

Otázka: Stavová rovnice ideálního plynu

Předmět: Fyzika

Přidal(a): Michaela H

Ideální plyn

- nahrazujeme jím reálný plyn

Tři předpoklady molekul ideálního plynu:

- **Rozměry** molekul ideálního plynu jsou **zanedbatelně malé** ve srovnání se **střední vzdáleností** molekul od sebe.
- Molekuly ideálního plynu na sebe **navzájem silově nepůsobí** kromě **vzájemných srážek**
- Vzájemné **srážky molekul** ideálního plynu a srážky těchto molekul se **stěnami nádoby** jsou **dokonale pružné**.

Vlastnosti ideálního plyny

- **Vnitřní energie** ideálního plynu s **jednoatomovými** molekulami se rovná součtu **kinetických energií** jeho molekul pohybujících se **neuspořádaným posuvným pohybem**
- **Vnitřní energie** ideálního plynu s **víceatomovými** molekulami zahrnuje kromě toho ještě energii molekul konajících **rotační pohyb** a energii **kmitajících atomů** v molekulách
- Skutečné plyny se svými vlastnostmi **přibližují** vlastnostem ideálního plynu, jestliže mají

dostatečně **vysokou teplotu a nízký tlak**

Rozdělení molekul ideálního plynu podle rychlosti

- Rozdělení molekul plynu podle rychlostí matematicky odvodil anglický fyzik **C. Maxwell**. Pomocí tzv. **Lammertova pokusu** bylo zjištěno, že rychlosti molekul jsou různé.
- **Tabulkou (pro daný počet molekul)**

$(v, v + \Delta v) / (\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$\Delta N/N$	
0 - 100	0,014	1,4 %
100 - 200	0,081	8,1 %
200 - 300	0,165	16,5 %
300 - 400	0,214	21,4 %
400 - 500	0,206	20,6 %
500 - 600	0,151	15,1 %
600 - 700	0,092	9,2 %
700 - 800	0,048	4,8 %
800 - 900	0,020	2 %
nad 900	0,009	0,9 %

- $(v, v + \Delta v) / \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$... zvolené intervaly rychlosti
- $\Delta N/N$... střední relativní četnost molekul
- **Histogramem**
 - Nahodilými srážkami mohou molekuly plynů vzduchu získat i **větší rychlost**, než je **úniková rychlost v gravitačním poli Země** a uniknou tak ze zemské atmosféry, jejich počet je ale tak malý, že **Země** svoji **atmosféru** prakticky **neztrácí**

Střední kvadratická rychlost

- **Okamžitá rychlost** molekul plynu je **náhodná veličina**, proto se také **mění** kinetická **energie** posuvného pohybu jednotlivých molekul
- Srážky jsou **pružné**, proto je vnitřní kinetická energie E_k konstantní
- Na každou molekulu plynu připadá **střední kinetická energie** E_k/N , kde **N** je **počet molekul**
- Zavádíme pojem **střední kvadratická rychlost**, značíme ji v_k a je to statistická veličina, která vyjadřuje **rychlost**, jíž by se **měly** pohybovat všechny molekuly při **nezměněné** celkové vnitřní kinetické energii soustavy, vypočítáme ji ze vzorce:
 - $v_k = \sqrt{(3kT)/(m)}$
- **Boltzmannova konstanta** $k \approx 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$, **T** **termodynamická teplota** plynu a **m** **hmotnost** jedné molekuly

Střední kinetická energie molekuly plynu

- Ze vztahu pro **střední kvadratickou rychlost** vyplývá, že molekula ideálního plynu má v důsledku svého neuspořádaného posuvného pohybu **střední kinetickou energii** E_k , pro kterou platí:
 - $E_k = \frac{1}{2} m_0 v_k^2$
 - jedná se o E_k jedné molekuly plynu
- Každá molekula ideálního plynu má v důsledku neuspořádaného posuvného pohybu **střední kinetickou energii**, která je přímo úměrná **termodynamické teplotě** plynu
- Vztah pro E_k umožňuje vyjádřit **vnitřní energii U** ideálního plynu s **N jednoatomovými molekulami**, platí tedy:
- Dosadíme-li do tohoto vztahu $N = nN_A$ a součin kN_A označíme **R**, kde **n** je **látkové množství plynu**, **R** **molární plynová konstanta** a **T** **termodynamická teplota** plynu

Tlak plynu

- **Tepelný pohyb** molekul plynu uzavřeného v nádobě má za **následek** srážky těchto

molekul s částicemi vnitřních stěn nádoby, což se projevuje jako **střední tlaková síla F** plynu na určitou plochu **S**

- Vztah $p = F/S$ vyjadřuje **střední hodnotu tlaku plynu**, který můžeme změřit manometrem, např. **kapalinovým**
- **Tlak ideálního plynu** je přímo úměrný **hustotě molekul $N_v = N/V$** , **hmotnosti m_0** jedné molekuly a druhé mocnině **střední kvadratické rychlosti v_k** , matematicky tuto závislost vyjadřuje základní rovnice pro tlak ideálního plynu
 - $p = 1/3 * N/V * m_0 v_k^2$

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**
- Existují **další stavové veličiny**, souhrnně se jedná o takové veličiny, které nám charakterizují stav soustavy (teplota, objem, tlak, magnetizace, ...) k určení stavu je zapotřebí znát určitý minimální počet stavových veličin, ostatní stavové veličiny jsou na nich závislé
- Rovnice, která vyjadřuje vztah mezi těmito veličinami se nazývá stavová rovnice

