Variace

1

Struktura a vlastnosti plynného skupenství látek

Autor: Mgr. Jaromír JUŘEK

1. Ideální plyn

Ideální plyn je vlastně model, který využíváme pro popis různých jevů, ve skutečnosti se s ním ale v této podobě nesetkáme.

Co uvažujeme u ideálního plynu:

- Rozměry molekul ideálního plynu jsou ve srovnání se střední vzdáleností molekul od sebe zanedbatelně malé.
- Molekuly ideálního plynu mimo vzájemné srážky na sebe navzájem silově nepůsobí.
- Vzájemné srážky molekul ideálního plynu a srážky těchto molekul se stěnou nádoby jsou dokonale pružné.

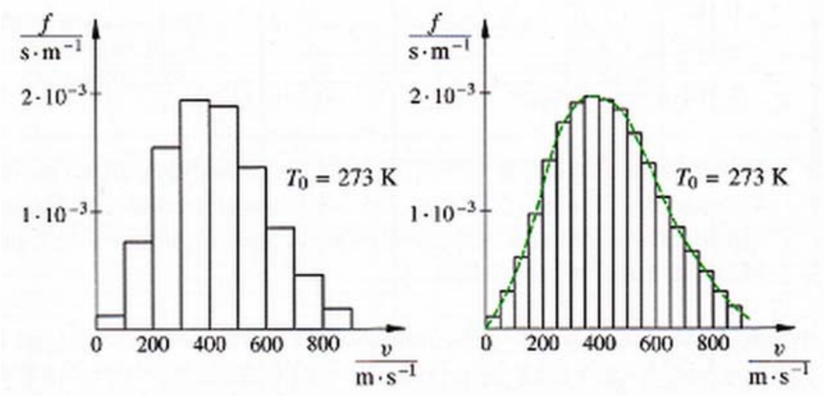
Z druhé vlastnosti vyplývá, že potenciální energie soustavy ideálního plynu je nulová. Vnitřní energie soustavy ideálního plynu je tedy rovna součtu kinetických energií jednotlivých molekul, u víceatomových molekul ještě navýšenému o energii atomů, které konají rotační a kmitavý pohyb.

Při podmínkách, které se příliš neliší od tzv. normálních podmínek (podle dohody t_n = 0 °C, p_n = 1,013 25 . 10^5 Pa, což je přibližně 10^5 Pa), lze většinu plynů považovat za ideální plyn.

2. Rozdělení molekul plynu podle rychlostí

Všechny molekuly plynu, který je v rovnovážném stavu, **nemají** v určitém okamžiku **stejnou rychlost**. Je to způsobeno tím, že se vzájemnými srážkami molekul neustále mění velikost a směr jejich rychlostí.

Rozdělení molekul podle rychlosti lze vyjádřit např. tabulkou, kde zvoleným intervalům rychlosti přiřadíme relativní četnosti molekul nebo např. graficky histogramem.



3. Střední kvadratická rychlost

Molekuly se pohybují neuspořádaným posuvným pohybem, proto **se mění i jejich rychlost** a jejich okamžitá rychlost je tedy veličina, která má náhodnou hodnotu. Budeme tedy uvažovat idealizovanou situaci, že všechny molekuly se pohybují stejnou rychlostí a ta má hodnotu jistého průměru, který volíme tak, aby se kinetická energie idealizovaného modelu nelišila od hodnoty kinetické energie skutečné soustavy. Rychlosti, která tuto podmínku splňuje, označíme v_k a nazveme ji **střední kvadratická rychlost**. Jedná se vlastně o statistickou veličinu.

Předpokládejme, že plyn uzavřený v nádobě obsahuje N molekul stejné hmotnosti m_0. Z tohoto počtu má v důsledku neuspořádaného pohybu N_1 molekul rychlost v_1, N_2 molekul rychlost v_2, až N_i molekul rychlost v_i. Úhrnná kinetická energie molekul konajících neuspořádaný posuvný pohyb je

$$E_k = \frac{1}{2} m_0 \left(N_1 {v_1}^2 + N_2 {v_2}^2 + \ldots + N_i {v_i}^2 \right)$$

Z definice střední kvadratické rychlosti pak vyplývá:

$$N\frac{1}{2}m_0{v_k}^2 = \frac{1}{2}m_0\left(N_1{v_1}^2 + N_2{v_2}^2 + \ldots + N_i{v_i}^2\right)$$

odkud

$${v_k}^2 = \frac{N_1{v_1}^2 + N_2{v_2}^2 + \ldots + N_i{v_i}^2}{N}$$

kde $N = N_1 + N_2 + \ldots + N_i$

Druhá mocnina střední kvadratické rychlosti je rovna součtu druhých mocnin rychlostí všech molekul děleným počtem molekul. Druhá mocnina střední kvadratické rychlosti je tudíž rovna aritmetickému průměru druhých mocnin rychlostí všech molekul.

