

Meno a priezvisko:

Škola:

Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium

Školský rok/blok:

Predmet:

Fyzika

Skupina:

Trieda:

Dátum:

Teória

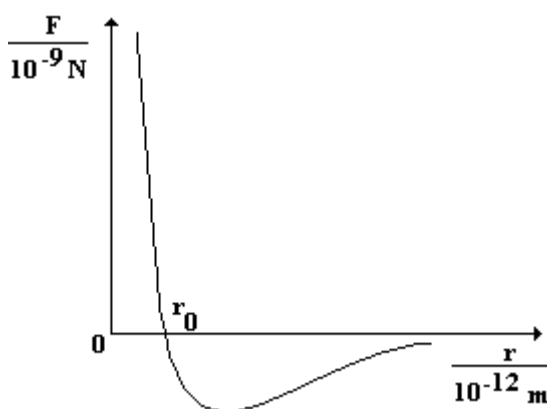
1 Molekulová fyzika a termodynamika

Základné poznatky molekulovej fyziky a termodynamiky

1.3 Vzájomné pôsobenie častíc, potenciálna energia častíc

Pokúsime sa túto zložitú situáciu zjednodušiť – zamerajme sa len na dve častice, ktorých kladne nabitú jadrá sú obklopené záporne nabitými elektrónmi. Pri vzájomnom približovaní týchto častíc interagujú medzi sebou elektrónové obaly a kladne nabitú jadrá. **Pri malých vzdialenostiach je táto sila odpudivá a pri väčších príťažlivá.**

Poznáme to aj z praxe: pri stláčaní telesa pociťujeme odporovú silu, ktorá bráni ďalšiemu stlačovaniu telesa, zatiaľ čo pri snahe teleso predĺžiť vnímame silu brániacu ďalšiemu predlžovaniu.



Na obrázku je znázornená grafická závislosť veľkosti sily F , ktorá pôsobí medzi dvomi časticami, od ich vzájomnej vzdialenosti r (veľkosť príťažlivej sily sa nanáša pod os r , veľkosť odpudivéj sily nad túto os).

Z grafu môžeme odčítať nasledujúce vlastnosti interakcie dvoch častíc:

1. Pri určitej vzdialenosti r_0 (rádovo stotiny až desatiny nm) je veľkosť sily, ktorou na seba častice vzájomne pôsobia, nulová. Obe častice sú v rovnovážnej polohe.
2. Vo vzdialenosti väčšej ako r_0 je táto sila príťažlivá – jej veľkosť sa najprv zväčšuje a potom s rastúcou vzdialenosťou sa jej účinok rýchle zmenšuje. Pri veľkej vzdialenosti je táto sila zanedbateľne malá, z čoho vyplýva, že každá častica je priťahovaná len najbližšími časticami vo svojom okolí. V kvapalinách sa príťažlivé pôsobenie prejavuje do vzdialenosti asi $1nm$.
3. Vo vzdialenosti menšej ako r_0 pôsobí medzi časticami sila odpudivá, ktorej veľkosť rýchlo rastie so zmenšujúcou sa vzdialenosťou.

Sily, ktorými na seba pôsobia častice (atómy) v molekule, sa nazývajú väzobné sily – pri zlučovaní atómov vzniká chemická väzba medzi atómami. Väzobné sily určujú štruktúru molekúl (vzájomnú polohu častíc), ktorá je dôležitá nielen v chémii, fyzike, biológii, ale aj pre ďalšie aplikované vedné oblasti – medicína, poľnohospodárstvo, ... :

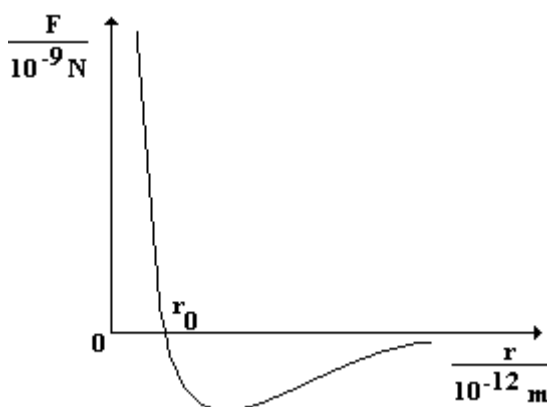
4. Dvojitómové molekuly – lineárne.
5. Trojitómové molekuly – lineárne (napríklad CO_2), ale väčšinou ako rovinné – trojuholníkové (H_2O).
6. Viacatómové molekuly – najčastejšie priestorové (NH_3 má tvar trojbokého ihlanu) alebo rovinné (benzén C_6H_6).