Popis stavu plynu veličinami	Tvar stavové rovnice
p, V, T, N	$pV = NkT$
p, V, T, n	$pV = nRT$
p, V_m, T	$PV_m = RT$
p, V, T, m, M_m	$pV = m/M_m RT$
p, V, T ($m = \text{konst.}$) resp. p_1, V_1, T_1 (1. stav) p_2, V_2, T_2 (2. stav)	$pV/T = \text{konst.}$ resp. $p_1 V_1 / T_1 = p_2 V_2 / T_2$

Avogadrův zákon

- Mají-li dva plyny stejný **objem, tlak a teplotu**, pak pro ně platí rovnice **$pV = N_1 kT$** , **pV**

= $N_2 kT$, ze kterých dostáváme $N_1 = N_2$

- Tuto skutečnost vyjadřuje **Avogadrův zákon**:
 - **Různé ideální plyny o stejném objemu, teplotě a tlaku mají stejný počet molekul.**

Izotermický děj s ideálním plynem

- Děj, při kterém je **teplota plynu stálá**, se nazývá **izotermický děj**, ze stavové rovnice ideálního plynu vyplývá:
 - Při izotermickém ději s ideálním plynem **stále hmotnosti** je součin **tlaku a objemu plynu stálý** (Boylův-Mariottův zákon):
 - **$pV = \text{konst.}$, resp. $p_1V_1 = p_2V_2$**
 - **Neboli**: Tlak ideálního plynu při izotermickém ději je nepřímo úměrný jeho objemu.
- Graf vyjadřující tlak plynu **stále hmotnosti** jako funkci jeho objemu při izotermickém ději se nazývá **izoterma**
- Při izotermickém ději je **$\Delta U = 0$** a z **prvního termodynamického zákona** vyplývá:
 - Teplo **Q_T** přijaté ideálním plynem při **izotermickém ději** je rovno práci **W'** kterou plyn při tomto ději vykoná: **$Q_T = W'$**

Izochorický děj s ideálním plynem

- Děj, při němž je **objem plynu stálý**, se nazývá **izochorický děj**, ze stavové rovnice pro ideální plyn vyplývá:
 - Při izochorickém ději s ideálním plynem **stále hmotnosti** je tlak plynu přímo úměrný jeho termodynamické teplotě (zákon Charlesův):
 - **$p/T = \text{konst}$**
- Graf vyjadřující tlak plynu **stále hmotnosti** jako funkci jeho **termodynamické teploty** nebo jeho **objemu** při izochorickém ději se nazývá **izochora**
- Při izochorickém ději **plyn nekoná práci** a z **prvního termodynamického zákona** vyplývá:

- Teplo Q_v přijaté ideálním plynem při **izochorickém ději** se rovná **přírůstku ΔU** a jeho vnitřní energie: $Q_v = \Delta U = c_v m \Delta T$, kde c_v je měrná tepelná kapacita plynu při stálém objemu, ΔT přírůstek teploty.

Izobarický děj s ideálním plynem

- Děj, při kterém je **tlak plynu stálý**, se nazývá **izobarický děj**, ze stavové rovnice pro ideální plyn vyplývá:
 - Při izobarickém ději s ideálním plynem **stálé hmotnosti** je objem plynu přímo úměrný jeho termodynamické teplotě (zákon Gay-Lussacův): $V/T = \text{konst}$
- Graf vyjadřující objem plynu **stálé hmotnosti** jako funkci jeho termodynamické teploty, resp. tlak plynu jako funkci jeho objemu, při **izobarickém ději** se nazývá **izobara**
- **Mění se vnitřní energie plynu** a plyn **koná práci**, tedy dostáváme z **prvního termodynamického zákona**:
 - Teplo Q_p přijaté ideálním plynem při **izobarickém ději** se rovná součtu přírůstku ΔU jeho vnitřní energie a práce, kterou plyn vykoná. $Q_p = \Delta U + W' = c_p m \Delta T$, kde c_p je měrná tepelná kapacita plynu při **stálém tlaku**.

Adiabatický děj s ideálním plynem (= Poissonův zákon)

- Při adiabatickém ději **neprobíhá tepelná výměna** mezi plynem a jeho okolím
- Při tomto ději je tedy $Q = 0$, takže z **prvního termodynamického zákona** vyplývá vztah $\Delta U = W$
- Při **adiabatickém stlačení (kompresi)** plynu v nádobě se působením vnější síly na **píst koná práce**. **Teplota** plynu a jeho **vnitřní energie** se **zvětšují**
- Při **adiabatickém rozpínání (expanzi)** **koná plyn práci**. **Teplota** plynu a jeho **vnitřní energie** se při tom **zmenšují**.
- Pro adiabatický děj s ideálním plynem stálé hmotnosti platí Poissonův zákon:
 - $pV^\kappa = \text{konst.}$, kde κ (**kappa**) = c_p/c_v je **Poissonova konstanta**
- Poněvadž $c_p > c_v$, je $\kappa > 1$
- **Poissonova konstanta** závisí na druhu plynu a její hodnoty pro různé plyny jsou uvedeny v MFChT

- Graf vyjadřující tlak plynu **stálé hmotnosti** jako funkci jeho objemu při adiabatickém ději se nazývá **adiabata**