

I. Gázhalmazállapot jellemzése

A gázhalmazállapotú anyagok viselkedésének leírása viszonylag egyszerűbb, mint a folyadékoké vagy a szilárd anyagoké, mert anyagi minőségtől függetlenül bizonyos szempontból lényegében egyformán viselkednek.

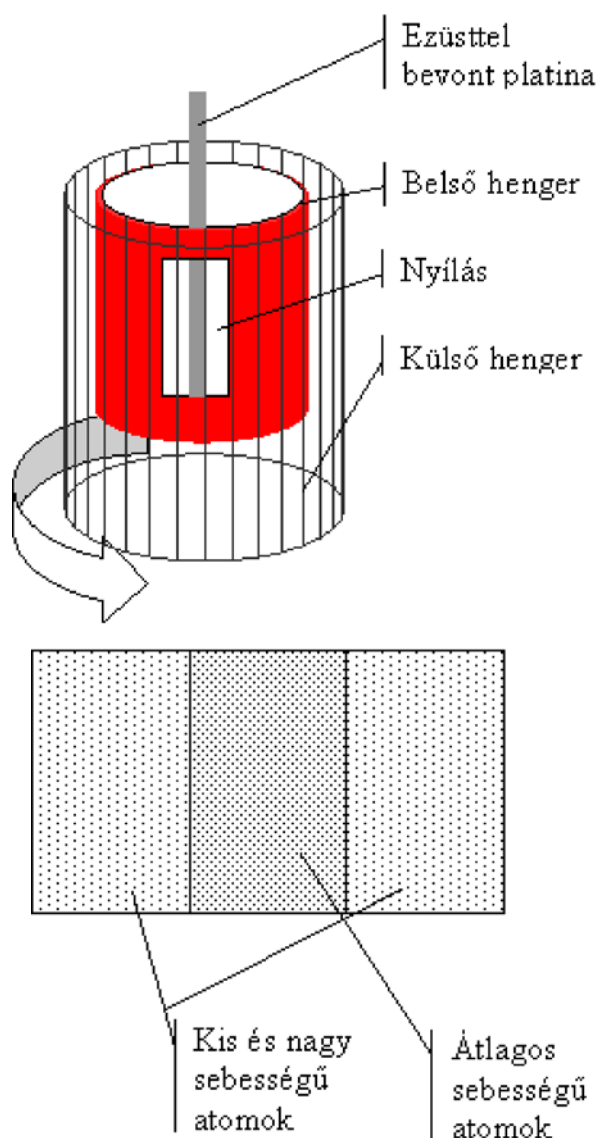
- A gázban lévő **molekulák rendezetlen mozgást végeznek**. Ezzel magyarázható a Tyndall által megfigyelt jelenség is.

Tyndall megfigyelte, hogy a levegőben lévő porszemek zezugos mozgást végeznek. Ez azzal magyarázható, hogy a levegőben lévő molekulák mozognak és mozgásuk során porszemeknek, ütköznek, így a porszemek az eredő erő irányába mozdulnak el.

Ez a jelenség hasonló, mint amelyet Robert Brown, skót botanikus figyelt meg, aki 1827-ben folyadékba kevert virágot vizsgált mikroszkópjával. Megfigyelte a virágszemcsék szabálytalan mozgását, de nem tudta megmagyarázni, hogy mi okozza ezt a mozgást. A jelenség első matematikai leírását Albert Einstein adta meg.

- A gáztérben lévő **molekulák** állandó hőmérséklet mellett is **különböző sebességgel mozognak**. A legtöbb molekula egy adott hőmérsékleten átlagos sebességgel mozog. Ennél nagyobb vagy kisebb sebességgel csak kevés molekula mozog. Ezt legszembetűnőbben Ottó Stern bizonyította kísérletileg.