4. Teplota plynu z hlediska molekulové fyziky

Rychlost, kterou se molekuly pohybují, se s rostoucí teplotou zvyšuje. Zvětšuje se tedy i střední kinetická energie

$$E_0 = \frac{1}{2}m_0{v_k}^2$$

kterou má molekula ideálního plynu v důsledku svého neuspořádaného posuvného pohybu.

Tato energie závisí na termodynamické teplotě, a to následujícím vztahem:

$$E_0 = \frac{1}{2}m_0{v_k}^2 = \frac{3}{2}kT$$

kde m_0 je hmotnost molekuly a k je tzv. Boltzmannova konstanta.

Platí pro ni, že **$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K**.

Pokud je k konstanta, je konstanta i (3/2)k a platí tedy, že **střední kinetická energie je přímo úměrná termodynamické teplotě**.

Z uvedeného vztahu můžeme také vyjádřit hodnotu v_k:

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

Střední kvadratické rychlosti molekul různých plynů jsou uvedeny v MFCHT tabulkách.

5. Teplota plynu z hlediska molekulové fyziky - procvičovací úlohy

1. **Vypočítejte střední kinetickou energii jedné molekuly ideálního plynu vyplývající z jejího neuspořádaného posuvného pohybu při teplotě 0 °C.** 4222

OK **$5{,}7 \cdot 10^{-21}$ J**

2. **Odvoďte jednotku Boltzmannovy konstanty.** 4216

OK J/K

3. **Vzorek argonu (Ar) o hmotnosti 100 g má teplotu 20 °C. Vypočítejte úhrnnou kinetickou energii všech jeho molekul při neuspořádaném posuvném pohybu. Potřebné veličiny k tomu vyhledejte v MFChT.** 4223

OK 9,1 kJ

4. **Vysvětlete, proč při styku dvou plynů, z nichž jeden má vyšší teplotu než druhý, odevzdává plyn o vyšší teplotě teplo plynu o nižší teplotě, a ne naopak. Zdůvodněte, proč se teploty obou plynů nakonec vyrovnají.** 4217

OK

5. **Mají molekuly ve směsi dvou plynů (např. ve vzduchu) při určité teplotě stejnou střední kvadratickou rychlost? Mají tyto molekuly stejnou střední kinetickou energii vyplývající z jejich neuspořádaného posuvného pohybu?** 4218

OK Ne; Ano

6. **Vyjádřete celkovou kinetickou energii E_k, kterou mají molekuly ideálního plynu v důsledku svého neuspořádaného posuvného pohybu.** 4219

OK $E_k = 3NkT/2$

7. **Určete poměr středních kvadratických rychlostí molekul vodíku a kyslíku při stejných teplotách.** 4221

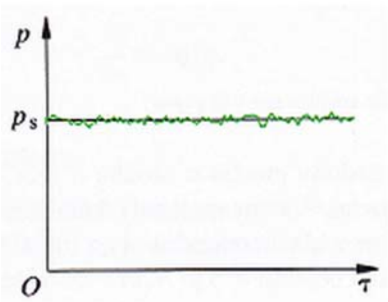
OK 4

8. **Vypočítejte střední kvadratickou rychlost molekul kyslíku při teplotách -100 °C, 0 °C a 100 °C.** 4220

OK **367 m . s^{-1}, 461 m . s^{-1}, 539 m . s^{-1}**

6. Tlak plynu z hlediska molekulové fyziky

Současné nárazy molekul plynu na rovinnou stěnu o obsahu S se projevují jako tlaková síla F plynu na stěnu. Vztah p = F/S vyjadřuje pak tlak plynu ve zvoleném okamžiku. Molekuly, které dopadají na stěnu, se pohybují neuspořádaně, a proto jejich počet i jejich rychlost se neustále mění. To způsobuje, že tlak plynu není konstantní, ale kolísá s časem σ kolem střední hodnoty p_s. Tento jev nazýváme **fluktuace tlaku**. Při velkém počtu molekul jsou odchylky proměnného skutečného tlaku p od jeho střední hodnoty p_s velmi malé a skutečný tlak p můžeme ztotožnit s jeho střední hodnotou p_s.



Pro střední hodnotu tlaku plynu v nádobě platí rovnice

$$p = \frac{1}{3} N_v m_0 v_k^{\,2}$$

Jedná se o **základní rovnici pro tlak plynu**.

Tlak je tedy přímo úměrný hustotě molekul N_v, hmotnosti molekuly m_0 a druhé mocnině střední kvadratické rychlosti v_k.

Pro hustotu molekul N_v platí, že $N_v = N/V$, kde N je počet molekul v nádobě o objemu V.

