,5 \frac{J}{K}$

**8. Mindegyik oszlopból válasz ki két gázt és rajzold le a szerkezeti képletét!**

A golyószám azonos a mért hőkapacitás-értékek mégis különböznek. Tudjuk, hogy a hőkapacitás a gáz energiafelvételével és a kiváltott hőmérsékletváltozással áll kapcsolatban. Itt keressük a választ!

Egy golyó átlagos energiája:  $\varepsilon = \frac{3}{2} kT$

A gáz energiája N számú golyó esetén:  $E = N\varepsilon = \frac{3}{2} NkT$

$$\frac{Q}{\Delta T} = C_V = \frac{3}{2} Nk \quad \Rightarrow \quad C_V = \frac{3}{2} \frac{pV}{T} = \frac{3}{2} \frac{10^5 \text{ Pa} \cdot 24 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{293 \text{ K}} = 12,3 \frac{J}{K}$$

$$pV = NkT \Rightarrow \frac{pV}{T} = Nk$$

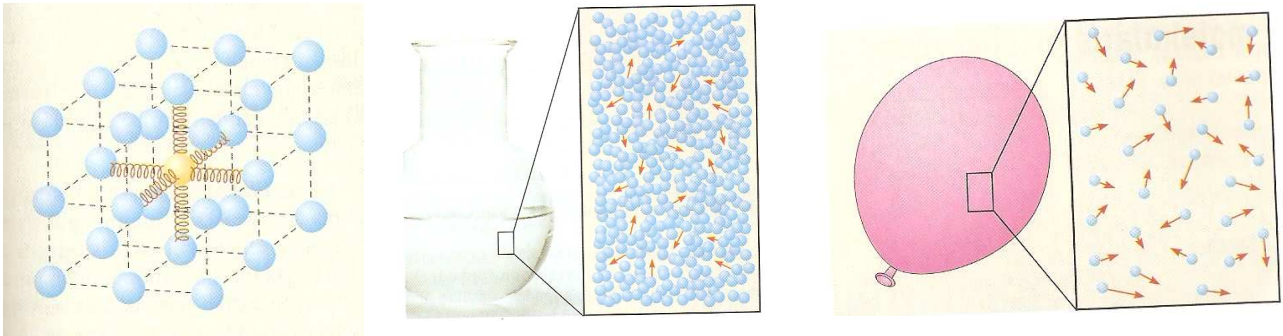
Azaz a táblázat első oszlopában feltüntetett gázok esetén a modell alapján számított hőkapacitás érték megegyezik a mért értékkel. A másik két oszlopban szereplő gázok hőkapacitása viszont nagyobb. Ebből arra kell következtetnünk, hogy a közölt energiának csak egy része jut a haladómozgás energiájának növelésére, jelentékeny hányada másféleképpen halmozódik fel a gázban.

**9. Hány szabadsági fok esetében kapjuk meg a mért hőkapacitás értéket a második és a harmadik oszlop esetében?**

## 13. Halmazállapot - változások molekuláris értelmezése Fázisdiagramok, Gázok cseppfolyósítása

1. Sorold fel a lehetséges halmazállapot-változásokat!

2. Az epocha elején bevezetett modellek alapján értelmezd a jelenségeket energetikai szempontból! Mire fordítódik a felvett hőmennyiség? Az alábbi képek segítenek az értelmezésben.

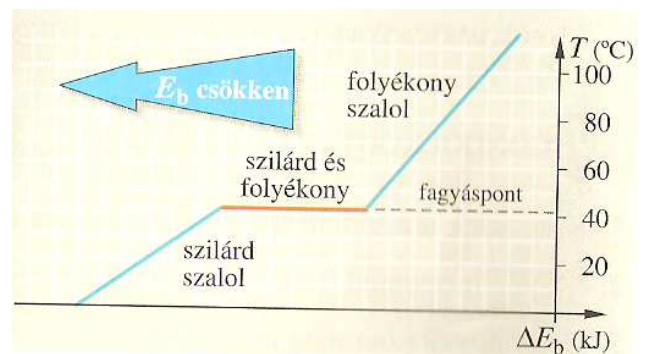
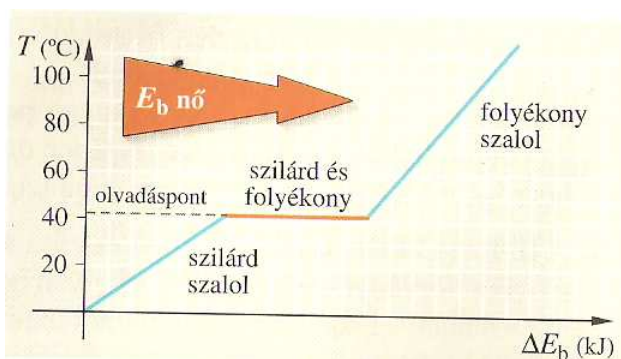


