

1 IDEÁLNE A REÁLNE PLYNY

*„Treba mať vytrvalosť a vieru v seba,
treba veriť, že niečo dokážem
a dokázať to za každú cenu.“*

Mária Curie

V tejto kapitole sú popísané základné pojmy, veličiny a zákony pre ideálne a reálne plyny. V **stati 1.1** sú spomenuté **základné vlastnosti ideálneho plynu**; v **stati 1.2** sa pojednáva o základných **charakteristikách zmesí ideálnych plynov** a v **časti 1.2.1** je odvodená **stavová rovnica zmesi plynů** ako aj vzťahy pre výpočet veličín umožňujúcich vyjadriť **podieľy jednotlivých zložiek zmesi ideálneho plynu**.

V **stati 1.3** je charakterizovaný **reálny plyn**; v **časti 1.3.1** sú popísané **základné vlastnosti reálnych plynov**, **Amagatov diagram** a **časť 1.3.2** vysvetľuje **odlišnosti** v chovaní **ideálnych a reálnych plynov** – **Andrewsov diagram** CO_2 , charaktizuje **vlastnosti plynu v kritickom bode**, **Van der Waalova rovnica** pre reálny plyn je v **časti 1.3.3**, základné **fázové zmeny plynu**, vyjadrenie stavových veličín v **kritickom bode** – p_k , V_k , T_k a konštanty a , b , R sú uvedené v **časti 1.3.4**, **zovšeobecnenie stavovej rovnice** je podané v **časti 1.3.5**. **Stat' 1.4** predstavuje **aplikácie stavových rovníc** reálnych plynov. **Stat' 1.5** pojednáva o **vnútornej energii** reálnych plynov. V **stati 1.6** sú uvedené otázky a úlohy na zamyslenie.

Cieľ:

- I.) **Definovať základné pojmy, veličiny, analyzovať zákony a zákonitosti uvedené v kapitole, poukázať na ich praktickú aplikáciu.**
- II.) **Rozvíjať schopnosť študentov samostatne analyzovať fyzikálne problémy, navrhnúť a zdôvodniť ich riešenie.**

1.1 IDEÁLNE PLYNY

Častice ideálneho plynu sú hmotné body, ktoré konajú dokonale neusporiadaný pohyb, vzájomne na seba nenarádzajú, nepôsobia vzájomne na seba silami (vnútorné sily sú nulové) a zrážky týchto molekúl na steny nádoby sú dokonale pružné. Keďže molekuly ideálneho plynu nepôsobia na seba navzájom silami, je potenciálna energia sústavy molekúl ideálneho plynu nulová. Vnútorná energia ideálneho plynu sa rovná súčtu kinetických energií jeho molekúl pohybujúcich sa neusporiadaným pohybom.

Ideálny plyn je definovaný ako plyn, pri ktorom vzájomnú závislosť medzi stavovými veličinami (tlak – p , objem – V , termodynamická teplota – T) vyjadruje stavová rovnica ideálneho plynu – $pV = RT$ ($R = 8,314472 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$, molárna plynová konštantá). Pre ideálny plyn platí:

- 1.) vnútorná energia ideálnych plynov závisí od teploty,
- 2.) hmotnostné tepelné kapacity ideálnych plynov c_p a c_v nezávisia od teploty a tlaku, ich rozdiel je konštantná veličina – špecifická plynová konštantá r ($c_p - c_v = r$),
- 3.) koeficienty teplotnej objemovej rozťažnosti (pri $p = \text{konšt.}$) a izochorickéj rozpínavosti (pri $V = \text{konšt.}$) majú v rozsahu všetkých teplôt konštantnú hodnotu ($\alpha = \beta = \frac{1}{273,15}$),
- 4.) ideálne plyny zostávajú v plynnom stave až do absolútnej nuly, t.j. neskva-palnejú, teoreticky je ich objem pri $T = 0 \text{ K}$ rovný nule.

Pri normálnych podmienkach ($t_n = 0\text{ }^\circ\text{C}$, $p_n = 1,013\ 25 \cdot 10^5\ \text{Pa}$) možno väčšinu plynov s dostatočným stupňom presnosti považovať za ideálny plyn.