7. Tlak plynu z hlediska molekulové fyziky - procvičovací úlohy

1. **Molekula kyslíku se pohybuje kolmo na stěnu nádoby rychlostí 461 m . s^{-1}. Určete velikost změny její hybnosti po dokonale pružném odrazu od stěny nádoby.** 4228

OK 4,90 . 10^{-23} kg . m . s^{-1}

2. **Užitím modelu ideálního plynu vysvětlete, proč tlak plynu závisí na hustotě molekul N_v, na hmotnosti molekuly m_0 a na střední kvadratické rychlosti molekul v_k.** 4226

OK

3. **V nádobě o objemu 1,0 litr je oxid uhličitý o hmotnosti 0,001 g. Určete hustotu molekul N_v v nádobě. Jaká je hustota ϱ tohoto plynu?** 4224

OK 1,4 . 10^{22} m^{-3}; 10^{-3} kg . m^{-3}

4. **Proveďte jednotkovou kontrolu základní rovnice pro tlak ideálního plynu.** 4227

OK

5. **Ideální plyn o hmotnosti 3,8 . 10^{-2} kg je uzavřen v nádobě o objemu 10 litrů a má tlak 0,49 MPa. Určete střední kvadratickou rychlost jeho molekul.** 4230

OK 620 m . s^{-1}

6. **Hustota molekul plynu uzavřeného v nádobě o objemu 10 litrů je 2 . 10^{25} m^{-3}. Určete počet molekul plynu v nádobě.** 4225

OK 2 . 10^{23}

7. **Jaký je tlak kyslíku v uzavřené nádobě při teplotě 0 °C, je-li jeho hustota 1,41 kg . m^{-3}? Střední kvadratická rychlost molekul kyslíku při teplotě 0 °C je 461 m . s^{-1}.** 4229

OK 0,1 MPa

8. Stavová rovnice pro ideální plyn

Plyn, který je v rovnovážném stavu, lze charakterizovat stavovými veličinami: termodynamickou teplotou T, tlakem p, objemem V a počtem molekul N (popř. látkovým množstvím n nebo hmotností plynu m). Rovnice, která vyjadřuje vztah mezi těmito veličinami, se nazývá **stavová rovnice**.

Zatím víme, že platí:

$$p = \frac{1}{3}\frac{N}{V} m_0 v_k^{\,2}$$

což je základní rovnice pro tlak plynu, a dále platí vzorec pro střední kvadratickou rychlost molekul:

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

Pokud tuto střední kvadratickou rychlost dosadíme do prvního vzorce, dostáváme **první vyjádření stavové rovnice**:

pV = NkT

Jedná se o stavovou rovnici, kde p je tlak plynu, V je objem plynu, N je počet molekul, k je Boltzmannova konstanta a T je termodynamická teplota.

Látkové množství je dáno vztahem n = N/N_A, kde n je látkové množství, N je počet molekul a N_A je Avogadrova konstanta.

Pozn.: V soustavě SI vyjadřuje látkové množství číselně poměr počtu částic k počtu částic ve 12 g uhlíku 12, a to je

6,022 141 5 . 10^{23}, což nazýváme Avogadrovou konstantou. Základní jednotkou látkového množství je 1 mol. 1 mol je látkové množství soustavy, jejíž počet částic se rovná počtu atomů v 0,012 kg uhlíku 12 (= nukleonové číslo).

Z definice látkového množství je N = n . N_A, což dosadíme do výše uvedené stavové rovnice a dostaneme

pV = n . N_A . k . T

Součin N_A . k vypočteme a označíme R

R = N_A . k = 6,0221415 . 10^{23} . 1,38 . 10^{-23} = 8,31 (po zaokrouhlení)

R = 8,31 J . K^{-1} . mol^{-1}

Tuto konstantu nazveme **molární plynovou konstantou**.

Stavová rovnice má pak **druhé vyjádření**:

pV = nRT

Můžeme odvodit ještě třetí vyjádření, a to pomocí molární hmotnosti.

Platí: M_m = m/n, kde M_m je molární hmotnost, n je látkové množství a m je hmotnost látky.

Vyjádříme n = m/M_m a dosadíme do druhého tvaru stavové rovnice:

$$pV = \frac{m}{M_m} RT$$

Dostali jsme tak **třetí vyjádření stavové rovnice**.

9. Stavová rovnice ideálního plynu stálé hmotnosti

Mezi stavovými změnami ideálního plynu jsou důležité zejména takové změny, při kterých se mění tlak plynu p, jeho objem V a teplota T; přitom však hmotnost plynu m zůstává konstantní.

Předpokládejme, že počáteční stav plynu je charakterizován veličinami p_1, V_1, T_1, a konečný stav veličinami p_2, V_2, T_2.

Z teoretických úvah i z experimentu vyplývá, že jestliže se hmotnost plynu m nemění, platí mezi těmito veličinami vztah

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

A odtud tedy závěr, že

$$\frac{p \cdot V}{T} = konst.$$

Příklad:

V nádobě o objemu 10 litrů je ideální plyn při teplotě -23 °C a tlaku 10^5 Pa. Jaký bude jeho tlak, jestliže objem plynu se zmenší na 5 litrů a jeho teplota se zvýší na 127 °C? Hmotnost plynu je při této stavové změně stálá.