Ottó Stern kísérlete:



Egy platina szálát ezüsttel vont be. A rudat behelyezte egy nyílással rendelkező hengerbe, ezt pedig behelyezte egy állandó szögsebességgel forgó hengerbe. A rendszert felmelegítette egy olyan állandó hőmérsékletre, amelyen az ezüst éppen párolog. A belső henger nyílását kinyitotta annyi időre, amennyi alatt a külső henger egyszer körbefordul. Egyszeri körülfordulás után a külső henger palástját levették és megvizsgálták. Azt tapasztalták, hogy az ezüstatomok nem egyenletesen csapódtak be a palást felületére.

Az első tartományban kevés ezüstatomot találtak, ebből arra következtettek, hogy nagy sebességgel kevés molekula rendelkezik.

Az utolsó tartományban is kevés atom csapódott be. Ezek érték el legkésőbb a palást felszínét, mert sebességük kicsi volt.

A legtöbb részecske átlagos sebességgel rendelkezett és a középső tartományba csapódott be.

- a gázokban lévő **molekulák háromfajta mozgást végeznek**:
 - haladó mozgást
 - forgómozgást
 - rezgőmozgás

- Amíg a részecskék mozgási energiája lényegesen nagyobb, mint a közöttük levő kölcsönhatásból származó energia (másodrendű kötőerők), addig a molekulák egymástól függetlenül végzik mozgásukat, a halmaz gázállapotban van.

Gázállapotban **a molekulák átlagos távolsága több nagyságrenddel nagyobb, mint saját átmérőjük**, így egymásra gyakorolt hatásuk kicsi, gyakorlatilag elhanyagolható.

II. Ideális gázok modellje

Mérések azt mutatják, ha a gáz sűrűsége nem túl nagy, akkor a legtöbb gáz fizikai viselkedése hasonló. Ezért célszerű bevezetni egy olyan **idealizált modellt**, amely a gázok közös tulajdonságait tartalmazza, de az egyedi tulajdonságokat figyelmen kívül hagyja (pl. a gáz színét, szagát, stb.).

Ezt a modellt **ideális gázmodellnek** nevezzük, amelynek a következő tulajdonságai vannak:

- a molekulák pontszerűek,
- rendezetlenül mozognak,
- tökéletesen rugalmasan ütköznek.

Leginkább a nemesgázok viselkedése hasonlít az ideális gázmodellhez.

A valódi gázokban ez a három feltétel csak közelítőleg teljesül.

III. Állapotjelzők

Az **állapotjelzők** azok a mérhető makroszkopikus jellemzői egy anyagnak, amely segítségével az anyag sajátosságai meghatározhatók.

A gázok állapotát egyértelműen meghatározó állapotjelzők a gáz:

- térfogata,
- nyomása,
- hőmérséklete,
- anyagmennyisége,
- tömege.

Az állapotjelzők között vannak **intenzív állapotjelzők**, amelyek a folyamat során **kiegyenlítődnek**. Ilyenek a nyomás és a hőmérséklet.

Vannak olyan állapotjelzők, amelyek a folyamat során **összeadódnak**. Ezek az **extenzív állapotjelzők**. Ilyen a tömeg, az anyagmennyiség, a térfogat.

Bármely állapotjelző megváltozása — pl. hűtés — legalább egy, de inkább több állapotjelző megváltozását is maga után vonja.

Az állapotjelzők közötti összefüggés matematikai leírása az **állapotegyenlet**.

1. Nyomás

A felületre merőleges nyomóerő és a felület nagyságának a hányadosa.

Jele: p

Mértékegysége: $[p] = \text{N/m}^2 = \text{Pa}$

2. Térfogat

A gázok térfogata az a térrész, amelyben a molekulák mozoghatnak.