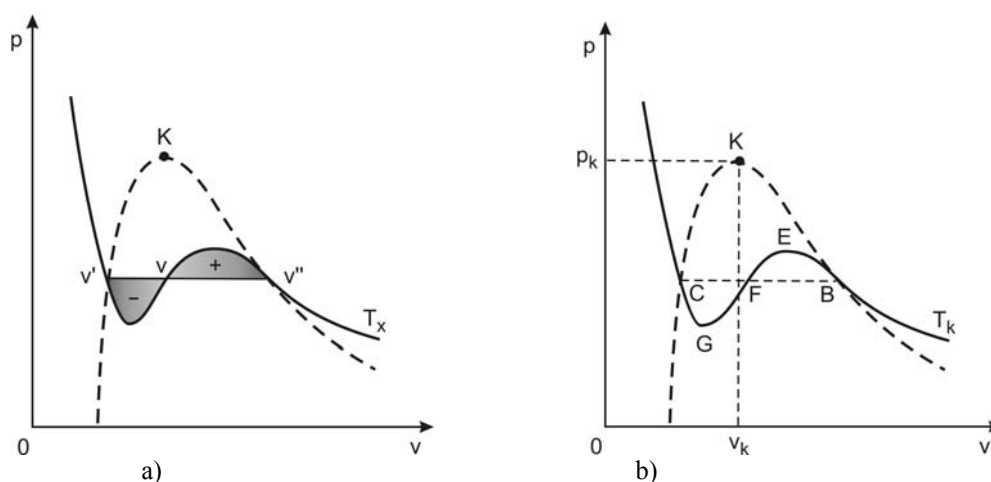
1.3.4 Stavová rovnica v kritickom bode

Rovnicu van der Waalsovu (1.14) možno upraviť na tvar

$$V^3 - \left(b + \frac{R.T}{p}\right)V^2 + \frac{a}{p}V - \frac{a.b}{p} = 0 \quad (1.17)$$

Podľa tejto rovnice môžeme tvrdiť, že izoterma nie je krivkou lomenou na rozdiel od Andrewsovej izotermy. Táto kontinuálna izoterma sa nazýva **izoterma van der Waalsova** a je znázornená na obr. 1.5.

Ak dosadíme do rovnice (1.17) za tlak a teplotu určité hodnoty, zostane v rovnici jedinou premennou objem V , pre ktorý je táto rovnica rovnicou tretieho stupňa a má tri korene. V oblasti pod kritickým bodom sú všetky tri korene reálne, pretože priamka rovnobežná s osou V (izobara) v tejto oblasti pretne každú van der Waalsovu izotermu trikrát. V oblasti nad kritickým bodom každá izobara pretne každú izotermu len v jednom bode, čo znamená, že len jeden koreň rovnice (1.17) je reálny, ostatné dva sú komplexne združené.



Obr. 1.5. a), b) Izotermy reálneho plynu

Experimenty ukazujú, že aspoň určité časti vlnovky na van der Waalsových izotermách (pre $T < T_k$) môžu svojím priebehom naznačovať správanie sa reálneho plynu. V oblasti ohraničenej čiarkovanou krivkou má maximum a minimum (obr.1.5a). Svojím priebehom v tejto oblasti naznačuje tzv. **metastabilný stav**. Stav, ktoré týmto častiam van der Waalsových izoterm zodpovedajú, nazývame metastabilné, pretože pri najmenšom popude zvonku sa plyn, či kvapalina vracajú do rovnovážneho stavu daného rovinnými úsekmi izoterm na obr. 1.5 b). Bolo zistené, že ak plyn v stave označenom na obr. 1.5.b) bodom B, ktorý je dôkladne očistený od prachových častíc, veľmi pomaly stlačíme, zvyšuje sa jeho tlak, t.j. prebieha skvapalňovanie pozdĺž van der Waalsovej izotermy medzi bodmi B a E na obr. 1.5 b) – vzniká *metastabilný stav presýtenej pary*. Ak sa do pary dostane nečistota – prachového zrnko, potom na ňom začne para kondenzovať a systém prejde skokom do stabilnejšieho stavu koexistencie dvoch fáz (danej bodmi BC).

Podobne ak veľmi pomaly zväčšujeme objem kvapaliny, ktorá je v stave označenom bodom C (na obr. 1.5 b), a ktorá je zbavená mikroskopických nečistôt a plynových bublín, bude tlak v tejto kvapaline klesať, t.j. prebieha vyparovanie pozdĺž van der Waalsovej izotermy medzi bodmi C a G na obr. 1.5 b) – vzniká *metastabilný stav prehriatej kvapaliny*. Pri vniknutí nečistôt alebo bublín do

kvapaliny nastane prudký var a skok do rovnovážneho stavu, ktorému odpovedá rovinný úsek izotermy príslušnej teploty skúmanej látky (medzi bodmi CB).