Řešení:

V_1 = 10 l
t_1 = -23 °C => T_1 = 250 K

$p_1 = 10^5$ Pa
$V_2 = 5$ l
$t_2 = 127$ °C => $T_2 = 400$ K
$p_2 = ?$ [Pa]

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$$

$$p_2 = \frac{p_1V_1T_2}{T_1V_2}$$

$$p_2 = \frac{10^5 \cdot 10 \cdot 400}{250 \cdot 5}$$

$p_2 = 320\,000$ Pa = 320 kPa

Pozn.: S ohledem na to, že se ve vzorci nevyskytuje sčítání ani odečítání, můžeme si dovolit ponechat objem v litrech a nemusíme ho tedy pro zjednodušení převádět na základní jednotku.

Závěr:

Výsledný tlak plynu po ukončení dané stavové změny je 320 kPa.

10. Stavová rovnice - procvičovací úlohy

1. **Jak se změní objem ideálního plynu, jestliže se jeho termodynamická teplota zvětší dvakrát a jeho tlak vzroste o 25 %?** 4239

OK Zvětší se 1,6krát.

2. **Vzduch má počáteční teplotu 10 °C. Jestliže jej stlačíme na třetinu původního objemu, vzroste jeho tlak čtyřnásobně. Jaká je jeho teplota po stlačení?** 4240

OK 104 °C

11. Izotermický děj s ideálním plynem

Izotermickým dějem nazýváme děj, při kterém je teplota stálá, tedy konstantní.

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$$

T = konst., proto:

$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$

neboli

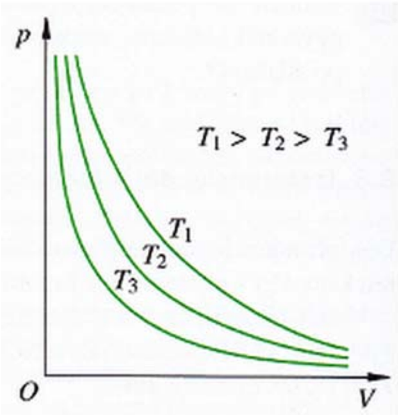
$p \cdot V =$ konst.

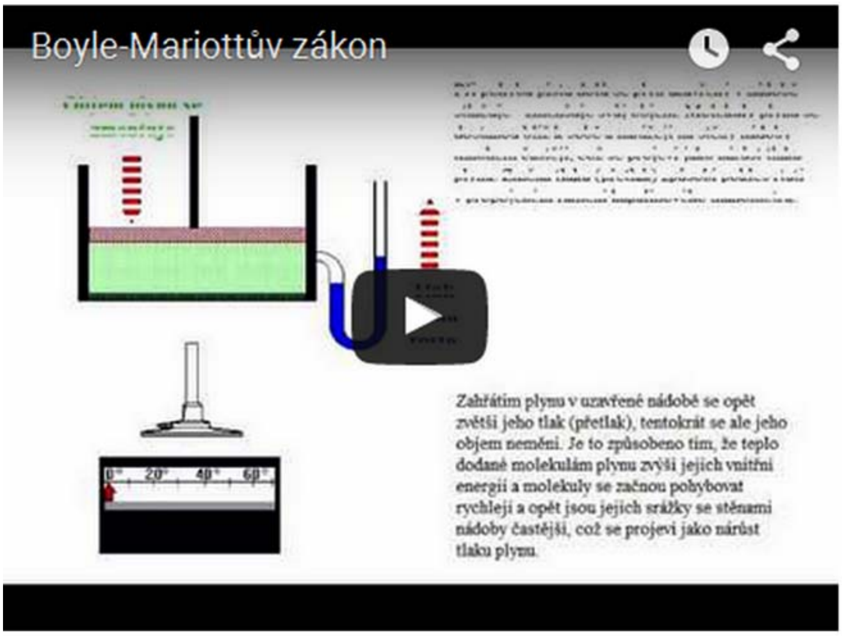
$$p = \frac{k}{V}$$

$$p \sim \frac{1}{V}$$

Při izotermickém ději s ideálním plynem stálé hmotnosti je tlak plynu nepřímo úměrný jeho objemu (zákon Boylův-Mariottův).

Graf vyjadřující tlak plynu stálé hmotnosti jako funkci jeho objemu při izotermickém ději se nazývá **izoterma**. Z Boylova-Mariottova zákona vyplývá, že izoterma ideálního plynu stálé hmotnosti m je **větev hyperboly**.





12. Izotermický děj - procvičovací úlohy

1. **V nádobě o vnitřním objemu 30 litrů je uzavřen plyn při tlaku 10 MPa. Jaký je jeho objem při normálním tlaku? Předpokládáme, že teplota plynu je stálá a plyn je za daných podmínek ideální.** 4242

OK $3{,}0 \,.\, 10^3$ litrů

2. **Užitím modelu ideálního plynu vysvětlete, proč se zvětší tlak plynu, jestliže se jeho objem při stálé teplotě a stálé hmotnosti zmenší.** 4241

OK

13. Izochorický děj s ideálním plynem

Jedná se o děj, při němž je **objem plynu stálý**. Zahříváme-li plyn určité hmotnosti tak, že jeho objem zůstává stálý, **zvětšuje se jeho tlak**. Závislost tlaku ideálního plynu na jeho termodynamické teplotě při tomto ději odvodíme ze stavové rovnice. Poněvadž při izochorickém ději je $V_1 = V_2$, dostáváme