Jele: V

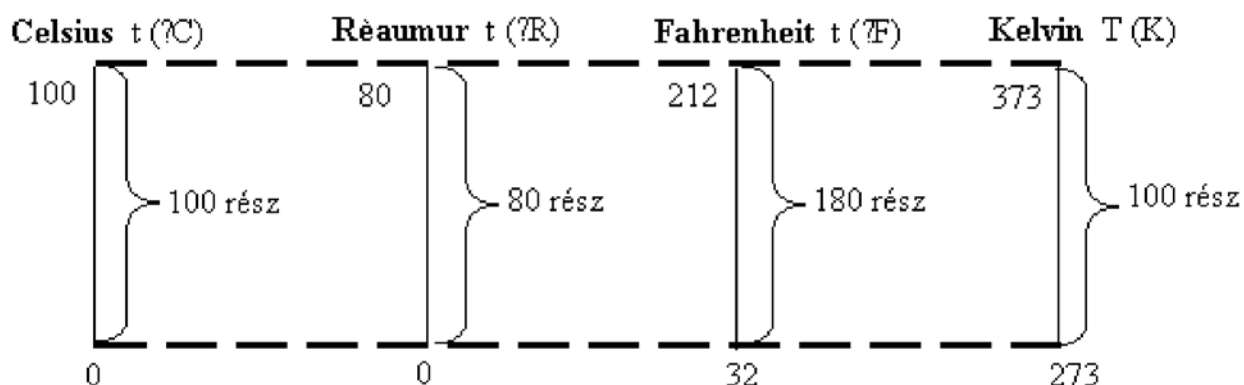
Mértékegysége: $[V] = \text{m}^3$

3. Hőmérséklet

Hőmérséklet mérésére felhasználható minden olyan jelenség, amelyről tudjuk, hogy milyen függvény szerint változik a hőmérséklettel. Leggyakrabban a folyadékok térfogatváltozását szokták hőmérséklet mérésére használni.

Jele: T $\longrightarrow$ ha Kelvinben van kifejezve a hőmérséklet.
t $\longrightarrow$ ha Celsius-, Réaumur-, Fahrenheitben van kifejezve.

Néhány hőmérsékleti skála



4. Anyagmennyiség

A mérleggel mérhető mennyiségek nagyon sok részecskéből állnak. Az anyagmennyiség mértékegysége a mol.

Egy mol annak a rendszernek az anyagmennyisége, amely $6 \cdot 10^{23}$ db részecskét tartalmaz.

Az anyagmennyiség jele: n

5. Tömeg

A gáz tömegét **m**-mel jelöljük.

Mértékegysége: kg.

IV. Hőmérséklet kinetikai értelmezése

A hőmérséklet kinetikai értelmezése azt jelenti, hogy összefüggést keresünk a gázban lévő molekulák mozgása és a gáz hőmérséklete között.



Kísérlet:

1. Felszívunk az egyik fecskendőbe 5 cm^3 tömény ammónia oldatot, a másik fecskendőbe 5 cm^3 tömény sósav oldatot.
2. A két fecskendő tartalmát a cső két végén egyidejűleg a csőbe juttatjuk, majd a csövet dugóval bedugjuk.

Tapasztalat:

Bizonyos idő elteltével a csőben fehér füstgyűrű keletkezik.

Magyarázat:

A gázok a csőben diffundálva találkoznak és egymással reagálva fehér NH_4Cl -ot (szalmiáksót) képeznek.

A szalmiáksó kialakulásához az ammónia molekuláknak $\bar{v}_{\text{NH}_3}$ sebességgel s_{NH_3} utat kellett megtenni, a hidrogén-klorid molekuláknak $\bar{v}_{\text{HCl}}$ sebességgel s_{HCl} utat kellett megtenni.



A kísérlet során megmérjük az ammónia és a hidrogén-klorid molekulák által megtett utak hosszát a találkozásig.

$$s_{\text{NH}_3} = \bar{v}_{\text{NH}_3} \cdot t$$

$$s_{\text{HCl}} = \bar{v}_{\text{HCl}} \cdot t$$

$$\frac{s_{\text{HCl}}^2}{s_{\text{NH}_3}^2} \approx \frac{1}{2}$$

Az összefüggésből megállapítható, hogy a molekulák által megtett utak aránya megegyezik a molekulák átlagsebességének arányaival.