Z obr. 1.5 b) je zrejmé, že prechod zo stavu označeného bodom B do stavu označeného bodom C , alebo naopak, možno realizovať buď cez stavy reprezen-tované úsečkou BC , alebo cez stavy reprezentované krivkou $BEFGC$. Prvý dej je vratný. Druhý dej môžeme uvažovať iba formálne, pretože nijaká homogénna látka (jednofázový systém), t.j. buď kvapalina alebo plyn v celom svojom objeme nemôže prejsť cez stavy označené krivkou GFE (pri zväčšovaní/zmenšovaní objemu by sa zväčšil/zmenšil tlak). Keby sa aj kvapalina či plyn dostali nejakým spôsobom do jedného z týchto stavov, v dôsledku fluktuácií, t.j. aj bez vonkajších zásahov, by sa rozpadli na dve fázy – kvapalinu a jej paru (dvojfázový systém).

1.6 OTÁZKY A ÚLOHY

1. Prečo nie je možné skvapalniť reálny plyn nad kritickou teplotou zvyšovaním tlaku? Vysvetlite pomocou p-V diagramu!
2. Za akých podmienok dochádza k skvapalneniu pary? Vysvetlite pomocou p-V diagramu!
3. Pojednajte o reálnom plyne a stavových rovniciach reálnych plynov.
4. Platí redukovaná van der Waalova stavová rovnica pre akúkoľvek látku, vysvetlite!
5. Za akých podmienok je chovanie sa reálnych a ideálnych plynov málo odlišné, resp. kedy sa rozdiel zväčšuje!
6. Aký je priebeh izoterm pod a nad kritickou teplotou? Vysvetlite odlišnosti!
7. Ako môže dôjsť ku zmene stavu koexistencie dvoch fáz (kvapalina – plyn) na stav metastabilný (prehriata kvapalina, resp. presýtená para) ?
8. Je možné zistiť objemový podiel určitej zložky plynu? Ak áno, tak ako?
9. Prečo nie je vnútorná energia ideálneho a reálneho plynu pri rovnakej teplote rovnaká? Zdôvodnite.
10. Prečo je latentné teplo kondenzácie (vyparovania) v kritickom bode K rovné nule?

8 ELEKTROMAGNETICKÉ VLNIENIE, JEHO APLIKÁCIE

„Trebá tri veci, aby ste niečo docielili:
tvrdá práca, vytrvalosť a zdravý rozum.“

Thomas Alva Edison

Kapitola 8 obsahuje základné pojmy, veličiny a zákony z elektromagnetického vlnenia. V **stati 8.1** je objasnená **existencia elektromagnetického poľa**, **časť 8.1.1** pojednáva o **energii prenášanej elektromagnetickým vlnením**; **stat' 8.2** popisuje **spektrum elektromagnetického vlnenia**, v **časti 8.2.1** je to **kozmicke žiarenie**, jeho **detekcia a účinky**, v **časti 8.2.2** **gama žiarenie (γ)** jeho **fyziológické účinky, interakciu s materiálmi, ochranu pred účinkami a využitie**, v **časti 8.2.3** **röntgenové žiarenie (R)**, jeho **zdroje a využitie**, v **časti 8.2.4** **ultrafialové žiarenie (UV)**, **časť 8.2.5** sa zaoberá **infračerveným žiarením (IR)**, **zdrojmi a využitím** a v **časti 8.2.6** **mikrovlnným žiarením**.

Stat' 8.3 charakterizuje **spektrá látok**; v **stati 8.4** sú definované **základné rádiometrické a fotometrické veličiny** a to v **časti 8.4.1 rádiometrické veličiny** a v **časti 8.4.2 fotometrické veličiny**; **stat' 8.5** sa zaoberá **absorpciou žiarenia** a definuje **Lambertov zákon**; **stat' 8.6** venovaná **tepelnému žiareniu látok**, v **časti 8.6.1** analyzuje **žiarenie absolútne čierneho telesa** a popisuje **základné zákony vyžarovania**; **stat' 8.7** približuje princípy **holografie**. V **stati 8.8** sú uvedené **základné dozimetrické veličiny**. **Stat' 8.9** obsahuje otázky a úlohy na zamyslenie.