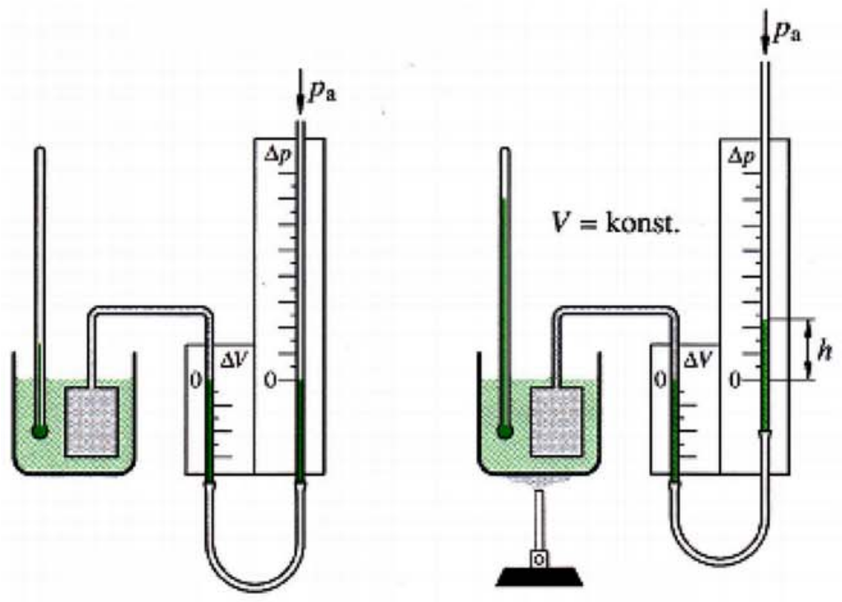
$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Závěr:

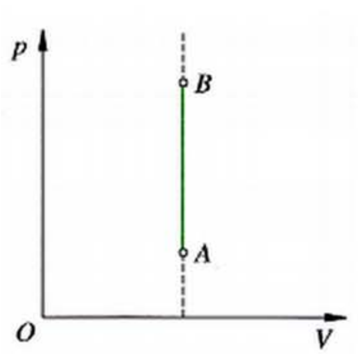
$$\frac{p}{T} = konst.$$

Při izochorickém ději s ideálním plynem stálé hmotnosti je tlak plynu přímo úměrný jeho termodynamické teplotě. Tento poznatek se nazývá **zákon Charlesův**.

Lze ověřit pokusem:

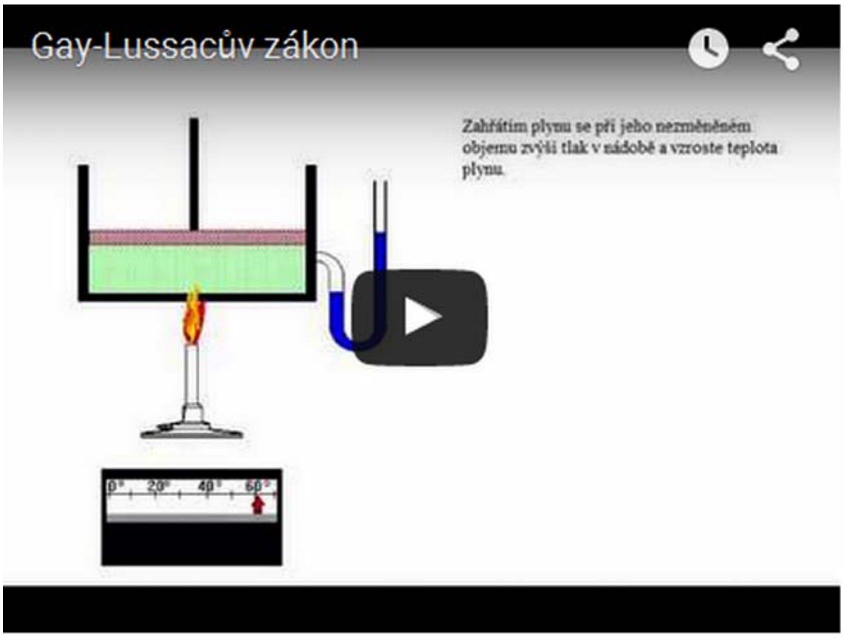


Graf závislosti tlaku na objemu při izochorickém jevu se nazývá **izochora**.



Tlak plynu konstantní hmotnosti plynu je při izochorickém ději přímo úměrný absolutní teplotě. Grafem závislosti tlaku na teplotě je tedy přímka (nebo její část) procházející počátkem.

Pozn.: Teplotní rozpínavost vzduchu určil francouzský fyzik Jacques Alexandre César Charles už v roce 1787 nezávisle na Gay-Lussacovi a Daltonovi, avšak veřejnost se o jeho výsledcích dozvěděla až na základě Gay-Lussacova článku, proto bývá tento zákon někdy také označován jako Gay-Lussacův izochorický zákon.