A kísérlet során megállapítható, hogy a hidrogén-klorid és ammónia molekulák által megtett utak négyzeteinek aránya megközelítőleg $\frac{1}{2}$.

$$\frac{-2}{\bar{v}_{\text{HCl}}} \approx \frac{1}{2}$$

$$\frac{-2}{\bar{v}_{\text{NH}_3}}$$

Ebből viszont az is következik, hogy a molekulák átlagsebességének arány is $\frac{1}{2}$.

$$\frac{M_{\text{NH}_3}}{M_{\text{HCl}}} = \frac{17 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{36,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx \frac{1}{2}$$

Ha a két gáz moláris tömegét összehasonlítjuk, akkor hasonló arányt kapunk, mint az átlagsebességek négyzetének aránya. Ebből következik, hogy az ammónia és a hidrogén-klorid molekulák tömegének aránya is $\frac{1}{2}$.

$$\frac{m_{0\text{NH}_3}}{m_{0\text{HCl}}} \approx \frac{1}{2}$$

$$\frac{m_{0\text{NH}_3}}{m_{0\text{HCl}}} = \frac{-2}{\bar{v}_{\text{HCl}}} \cdot \frac{-2}{\bar{v}_{\text{NH}_3}}$$

A két jelzett arányt egyenlővé tehetjük, majd rendezzük az egyenletet.

Ezt követően mindkét oldalát $\frac{1}{2}$ -del beszorozzuk. Így a következő összefüggést kapjuk:

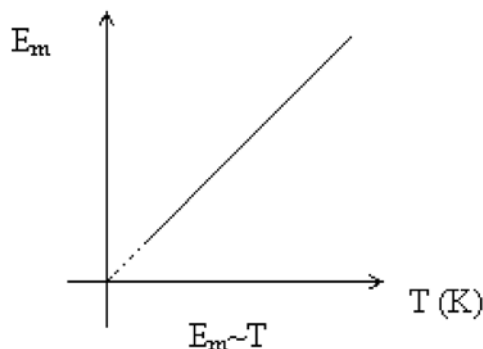
$$\frac{1}{2} m_{0\text{NH}_3} \cdot \bar{v}_{\text{NH}_3}^{-2} = \frac{1}{2} m_{0\text{HCl}} \cdot \bar{v}_{\text{HCl}}^{-2}$$

A levezetésből láthatjuk, hogy állandó hőmérsékleten különböző molekulák átlagos mozgási energiája megegyezik.

Ha csökkentjük a gázok hőmérsékletét, akkor csökken a molekulák átlagos mozgási energiája, de az soha nem lehet nulla.

Azt a képzelt hőmérsékletet, amelyen a molekulák átlagos mozgási energiája nullává válna, **abszolút nulla foknak** nevezzük. Ez a kelvin-féle hőmérsékleti skála alappontja. Ez $-273,16^\circ\text{C}$.

Ennek a hőmérsékleti skálának a bevezetése azért lényeges, mert így a molekulák átlagos mozgási energiája és a kelvinben kifejezett hőmérséklet között egyenes arányosság van.



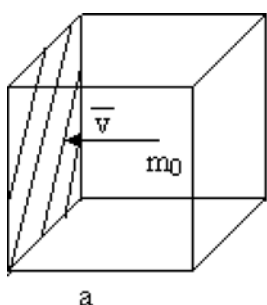
A molekulák átlagos mozgási energiája egyenesen arányos a kelvinben kifejezett hőmérséklettel, az arányossági tényező $2,07 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$.

$$\overline{E_m} = 2,07 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot T$$

V. Nyomás kinetikai értelmezése

A gázok nyomása és a gázmolekulák átlagos mozgási energiája között is összefüggés van. Ezt vizsgáljuk meg egy gondolatkísérlet során.

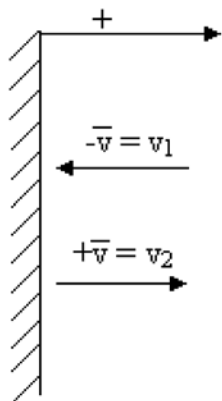
Gondolatban töltsünk meg egy a oldalhosszúságú, kocka alakú tartályt gázzal.