Z existencie vzájomného pôsobenia častíc tiež vyplýva, že daná sústava častíc má **potenciálnu energiu**. Pre rovnovážnu polohu častíc sa táto energia nazýva **väzobná energia**. Tá je rovná práci, ktorú by sme museli vykonať pôsobením vonkajších síl, aby sme zrušili väzby medzi jednotlivými časticami.

1.4 Modely štruktúr látok rôznych skupenstiev

1.4.1 Plynná látka

Molekuly plynu sa skladajú z jedného alebo niekoľkých atómov a majú rôzne tvary alebo rozmery. Za normálnych podmienok sú stredné vzdialenosti medzi molekulami pri porovnaní s ich rozmermi veľmi veľké (napríklad pre vodík je táto vzdialenosť $3nm$, priemer molekuly H_2 je $0,07nm$).



Podľa grafickej závislosti veľkosti sily od vzdialenosti, príťažlivé sily medzi časticami pre tieto vzdialenosti sú zanedbateľné. Molekuly plynu vykonávajú tepelný pohyb – pohybujú sa rôznymi rýchlosťami, tj. rôznymi smermi (ktoré majú rovnakú pravdepodobnosť) a rôznymi veľkosťami rýchlosti. Zmena rýchlosti nastáva v dôsledku zrážok s ostatnými molekulami alebo so stenou nádoby, pričom zrážku musíme chápať tak, že sa molekuly k sebe priblížia a odpudivá sila zmení ich rýchlosti. Medzi jednotlivými zrážkami sa molekuly pohybujú rovnomerne priamočiara, pričom s rastúcou teplotou rastie stredná rýchlosť molekúl. Viacatómové molekuly navyše rotujú a atómy vo vnútri neustále kmitajú okolo rovnovážnych polôh.

Kinetická energia sústavy molekúl plynu sa rovná kinetickej energii molekúl konajúcich posuvný a rotačný pohyb a kinetickej energii kmitajúcich atómov v molekulách. Vďaka tomu, že sily, ktorými na seba častice plynu pôsobia, sú malé, je hodnota celkovej **potenciálnej energie vždy oveľa menšia** ako **celková kinetická energia** toho istého plynu rovnakej hmotnosti.

1.4.2 Kvapalná látka

Molekuly kvapaliny nie sú tak voľne pohyblivé ako u plynov (molekuly sú k sebe priťahované molekulami susednými – stredná vzdialenosť je asi $0,2\text{nm}$, ale zároveň vzájomné pôsobenie molekúl kvapaliny nie je také silné ako v prípade pevných látok, aby boli viazané na rovnaké rovnovážne polohy. Molekuly kvapaliny kmitajú okolo rovnovážnych polôh, ktoré sa s časom menia. Ak pôsobí na kvapalinu vonkajšia sila, prebiehajú presuny molekúl väčšinou v smere pôsobiacej sily. Preto je kvapalina tekutá a nezachováva si svoj tvar.

Celková potenciálna energia sústavy častíc je porovnateľná s celkovou kinetickou energiou.

1.4.3 Pevná látka

Drvivá väčšina pevných látok je zložená z častíc, ktoré sú pravidelne usporiadané – častice vytvárajú kryštalickú štruktúru. Existujú však látky (amorfné), ktoré túto štruktúru nemajú (vosk, sklo, živica, ...). Medzi pevné látky možno zaradiť aj polyméry, či už prírodné (kaučuk, ...), ako i umelé (termoplasty, ...).

Stredné vzdialenosti častíc sú malé (rádovo desiatiny nm) a vzájomné príťažlivé sily spôsobujú, že pevná látka vytvára teleso určitého tvaru a objemu. Ak nepôsobia na teleso vonkajšie sily a ak sa nemení teplota, zostáva tvar a objem konštantný. Častice chaoticky kmitajú okolo svojich rovnovážnych polôh, pričom s rastúcou teplotou rastie amplitúda týchto výchyliek. Tesne pod teplotou topenia dosahuje výchylka kmitania častíc maximálne hodnoty – približne jednej šestiny vzájomnej vzdialenosti medzi časticami.