$$E_{b.\text{szilárd}} = \sum E_{\text{mozg}} + \sum E_{\text{rács}}$$

$$E_{b.\text{folyékony}} = \sum E_{\text{mozg}} + \sum E_{\text{kohézióss}}$$

$$E_{b.\text{gáz}} = \sum E_{\text{mozg}}$$

3. Halmazállapot-változáskor mit mondhatunk egy anyagi halmaz hőmérsékletéről? Mi ennek az oka?



Az anyagok halmazállapota termikus kölcsönhatások hatására megváltozhat. Ezek a folyamatok belső szerkezeti változással járnak együtt. Ezen állapotváltozásokat halmazállapot-változásoknak nevezzük. Amennyiben az anyag egyszerre több halmazállapotban van jelen, akkor a halmazállapotokat szokás fázisnak is nevezni. => halmazállapot-változás = fázisátalakulás. Tágabb értelemben a fázisok a szilárd anyagok különböző kristálymódosulatait is jelenthetik. Így a grafit és a gyémánt a szénnek két különböző szilárd fázisa vagy kristályos módosulata.

A fenti diagramokból egyértelműen kitűnik, hogy a kétfázisú rendszer hőmérséklete mindaddig állandó marad, amíg a halmazállapot-változás folyamata tart. Halmazállapot-változáskor a rendszer által felvett vagy leadott hőmennyiség egyenesen arányos az anyag tömegével. Az arányossági tényező az anyagi minőségre jellemző, melyet az adott halmazállapot-változáshoz tartozó hőnek – olvadáshő, párolgáshő stb – nevezünk

4. Gyűjtsd össze a párolgás és a forrás közti azonosságokat különbségeket!

A halmazállapot-változásokhoz tartozó fix hőmérsékleti pontok az anyagi minőségen kívül a külső nyomástól is függenek.

5. *Hogyan változik a légnyomás a tengerszint feletti magasság növekedésével?*

6. *Milyen kapcsolat van a külső légnyomás és a víz forráspontja között?*

A víz forráspontja különböző tengerszint feletti magasságokban					
időpont	helyszín	magasság	víz	forráspont borszeszhőmérővel	forráspont elektromos hőmérővel
augusztus 28.	Budapest	110 m	csapvíz	96 °C	-
augusztus 25.	CERN	530 m	csapvíz	96 °C	-
augusztus 25.	CERN	530 m	ásványvíz	94 °C	-
augusztus 26.	Chamonix	1020 m	csapvíz	92 °C	94 °C
augusztus 28.	Mont Blanc	3840 m	csapvíz	84 °C	86 °C

7. *Egy termosztban lévő 400 g tömegű, 25°C hőmérsékletű vízbe 100 g olvadó jeget teszünk, majd lezárjuk a termoszt. Elolvad-e a termosztban a jég? Ha nem olvad el a jég, akkor mennyi marad belőle? ha elolvad, akkor mekkora lesz a termosztban lévő víz hőmérséklete? Készítsd el a hőmérsékletet ábrázoló diagramot is az idő függvényében! Az idő tengely beosztása tetszés szerinti lehet.*

Először is gondoljuk végig, hogy mi történik!