14. Izochorický děj - procvičovací úlohy

1. **Plyn uzavřený v nádobě má při teplotě 11 °C tlak 189 kPa. Při jaké teplotě bude mít tlak 1 MPa? Předpokládáme, že vnitřní objem nádoby je stálý a plyn je za daných podmínek ideální.** 4252

OK 1 500 K

2. **Užitím modelu ideálního plynu vysvětlete, proč se zvětší tlak plynu stálé hmotnosti, jestliže se jeho teplota při stálém objemu zvětší.** 4251

OK

15. Izobarický děj s ideálním plynem

Je to děj, při němž je tlak plynu stálý. Zahříváme-li plyn určité hmotnosti tak. že jeho tlak udržujeme stálý, zvětšuje se objem plynu. Poněvadž při izobarickém ději je tlak plynu v počátečním a koncovém stavu stejný $p_1 = p_2$, dostáváme ze stavové rovnice:

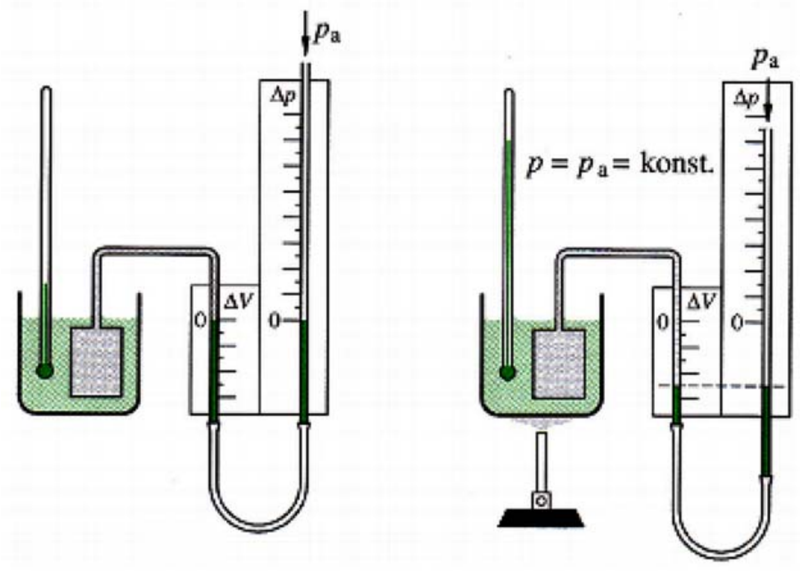
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Závěr:

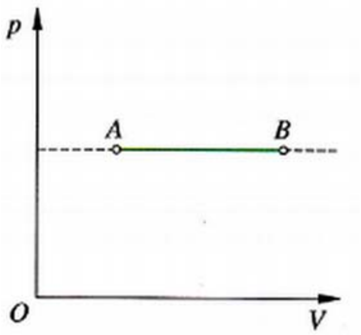
$$\frac{V}{T} = konst.$$

Při izobarickém ději s ideálním plynem stálé hmotnosti je objem plynu přímo úměrný jeho termodynamické teplotě. Tento poznatek se nazývá **zákon Gay-Lussacův**.

Pokus, kterým lze Gay-Lussacův zákon ověřit:



Graf závislosti tlaku na objemu plynu stálé hmotnosti př izobarickém ději se nazývá **izobara**. Při izobarickém ději je tlak plynu stálý, a proto izobara je úsečka rovnoběžná s osou V.



16. Izobarický děj - procvičovací úlohy

1. **Teplota kyslíku dané hmotnosti se zvětšuje za stálého tlaku z počáteční teploty -20 °C. Při jaké teplotě má kyslík 1,5krát větší objem než při teplotě počáteční?** 4255

OK 107 °C

2. **Užitím modelu ideálního plynu vysvětlete, proč se zvětší objem plynu stálé hmotnosti, jestliže se jeho teplota při stálém tlaku zvětší.** 4254

OK

3. **Jak se mění při izobarickém ději s ideálním plynem stálé hmotnosti objem plynu s rostoucí termodynamickou teplotou? Vyjádřete funkci V=f(T) matematickým vztahem a grafem.** 4253

OK

17. Stavové změny ideálního plynu z hlediska energie

Izotermický děj

Teplo přijaté ideálním plynem při izotermickém ději se rovná práci, kterou plyn při tomto ději vykoná.

$Q_T = W$

Izochorický děj

Teplo přijaté ideálním plynem při izochorickém ději se rovná přírůstku jeho vnitřní energie.

$Q_v = c_v \cdot m \cdot \Delta T$

kde c kde c_v je měrná tepelná kapacita plynu při stálém objemu.

$Q_v = \Delta E$

Izobarický děj

Teplo přijaté ideálním plynem při izobarickém ději se rovná součtu přírůstku jeho vnitřní energie a práce, kterou plyn vykoná.

$Q_p = c_p \cdot m \cdot \Delta T$

kde c_p je měrná tepelná kapacita plynu při stálém tlaku.