Hodnota celkovej potenciálnej energie sústavy častíc pevného telesa je väčšia ako celková kinetická energia týchto častíc, ktoré konajú kmitavý pohyb.

1.4.4 Plazma

Plazma je považované za štvrté skupenstvo látok (napríklad blesk, plameň, ...). Jedná sa o sústavu elektricky nabitých častíc (iónov, voľných elektrónov) a neutrálnych častíc. Pri dostatočne vysokých teplotách môže byť plazma zložená len z voľných jadier a elektrónov.

Inou formou je plazma medzihviezdneho priestoru a plazma hviezd. Najbežnejší druh umelej plazmy vzniká pri elektrických výbojoch v plynch.

1.5 Rovnovážny stav sústavy

Stav sústavy je daný stavovými veličinami: teplotou, objemom, tlakom, chemickým zložením, skupenstvom, rôznym usporiadaním častíc (líšia sa napríklad grafit a diamant, ...).

Termodynamická sústava je skupina telies, ktorých stav práve skúmame (plyn vo valci s piestom, voda a jej para v skúmavke, ohrievaný drôt, ...).

Pri interakcii sústavy s okolím dochádza k **stavovej zmene sústavy** – sústava prechádza z daného počiatočného stavu do výsledného (koncového) stavu, pričom dochádza k zmene stavových veličín. Napríklad sila pôsobiaca na piest valca s plynom môže meniť objem, tlak alebo teplotu plynu; chladnutie kávy ;-); ...).

1. **Izolovaná sústava** – je sústava, pri ktorej nemôže dochádzať k výmene energie a ani častíc s okolím. Prebiehajú len deje medzi časticami (telesami) danej sústavy. Jedná sa o idealizáciu, ku ktorej sa môžu reálne sústavy len priblížiť (termoska s kávou, ...).
2. **Uzatvorená sústava** – je sústava, ktorá si s okolím môže vymieňať energiu, ale nie častice (uzatvorený hrnček s kávou, ...).

3. **Otvorená sústava** – je sústava, pri ktorej dochádza k výmene energie a častíc s okolím (otvorený hrnček s kávou, ...).
4. **Adiabaticky izolovaná sústava** – je sústava, pri ktorej nedochádza k tepelnej výmene medzi sústavou a okolím (sifónová bombička na sódočku, bombička s náplňou do zapalovača pri jeho plnení, ...).

Z bežnej skúsenosti vieme, že každá sústava, ktorá je od určitého okamihu v nemeniacich sa vonkajších podmienkach, prejde samovoľne po určitej dobe do rovnovážneho stavu a samovoľne z neho nevyjde. **V tomto stave zotrúva dovtedy, pokiaľ zostanú tieto vonkajšie podmienky zachované.** Stavové veličiny v rovnovážnom stave sú konštantné (sústava nemení objem, tlak, teplotu, neprebiehajú chemické reakcie, nedochádza k zmene skupenstva, nepozorujeme žiadne makroskopické zmeny, ...). Prebiehajú deje mikroskopické (tepelný pohyb, ...).

Opäť príklad s kávou. Ak zalejeme kávu vodou z rýchlovarnej konvice, má voda teplotu skoro 100°C . Od zaliatia bude káva len chladnúť Výsledná teplota kávy, ktorá sa v závislosti od času už meniť nebude, je daná okolím. Ak bude káva chladnúť v zime vonku na stole, ustáli sa teplota na výrazne menšej teplote ako pri chladnutí kávy na slnku

Rovnovážny dej je dej, pri ktorom sústava prechádza radom na seba nadväzujúcich stavov. Reálne deje je možné považovať za rovnovážne, ak prebiehajú dostatočne pomaly. ... napríklad chladnutie kávy.

Väčšina skutočných dejov je ale nerovnovážnych. Napríklad rýchle stlačenie plynu, plnenie zapalovača z bombičky, prudké ochladenie kvapaliny, náhle ohnutie drôtu,

Rovnovážny stav plynu je pri stálych vonkajších podmienkach stavom s najväčšou pravdepodobnosťou výskytu, ostatné stavy sú menej pravdepodobné.

Teoreticky je možné, že všetky molekuly vzduchu (kyslíku) pri svojom neustálom chaotickom pohybe sústredia v jednej časti miestnosti. Prakticky je tento stav ale takmer nemožný, pretože pravdepodobnosť jeho výskytu je veľmi malá; bolo by potrebné čakať veľmi dlho, pokiaľ by sa štatisticky mohol zrealizovať.