A két anyag halmaz hőmérséklete, azaz belső energiája különböző => olyan folyamat indul meg, melynek eredménye az egyenletes energia eloszlás lesz. A termoszt lezárjuk ezzel biztosítjuk, hogy rendszerünk zárt rendszert alkosson => a felvett és a leadott hőmennyiség nagysága egyenlő egymással

$$Q_{fel} = Q_{le}.$$

Adatok:

$$m_{víz} = 400 \text{ g} = 0,4 \text{ kg}$$

$$t_{víz} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_{jég} = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$$

$$t_{jég} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_{víz} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$L_o = 335000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Akkor olvad el az összes jég, ha a víz számára biztosítja a kellő hőmennyiséget.

$$Q = L_o m_{jég}$$

A 100 g jég megolvasztásához szükséges hőmennyiség:

$$Q = 335000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0,1 \text{ kg} = 33500 \text{ J}$$

A víz ezt a hőmennyiséget a hőmérséklet csökkenéséből tudja esetlegesen fedezni. Maximum mennyi hőmennyiséget képes a víz leadni?

$$Q = c_{víz} m_{víz} \Delta t$$

$$Q = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,4 \text{ kg} \cdot 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 33600 \text{ J}$$

Látjuk, hogy a víz több hőt tud leadni => a jég teljesen elolvad

A pontos állapot meghatározásához a fent már felállított egyenletből induljunk ki:



$$Q_{jel} = Q_{le}$$

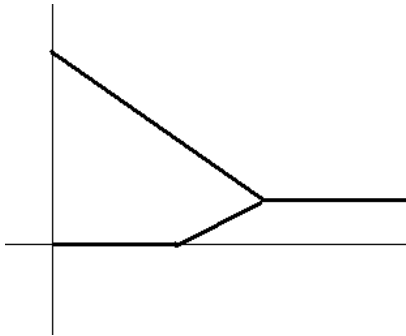
$$L_o m_{jég} + c_{vz} m_{jég} \Delta t_{jég} = c_{vz} m_{vz} \Delta t_{vz}$$

$$L_o m_{jég} + c_{vz} m_{jég} (t_{közös} - 0^\circ C) = c_{vz} m_{vz} (25^\circ C - t_{közös})$$

$$33500 + 420 t_{közös} = 42000 - 1680 t_{közös}$$

$$2100 t_{közös} = 8500$$

$$t_{közös} = \frac{8500}{2100} = 4,05^\circ C$$



### 8. Tanulói kísérlet: A víz olvadáshőjének meghatározása.

Szükséges eszközök:

- 0°C-os jég (olvadjon)
- mérleg
- hőmérő
- főzőpohár benne ismert tömegű víz

Mérés menete:

1. 40 cm<sup>3</sup> vizet mérjük ki főzőpohárba
2. mérjük meg a víz kezdeti hőmérsékletét
3. Olvadó félben lévő jégből mérjük le egy adott mennyiséget.
4. Tegyük a vízbe a lemerített jégdarabot!
5. Mérjük folyamatosan a víz hőmérsékletét!
6. Pár perc elteltével vegyük ki a maradék jégdarabot és mérjük le a tömegét!
7. Olvassuk le, hogy mit mutat a hőmérő a jég kivételének pillanatában!

Mérési adatok:

$$m_{vz} = \rho \cdot V = \dots\dots\dots g$$

$$t_{vz} = \dots\dots\dots ^\circ C$$

$$m_{jég} = \dots\dots\dots g$$

$$t_{jég} = 0^\circ C$$

$$c_{vz} = 4200 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

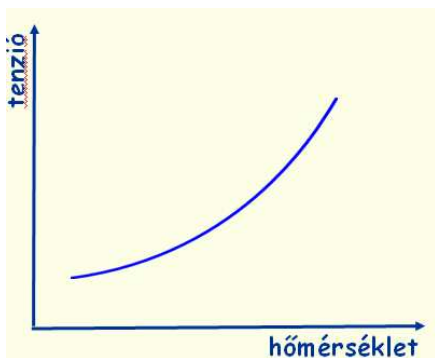
$$L_o = ? \frac{J}{kg}$$

Számolás módja:

A jég tömegének csökkenését az olvadás okozta, az ehhez szükséges energiát a víz biztosította.

$$L_o \Delta m_{jég} = c_{vz} m_{vz} \Delta t_{vz} \Rightarrow L_o = \frac{c_{vz} m_{vz} \Delta t_{vz}}{\Delta m_{jég}}$$