- Így a gáztartály térfogata $V=a^3$.
- Legyen a tartályban N számú molekula.
- A molekulák tömege legyen m_0 .
- Tételezzük fel, hogy valamennyi molekula átlagsebességgel rendelkezik. ($\overline{v}$)
- Nagyszámú molekula esetén belátható, hogy egy adott pillanatban a tartály mindegyik lapja felé $\frac{N}{6}$ db molekula mozog.

Elegendő a kocka alakú tartály egyetlen oldalán megvizsgálni, hogy a molekulák mozgásából adódóan mekkora lesz a nyomás érték. Mivel mindegyik oldal felé ugyanannyi molekula mozog, ugyanakkora átlagos sebességgel, mindegyik oldalon ugyanakkora lesz a nyomás.

Nézzük meg, hogy a jelzett falon mekkora nyomást hoz létre **egyetlen molekula**:



$$p_0 = \frac{F_0}{A} = \frac{m_0 \cdot \Delta \overline{v}}{a^2 \cdot \Delta t} = \frac{m_0 \cdot (\overline{v}_2 - \overline{v}_1)}{a^2 \cdot \Delta t} = \frac{2 \cdot m_0 \cdot \overline{v}}{a^2 \cdot \Delta t}$$

A nyomás kifejezésekor felhasználjuk a lendülettételt, amely szerint az erőlkés megegyezik a lendületváltozással.

$$F_0 \cdot \Delta t = m_0 \cdot \Delta \overline{v}$$

A jelzett fal felé $\frac{N}{6}$ db molekula mozog. Ezek által létrehozott nyomás p .

Δt jelölje azt az időt, amely ahhoz szükséges, hogy a legtávolabbról, az az a távolságról induló molekula is elérje a jelzett falat.

$$\text{Így } \Delta t = \frac{a}{v}.$$

Folytassuk a levezetést:

$$p = \frac{N}{6} \cdot p_0 = \frac{N}{6} \cdot \frac{2 \cdot m_0 \cdot \bar{v}}{a^2 \cdot \Delta t} = \frac{N \cdot m_0 \cdot \bar{v}}{3 \cdot a^2 \cdot \frac{a}{v}} = \frac{N \cdot m_0 \cdot \bar{v}^2}{3 \cdot V}$$

Bővítsük a törtet $\frac{2}{2}$ -vel!

$$p = \frac{N \cdot m_0 \cdot \bar{v}^2}{3 \cdot V} \cdot \frac{2}{2} = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot V} \cdot \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot \bar{v}^2$$

Vagyis:

$$P = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot V} \cdot \overline{E_m}$$

A levezetésből látszik, hogy zárt térben lévő, állandó mennyiségű ideális gáz nyomása egyenesen arányos a gázmolekulák átlagos mozgási energiájával, az arányossági tényező $\frac{2 \cdot N}{3 \cdot V}$.

VI. Állapotegyenlet

A gázok állapotjelzői közötti összefüggést az **állapotegyenlet** írja le.

Ahhoz, hogy ezt az összefüggést megkapjuk, fel kell használni a gázok nyomásának és hőmérsékletének kinematikai értelmezésekor kapott összefüggéseket. Ezek a következők:

$$p = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot V} \cdot \overline{E_m}$$

$$\overline{E_m} = 2,07 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot T$$

A nyomás képletébe behelyettesíthetjük a molekulák átlagos mozgási energiájára kapott összefüggést:

$$p = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot V} \cdot 2,07 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} T$$

Rendezzük egy oldalra az állapotjelzőket:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{2}{3} \cdot 2,07 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot N$$

A $\frac{2}{3} \cdot 2,07 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$ szorzat egy állandót határoz meg, melyet Boltzmann-állandónak nevezünk, és k -val jelölünk.