Externé odkazy

Teplota plynu – simulácia vyrovňovania teplôt dvoch plynov
<http://jersey.uoregon.edu/vlab/Thermodynamics/therm1a.html>

1.6 Teplota a jej merania

Telesám, ktoré sú pri vzájomnom dotyku v rovnovážnom stave, priradzujeme rovnakú teplotu.

Tento poznatok niekedy odznačujeme ako **0. termodynamický zákon**.

Ak telesá pri vzájomnom dotyku menia svoje pôvodné rovnovážne stavy, potom mali obidve na počiatku deja rôzne teploty. Na určenie teploty je potrebné zvoliť vhodné referenčné teleso – **teplomer**. **Pre teplomer stanovíme fyzikálnu veličinu, pomocou ktorej budeme teplotu merať.** Môže to byť objem kvapaliny, tlak plynu,

Ďalej je nutné stanoviť **teplotnú stupnicu a jednotku teploty**. **Celsiova teplotná stupnica** má dve základné teploty:

1. 0°C - rovnovážny stav vody a jej ľadu za normálneho tlaku $1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
2. 100°C - rovnovážny stav vody a jej nasýtenej pary za normálneho tlaku

Stupnica je rozdelená na 100 rovnakých dielikov. Jeden dielik zodpovedá jednému **stupňu Celsia** ($^{\circ}\text{C}$). Celsiovu teplotu označujeme ako fyzikálnu jednotku t .

Pri meraní teploty postupujeme tak, že uvedieme do vzájomného dotyku teleso, ktorého teplotu chceme odmerať a teplomer. Po vytvorení rovnovážneho stavu je teplota telesa rovnaká ako je teplota teplomeru (predpokladáme, že pri vyrovnávaní teplôt sa teplota okolia príliš nezmení).

Pri meraní teploty sa používajú rôzne typy teplomerov:

1. Kvapalinové teplomery – vhodné na meranie určitých intervalov teplôt, pretože príslušná kvapalina použitá nad rozsah teplomera by sa mohla začať silne vyparovať (alebo aj vrieť) alebo tuhnúť. Meranie by bolo nespoľahlivé. Najbežnejšie teplomery sú ortuťové, pre nižšie teploty sa používajú teplomery plnené etanolom.
2. Plynové teplomery – je možné použiť pre pomerne široký rozsah teplôt. Využívajú závislosť tlaku plynu od teploty pri stálom objeme (resp. závislosť objemu plynu od teploty pri rovnakom tlaku).
3. Bimetalové teplomery – používajú sa na orientačné meranie teploty. Sú založené na princípe rôznej teplotnej rozťažnosti dvoch kovových plátkov, ktoré sú spojené.
4. Odporové teplomery – využívajú závislosť elektrického odporu vodiča (resp. polovodiča) od teploty.
5. Termoelektrické teplomery – na meranie teploty využívajú termoelektrický jav.
6. Radiačné teplomery (pyrometre) – sú určené na meranie vysokých teplôt a ich princípy sú založené na zákonoch tepelného žiarenia.

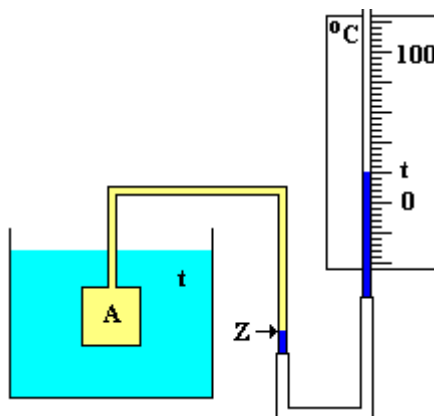
Externé odkazy

Prevod teplôt – medzi termodynamickou teplotnou stupnicou, Celsiovou stupnicou a Fahrenheitovou stupnicou

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/temper.html#c3>

1.7 Termodynamická teplota

Teplotné stupnice používané v rôznych teplomeroch sú závislé ako na fyzikálnej veličine, ktorá sa pre opis zmeny stavu teplomernej látky zvolí (objem kvapaliny, elektrický odpor, ...), tak od samotnej teplomernej látky (napríklad teploty odmerané ortuťovým a liehovým teplomerom sa zanedbateľne odlišujú, ...).