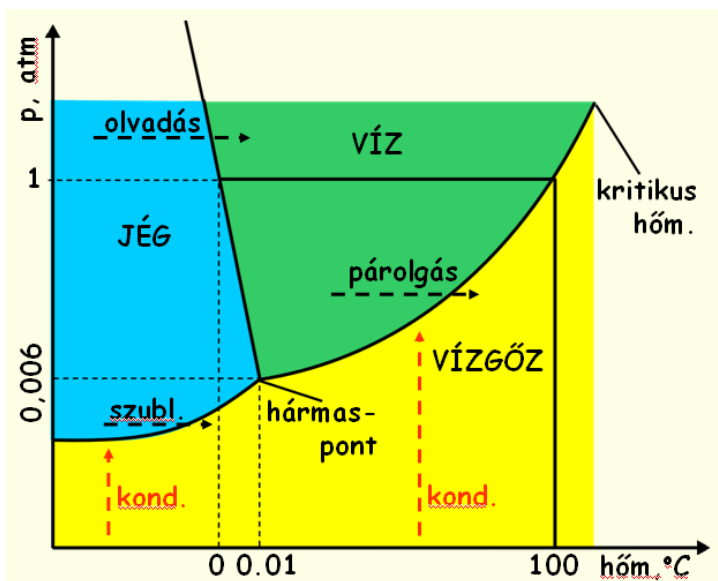
Végezzétek el úgyis a kísérletet, hogy megvárjátok, még teljesen elolvad a jég! Hasonlítsátok össze a kapott olvadáshő értékeket! Milyen okokra vezethető vissza a mérés esetleges pontatlansága? Készítsetek kísérleti jegyzőkönyvet!



Nyitott edényből a folyadék maradék nélkül elpárologtatható. Zárt edényben a folyadék csak részben párolog el. Előbb-utóbb egyensúly alakul ki a folyadékból elpárolgó és a gőztérből kondenzálódó molekulák számában. A folyadék fölött a gőztér telített lesz, a telített gőz nyomását nevezzük tenzióknak. A szilárd anyagoknak is van tenziójuk, a szilárd anyagok is párologhatnak => szublimáció. A szublimációs nyomás: szilárd anyag telített gőzének nyomása

Ha közös diagramban ábrázoljuk a tenziógörbéket, akkor az adott anyag fázisdiagramját kapjuk meg.

### 9. Elemezzük a víz fázisdiagramját!



Zárt térben a folyadék és a gőze között dinamikus egyensúly áll fenn. Ha zárt ampullában vizet melegítünk, akkor a kezdetben zavaros gőzfázis kitisztul. Mi ennek az oka?

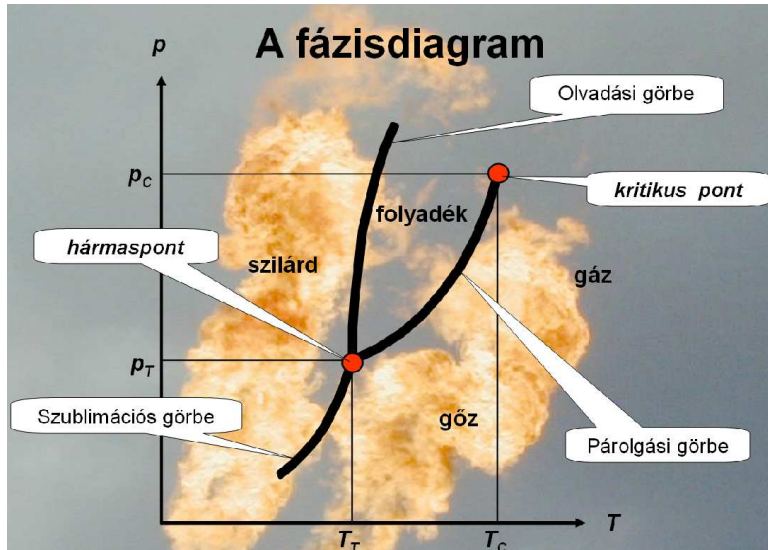
- nő a gőz térfogategységében levő molekulák száma
- nő a gőz nyomása
- nő a gőz sűrűsége
- ezzel egyidejűleg, a hőtágulás miatt csökken a folyadék sűrűsége
- a két sűrűség közelít egymáshoz
- egy adott hőmérsékleten egyenlővé válnak

Azt a hőmérsékleti pontot, ahol megszűnik a különbség a két fázis között kritikus hőmérsékletnek nevezzük. Minden kritikus hőmérséklethez tartozik egy kritikus nyomás, a kritikus hőmérséklet fölött csak gáz halmazállapotban létezik az anyag, vagyis  $T_{krit}$  fölött nincsenek gőzök, csak gázok. A kritikus hőmérséklet és nyomás fölött a gázok nem cseppfolyósíthatók Ennek oka, hogy a kritikus hőmérséklet felett a folyadék párolgáshője nulla.