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

Így az állapotegyenlet egyik, gyakran használt formájához jutunk:

$$\frac{p \cdot V}{T} = k \cdot N$$

A molekulák száma kifejezhető az Avogadro-szám és mólok számának a szorzataként. $N = N_A \cdot n$
Így az állapotegyenlet egy másik formában is felírható:

$$\frac{p \cdot V}{T} = k \cdot N_A \cdot n$$

A $k \cdot N_A$ szorzat egy újabb állandót határoz meg, amelyet egyetemes gázállandónak nevezünk, és R -rel jelölünk.

$$R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Az állapotegyenlet másik formája:

$$\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$$

Ki lehet fejezni a mólok számát a gáz és a moláris tömeg hányadosával is: $n = \frac{m}{M}$.

Így a képlet a következőképpen módosul:

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

Ideális gázok állapotjelzői közötti összefüggést az állapotegyenlet írja le.

Állandó mennyiségű ideális gáz nyomásának és térfogatának szorzata osztva a kelvinben kifejezett hőmérséklettel mindig egy állandót határoz meg. Ez az állandó kifejezhető $k \cdot N$ vagy $n \cdot R$ vagy $\frac{m}{M} \cdot R$ szorzattal.

Állandó mennyiségű ideális gáz két tetszőleges állapota közötti összefüggést fejezi ki az **egyesített gáztörvény**:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = n \cdot R$$

$$\frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = n \cdot R$$

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

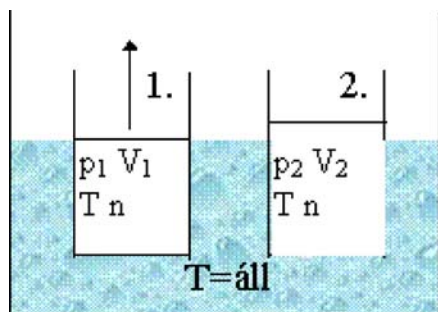
VII. Állapotegyenlet alkalmazása különböző állapotváltozásokra

1. Izoterm állapotváltozás

Az állandó hőmérsékleten történő állapotváltozást **izoterm állapotváltozásnak** nevezzük.

Erre az állapotváltozásra vonatkozó törvényt egy angol és egy francia fizikus állapította meg. Az ő tiszteletükre **Boyle-Mariotte**-törvénynek nevezzük.

Az állapotváltozásra vonatkozó összefüggéshez mi is eljuthatunk egy gondolat kísérlet során.



Egy hőtartályban (termosztátban) dugattyúval elzárt edényben n anyagmennyiségű gáz van.

A gáz térfogatát nagyon lassan változtatjuk, úgy, hogy közben a hőmérséklete állandó marad.

A gáz kezdeti állapotát a p_1 , V_1 , T és n , a végső állapotát a p_2 , V_2 , T és n állapotjelzők jellemzik. Mindkét állapotra felírható az állapotegyenlet:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T} = n \cdot R$$

$$\frac{p_2 \cdot V_2}{T} = n \cdot R$$

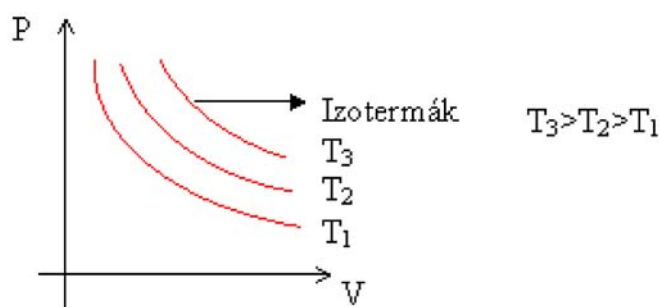
A két egyenletből következik, hogy

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

Boyle-Mariotte-törvény: Állandó mennyiségű ideális gáz izoterm állapot- változásakor a nyomás és térfogat szorzata állandó.

Állandó mennyiségű ideális gáz nyomása és térfogata között fordított arányosság van.

Izoterm állapotváltozásakor a p - V síkon ábrázolt grafikonokat **izotermáknak** nevezzük. Minél magasabb a hőmérséklet, annál magasabban futnak az izotermák.