$Q_p = \Delta E + W$

18. Adiabatický děj s ideálním plynem

Pří adiabatickém ději **neprobíhá tepelná výměna mezi plynem a okolím**. Při tomto ději je tedy Q = 0, takže z prvního termodynamického zákona $\Delta U = Q + W$ dostáváme

$\Delta U = W$

Při **adiabatickém stlačení** plynu v nádobě se působením vnější síly na píst koná práce; jeho **vnitřní energie a tedy teplota plynu se zvětšuje**. Při **adiabatickém rozpínání** koná práci plyn; jeho **vnitřní energie a tedy teplota plynu se při tom zmenšuje**.

Pro adiabatický děj s ideálním plynem platí **Poissonův zákon**.

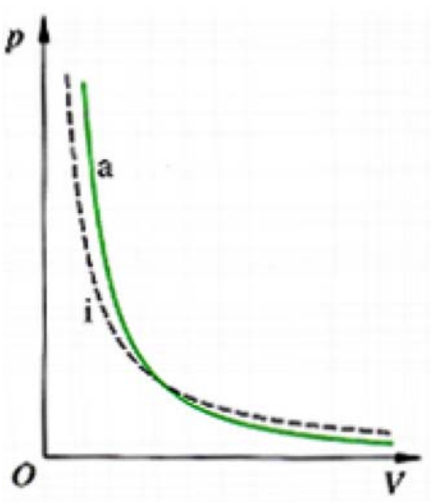
$pV^{\kappa} = \text{konst.}$

kde

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

Poissonova konstanta - je různá pro různé druhy plynu a je uvedena v MFCHT tabulkách.

Graf závislosti tlaku plynu stálé hmotnosti na jeho objemu při adiabatickém ději vyjadřuje křivka, která se nazývá **adiabata**. Má podobný průběh jako izoterma, ale klesá vždy strměji.



S adiabatickou kompresí se setkáme např. u vznětových motorů, kde při adiabatické kompresi vzduchu se zvýší jeho teplota na zápalnou teplotu nafty ve velmi krátkém časovém okamžiku, takže plyn nestačí odevzdat teplo do okolí.

19. Adiabatický děj - procvičovací úlohy

1. **Sněhové hasicí přístroje obsahují oxid uhličitý, který v rovnovážném stavu má teplotu okolního vzduchu. Vysvětlete, proč se při otevření uzavírajícího ventilu vytvářejí vločky pevného oxidu uhličitého CO_2. V čem spočívá hasicí účinek tohoto přístroje a pro které účely je vhodný?** 4256

OK

2. **Vysvětlete, proč izotermický, izochorický, izobarický a adiabatický děj jsou jen modely skutečných dějů probíhajících v přírodě nebo v technické praxi.** 4257

OK

3. **Uveďte příklady adiabatických dějů, které se vyskytují v přírodě nebo v praxi.** 4258

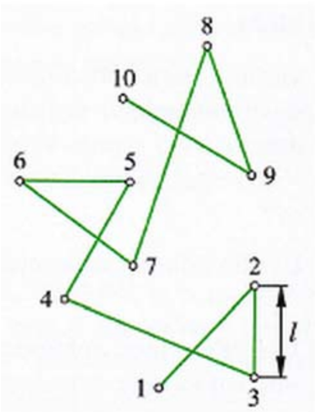
OK

20. Plyn při nízkém a vysokém tlaku

Odčerpáváme-li z nádoby při stálé teplotě plyn, **zmenšuje se hustota molekul** N_v v nádobě a **snižuje se tlak plynu**. Molekuly se tak mohou pohybovat volněji, nenastává tolik srážek mezi nimi. Pro popis této dráhy definujeme statistickou veličinu, kterou je **střední volná dráha molekuly λ**, která je aritmetickým průměrem volných drah všech molekul. Je uvedena v MFCHT tabulkách.

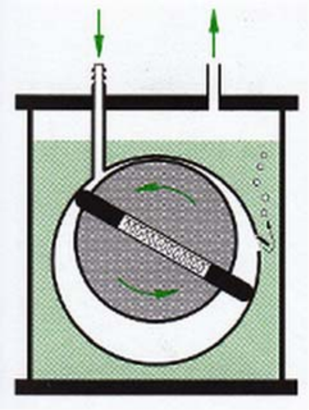
Střední volná dráha molekul je nepřímo úměrná tlaku. Proto platí:

$$\lambda \sim \frac{1}{p}$$



Počet srážek pak vyjadřuje **střední srážková frekvence molekul z**, která je určena počtem srážek jedné molekuly za jednotku času. Rychlost pohybu molekul je značná a dosahuje běžně rychlosti kolem 1000 km/h.

Ke snižování tlaku v uzavřené nádobě se používá **vývěva**. Rotační olejovou vývěvu ukazuje následující obrázek:



Užití sníženého tlaku v praxi: Výroba obrazovek, žárovky, zářivky, výbojky, urychlovače částic, elektronové mikroskopy, balení potravin, výroba antibiotik v lékařství

Při stlačování plynu naopak roste tlak plynu, zvětšuje se hustota molekul N_V, zmenšuje se jejich střední volná dráha λ, zvětšují se i přitažlivé síly mezi molekulami. Při vyšších tlacích se plyn mění v kapalinu.