A víz fázisdiagramja alapján a következő megállapításokat tehetjük:

- a ruhák  $0\text{ °C}$  alatt is megszáradnak, a jég elszublimál

- 0,6 atm nyomáson a víz már 86 °C-on forr, ekkora nyomás kb. 4000 m magasságban mérhető
- nagyobb nyomás alatt a víz magasabb hőmérsékleten forr, magasabb hőmérsékleten, rövidebb idő alatt főzünk (kuktafazék)
- 80 kg –os korcsolyázó ember kb. 500 atm. nyomással terheli a jeget, a jég olvadáspontja ilyen körülmények között kb. -3,7 °C,



#### Gázok cseppfolyósítása:

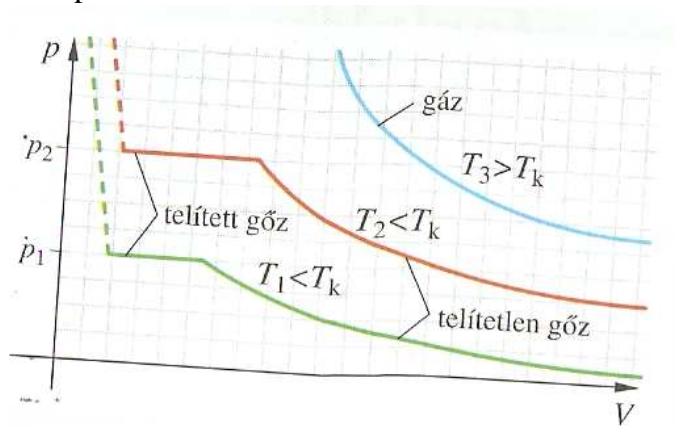
Amennyiben a gázok hőmérsékletét csökkentjük és nyomását növeljük, akkor a hőmozgás csökken, a térfogati részecskesűrűség növekszik => az ideális gázmodell feltételei egyre kevésbé érvényesülnek. A gázt alkotó részecskék térfogata egyre inkább összeremerhető lesz a teljes térfogattal, és a részecskék közötti kohéziós erők is egyre jelentősebb szerepet kapnak. Így az ideális gázoknál kapott állapotegyenlet egyre kevésbé írja le a gáz viselkedését. A nyomás növelésével és a hőmérséklet csökkentésével elérhetjük azt a hőmérsékleti pontot, ahol a gáz cseppfolyósodik. Most a másik oldalról közelítettük meg a kritikus hőmérséklet fogalmát. Természetesen a végeredmény ugyanaz. Kritikus hőmérséklet felett a gázok bármilyen nagy nyomás mellett sem cseppfolyósíthatók

#### 10. A táblázat adatai alapján dönts el, hogy a felsorolt gázok közül melyek nem cseppfolyósíthatók szobahőmérsékleten!

Gáz anyaga	$T$ (°C)	$p_k$ (kPa)
ammónia	132,9	11150
hélium	-267,9	226
hidrogén	-239,9	1,68
nitrogén	-147,2	3350
oxigén	-118,9	5000
szén-dioxid	31,1	7300

#### 11. Mit mondhatunk ezen anyagokat felépítő részecskék között ható másodlagos kötések erősségéről?

A kritikus hőmérséklet alatt a gázokat helyesebb gőzöknek nevezni, mivel csak akkor viselkednek gázként, ha nyomásuk nem éri el egy hőmérséklettől függő telítési nyomás értéket. Ekkor a gőzt telítetlen gőznek nevezzük. Amikor eléri, akkor a nyomás további térfogatcsökkenés hatására nem növekszik, hanem állandó nyomás mellett e felesleges gőz lecsapódik.



**12. Nézz utána milyen gyakorlati jelentősége van a gázok cseppfolyósításának!**