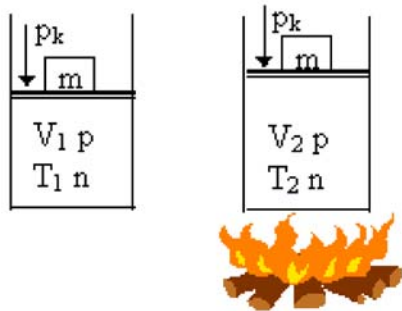


2. Izobár állapotváltozás

Az állandó nyomáson történő állapotváltozást **izobár állapotváltozásnak** nevezzük.

Erre az állapotváltozásra vonatkozó törvényt **Gay-Lussac I. törvényének** is szokták nevezni. Az igazsághoz hozzátartozik, hogy Gay-Lussac valóban felfedezte ezt a törvényt, de csak harmadikként. A törvény első két felfedezője Jacques Alexandre Charles (francia fizikus) és John Dalton (angol vegyész) volt. Ez indokolja, hogy vannak olyan országok, ahol ezeket a törvényeket Charles-törvényeknek nevezik.

Ismét egy gondolat kísérlettel juthatunk el az állapotváltozást jellemző összefüggéshez.



Egy súrlódás nélkül mozgó A felületű dugattyúval ellátott hengerben n anyagmennyiségű gáz van. Elkezdjük a tartályt melegíteni. A dugattyúra kívülről

állandó nyomás nehezedik $(p = p_k + \frac{m \cdot g}{A})$.

Ezzel egyezik meg a hengerben lévő gáz nyomása is.

A gáz kezdeti állapotát a T_1 , V_1 , p és n , a végső állapotát a T_2 , V_2 , p és n állapotjelzők jellemzik.

Mindkét állapotra felírható az állapotegyenlet:

$$\frac{p \cdot V_1}{T_1} = n \cdot R$$

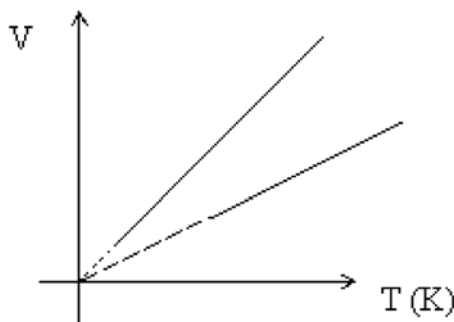
$$\frac{p \cdot V_2}{T_2} = n \cdot R$$

A két egyenletből következik:

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

Gay-Lussac I. törvénye: Állandó mennyiségű ideális gáz izobár állapot változásakor a térfogat és a kelvinben kifejezett hőmérséklet hányadosa egy állandót határoz meg.

Ha a térfogatot a kelvinben kifejezett hőmérséklet függvényében ábrázoljuk akkor a kapott függvények az izobárok.



VIII. Izochor állapotváltozás

Az állandó térfogaton történő állapotváltozást **izochor állapotváltozásnak** nevezzük.

Gondoljuk végig a következő folyamatot:

$$\begin{matrix} V & n \\ p_1 & T_1 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} V & n \\ p_2 & T_2 \end{matrix}$$



Egy V térfogatú zárt tartályban n anyag mennyiségű gázt melegítünk.

A gáz kezdeti állapotát a p_1 , T_1 , V és n , a végső állapotát a p_2 , T_2 , V és n állapotjelzők jellemzik.

Mindkét állapotra felírható az állapotegyenlet:

$$\frac{p_1 \cdot V}{T_1} = n \cdot R$$

$$\frac{p_2 \cdot V}{T_2} = n \cdot R$$

A két egyenletből következik:

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

Gay-Lussac II. törvénye: Állandó mennyiségű ideális gáz izochor állapot- változásakor a nyomás és a kelvinben kifejezett hőmérséklet hányadosa egy állandót határoz meg.

Ha a nyomást a kelvinben kifejezett hőmérséklet függvényében ábrázoljuk akkor a kapott függvények az izochorok.