Praktické využití plynů při vysokém tlaku: Svařování, hasicí přístroje, kyslíkové bomby ve zdravotnictví

21. Plyn při nízkém a vysokém tlaku - procvičovací úlohy

1. **Střední volná dráha molekuly oxidu uhličitého při tlaku $p_n = 10^5$ Pa je přibližně 3,9 . 10^{-8} m. Určete střední volnou dráhu molekuly oxidu uhličitého při tlaku a) 1 Pa; b) 10^7 Pa.** 4296

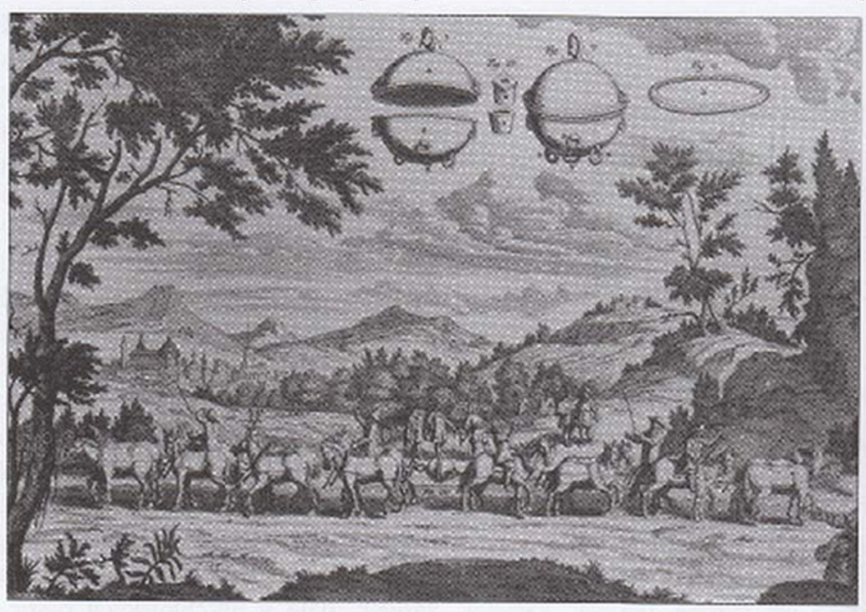
!!!
OK 3,9 . 10^{-3} m; 3,9 . 10^{-10} m

2. **Uveďte příklady využití plynu při nízkém a vysokém tlaku v technice i v různých vědních oborech.** 4294

!!!
OK

3. **Vysvětlete z hlediska molekulově fyziky známý historický pokus s magdeburskými polokoulemi. Pokus provedl v r. 1654 magdeburský starosta O. Van Guericke (von gerike 1602 -1686). Polokoule, ze kterých byl vyčerpán vzduch, odtrhlo od sebe až 8 párů koní.**

4295



!!! Německý fyzik Otto von Guericke, starosta města Magdeburgu, v roce 1654 předvedl dramatický experiment, ve kterém ukázal sílu vakua a dokázal existenci atmosféry Země. Guericke spojil dvě duté měděné polokoule s úchyty o průměru 51 cm (Magdeburské polokoule) a ze vzniklé dutiny vypumpoval vzduch. Pak nechal zapřáhnout ke každé polokouli 4 páry koní a ukazoval, že ani 16 koní není schopno od sebe polokoule oddělit. Poté, co nechal do dutiny opět vniknout vzduch, se od sebe obě polokoule oddělily samovolně.

OK

Obsah

- *1. Ideální plyn* 2
- *2. Rozdělení molekul plynu podle rychlostí* 2
- *3. Střední kvadratická rychlost* 2
- *4. Teplota plynu z hlediska molekulové fyziky* 3
- *5. Teplota plynu z hlediska molekulové fyziky - procvičovací úlohy* 3
- *6. Tlak plynu z hlediska molekulové fyziky* 4
- *7. Tlak plynu z hlediska molekulové fyziky - procvičovací úlohy* 5
- *8. Stavová rovnice pro ideální plyn* 5
- *9. Stavová rovnice ideálního plynu stálé hmotnosti* 6
- *10. Stavová rovnice - procvičovací úlohy* 7
- *11. Izotermický děj s ideálním plynem* 7
- *12. Izotermický děj - procvičovací úlohy* 8
- *13. Izochorický děj s ideálním plynem* 8
- *14. Izochorický děj - procvičovací úlohy* 10
- *15. Izobarický děj s ideálním plynem* 10
- *16. Izobarický děj - procvičovací úlohy* 11
- *17. Stavové změny ideálního plynu z hlediska energie* 11
- *18. Adiabatický děj s ideálním plynem* 12
- *19. Adiabatický děj - procvičovací úlohy* 13
- *20. Plyn při nízkém a vysokém tlaku* 13
- *21. Plyn při nízkém a vysokém tlaku - procvičovací úlohy* 14