8.2.5.2 Využitie infračerveného žiarenia

Sníma sa infračervené vyžarovanie priamo povrchom objektu alebo odrazené žiarenie z povrchu objektu, ktorému je tepelná energia dodávaná z vonkajšieho zdroja (zábleskové lampy, halogénové výbojky, infražiariče, laser). Prevádzaním vyžarovaného alebo odrazeného infračerveného žiarenia povrchu na obrazový signál, resp. záznam sa zaoberá *termografia*.

Obrazový signál sa zobrazuje ako rad farebných odtieňov a každý znamená určitý teplotný rozsah. Na základe vyhodnocovania zobrazených teplotných polí je možné získať cenné informácie o rôznych javoch, ktoré súvisia so zmenou teploty. Snímacie kamery môžu pracovať na princípe tepelných snímačov, kde dochádza pri absorpcii fotónov k otepleniu citlivej časti senzora a pohltená energia sa vyhodnocuje nepriamo cez senzory teploty alebo cestou fotoelektrického javu v polovodičoch.

Obrazový záznam umožňuje zachytiť okamžité rozloženie teplotných polí využitím citlivosti špeciálnych fotografických emulzií na rôzne dĺžky dopadajúceho infračerveného žiarenia.

Termografia sa využíva v rôznych odvetviach priemyslu, napr. pri nedeštruktívnej defektoskopii, pri kontrole strojových dielov, elektrických rozvodov, tepelných izolácií; v stavebníctve pri kontrole obvodových plášťov (obr. 8.13).

Podobné je aj využitie termografie v medicíne. Infračervené žiarenie ($\lambda = 0,8 \mu\text{m} - 30 \mu\text{m}$) vyžaruje každé teleso v rozsahu teplôt od $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ vyššie (povrch ľudského tela je zdrojom IR žiarenia s intenzitou asi 100 mW/cm^2). Táto hodnota závisí na rôznych faktoroch (na prebiehajúcom metabolizme, činnosti človeka – obr. 8.14, časti tela). Termografie sa uplatňuje napr. v neurológii, pracovnom lekárstve (termogram degeneratívnych zmien na prechode šľacha – kosť), v onkológii – diagnostika kožných nádorov, ochorenie štítnej žľazy.

Infračervené žiarenie sa často používa na prenos informácií v *telekomunikáciách* (diaľkové ovládače); pre *vojenské aplikácie* – pri detekcii IR žiarenia motorov za účelom navedenia rakiet a zameriavania zbraňových systémov. IR žiarenie sa využíva v pyrometrii pri *meraní teplôt* na diaľku analýzou frekvencie IR žiarenia emitovaného telesami. *Infračervené lasery* sa používajú hlavne ako vysieláče komunikačného lúča do optického kábla.

IR žiarenie využíva aj *meteorológia* – meteorologické satelity sú vybavené kamerami, ktoré snímajú povrch zeme v IR oblasti. Pomocou týchto snímkov je možné rozlíšiť typ a hrúbku mrakov, ako aj tepelné pomery a prúdenia. Uskutočňuje sa globálne skenovanie tepelných pomerov a prúdení v oceáne z hľadiska globálneho otepľovania, resp. globálnych predpovedí.

IR žiarenie (spolu s röntgenovým a *UV* žiarením) je používané v reštaurátorskom prieskume umeleckých historických diel (pomáha zistiť zásahy do týchto diel). Realizuje sa pomocou snímania *CCD* kamerou a elektronickým spracovaním dát. Využíva sa rozdielna pohltivosť, priepustnosť a odrazivosť infračerveného žiarenia. Rad farieb sa chová inak v *IR* žiarení ako v bežnom svetle.



Obr. 8.13 Termogram domu



Obr. 8.14 Termogram páru pred bozkom
(červená – najvyššia teplota)

Infračervené žiarenie sa využíva ako analyzátor plynov. Využívajú sa rozdiely v absorbovaní *IR* žiarenia rôznymi anorganickými aj organickými plynmi a parami. Infračiarenie je možné použiť pre kontinuálne meranie pevných emisií a prachu. V tomto prípade vysiela dióda modulovaný lúč *IR* žiarenia na protiľahlý odražač. Lúč prechádza meraným priestorom po dopade na prijímaciu diódu sa z jeho stavu vyhodnocuje stupeň znečistenia priestoru.

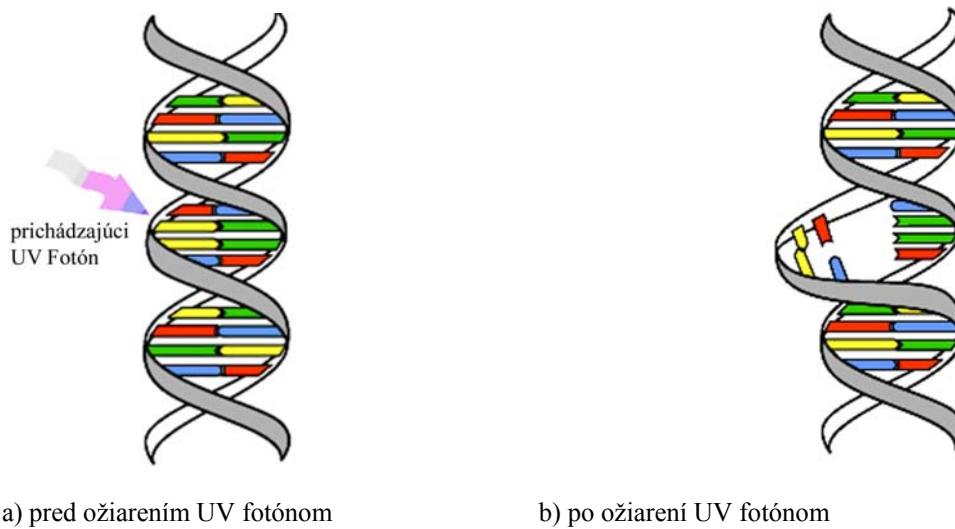
Poznámka:

Infračervené žiarenie bolo objavené britským astronómom Williamom Frederikom Herschelom (r. 1800) pri meraní teploty v oblasti priliehajúcej k červenej oblasti spektra viditeľného svetla.

8.2.4 Ultrafialové žiarenie

Ultrafialové žiarenie (ďalej *UV*) je elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou od 10 nm do 400 nm (frekvenciou $3 \cdot 10^{16}$ Hz až $790 \cdot 10^{12}$ Hz), kratšej ako viditeľné svetlo. Z pohľadu biologických účinkov sa delí na: *dlhovlnné pásmo UV-A* (prechádza atmosférou, ktorá však asi 30 % pohltí) s vlnovou dĺžkou 320 nm až 365 nm, *stredné UV-B* (50 % – 60 % pohlcuje ozónová vrstva) s vlnovou dĺžkou 280 nm až 320 nm a vzdialené krátkovlnné *UV-C* (úplne absorbované atmosférou a ozónovou vrstvou) vlnovou dĺžkou 100 nm až 280 nm. *UV* spektrum pozostáva z (90 – 99) % *UV-A* a 10% *UV-B*. *UV* žiarenie je veľmi energetické, v dôsledku toho narušuje chemické väzby, zvyšuje reaktivitu molekúl alebo pôsobí ich ionizáciu, podstatne mení ich všeobecné vlastnosti.

UV žiarenie je pre človeka dôležité kvôli syntéze vitamínu D. Na vytvorenie potrebného množstva postačuje niekoľko desiatok minút denne. Nadmerné vystavovanie kože vplyvom *UVA* a *UVB* žiarenia vedie k jej poškodeniu. *UVA* žiarenie zapríčiňuje starnutie kože a negatívne ovplyvňuje imunitný systém. Nadmerné vystavovanie kože *UVB* žiareniu vyvoláva spálenie kože. Pri intenzívnom a dlhodobom pôsobení môže dochádzať ku vzniku rakoviny kože, ak dôjde ku poškodeniu bunkovej *DNA* (obr. 8.12).



Obr. 8.12 Poškodenie DNA fotónmi UV žiarenia

Na druhej strane *UV* žiarenia pôsobí ako *dezinfekcia* – ničí mikroorganizmy. Pri dopade na určité látky sa mení na viditeľné svetlo (ochranné prvky bankoviek). Vyvoláva **luminiscenciu**. *UV* žiarenie je pohlcované obyčajným sklom (kremenné sklo *UV* žiarenie nepohlcuje – banky výbojok).

Poznámka:

Fotóny ultrafialového žiarenia poškadzujú molekuly DNA živých organizmov rôznym spôsobom. Pri porušení vzájomného prepojenia susedných báz v „rebríku“ sa vytvorí vypuklina, DNA molekula sa deformuje nefunguje správne môže zmutovať a vyvinúť sa rakovinové bunky (obr. 8.12).