Ak použijeme ako náplň plyn, situácia sa zlepší. Plynový teplomer tvorí nádoba A naplnená plynom, ktorá je spojená úzkou trubicou s otvoreným kvapalinovým manometrom. Pravé rameno manometru je voľne pohyblivé, aby sa mohla hladina kvapaliny (väčšinou ortuť) v ľavom ramene udržiavať stále na značke Z , čím zaručíme, že zmeny tlaku so zmenou teploty prebiehajú za stáleho objemu plynu. Tlak je zvolený za pozorovanú meniacu sa veličinu preto, že je jednoduchšie merať premenlivý tlak pri sádom objeme ako opačne. Pri meraní vložíme nádobu A , ktorej tepelnú rozťažnosť zanedbávame, do prostredia, ktorého teplotu chceme merať.

Aj keď plynové teplomery mali lepšie vlastnosti ako teplomery kvapalinové, snažili sa vedci a technici vytvoriť takú teplotnú stupnicu, ktorá by nebola závislá na teplomernej látke. Túto zaviedol škótsky fyzik W. Thomson (lord Kelvin).

Na základe poznatkov termodynamiky o účinnosti tepelných strojov definoval tzv. **termodynamickú teplotnú stupnicu**, ktorá sa stala základnou teplotnou stupnicou. Teplota vyjadrená v termodynamickej teplotnej stupnici sa nazýva **termodynamická teplota** T , $[T] = K$ (kelvin).

Termodynamická teplotná stupnica má len jednu základnú teplotu – teplotu rovnovážneho stavu vody, jej nasýtenej pary a ľadu (tzv. trojný bod). Trojnému bodu vody bola priradená teplota $T_r = 273,15 K$. Z tejto voľby vyplýva definícia kelvinovej stupnice.

Celsiova teplota t sa definuje pomocou termodynamickej teploty T vzťahom:

$$t = (\{T\} - 273,15)^\circ C$$

Takto zostrojená Celsiova teplota sa približne zhoduje s plynovou Celsiovou teplotnou stupnicou. Ak potrebujeme poznať termodynamickú teplotu T a máme k dispozícii Celsiovu teplotu t , môžeme postupovať takto: $T = (\{t\} + 273,15) K$. Z tohoto (a predošlého) vzťahu vyplýva pre tepelné rozdiely:

$$\{\Delta t\} = \{t_1 - t_2\} = \{T_1 - T_2\} = \{\Delta T\}$$

Rozdiel teplôt Celsiovej a termodynamickej teplotnej stupnice je rovnaký.

Termodynamická teplotná stupnica a Celsiova stupnica (na rozdiel od Fahrenheitovej alebo Réaumurovej teplotnej stupnice) sú voči sebe „len“ posunuté o „273,15“ dielika.

Termodynamická teplota ľubovoľnej sústavy sa môže priblížiť hodnote $0 K$, ale nemôže ju nikdy dosiahnuť, ako vyplýva z tretieho termodynamického zákona. Pri tejto teplote, ktorá je počiatkom termodynamickej teplotnej stupnice, nadobúda kinetická energia častíc sústavy minimálnu hodnotu, ale nie je nulová. V blízkosti absolútnej nuly $0 K$ sa značne zmení vlastnosť materiálov – napríklad elektrická vodivosť (nastáva supravodivosť), viskozita kvapalín (supratekutosť), V súčasnej dobe sa podarilo dosiahnuť krátkodobu teplotu okolo $1 \mu K$.

1.8 Ďalšie teplotné stupnice

Okrem Celsiovej stupnice, ktorá je v bežnom živote asi najrozšírenejšia, a termodynamickej teplotnej stupnice, ktorá sa používa skôr v odborných aplikáciách, existujú ďalšie teplotné stupnice:

1. Réaumurova teplotná stupnica – bod tuhnutia vodymá teplotu $0^{\circ}R$, bod varu vody teplotu $80^{\circ}R$. Prevodný vzťah medzi Réaumurovou t_R a Celsiovou t_C je $\{t_R\} = \frac{4}{5}\{t_C\}$ resp. $\{t_C\} = \frac{5}{4}\{t_R\}$.
2. Fahrenheitova teplotná stupnica – základnými bodmi sú tepelný bod salmiaku zmiešaného s ľadom a ľadovou vodou a teplota ľudského tela. Pri teplote topenia ľadu sa ortuť ustálila na tretine vzdialenosti oboch bodov a stupnica bola rozdelená na 96 dielov. Bodu mrazu zodpovedá teplota $32^{\circ}F$, bodu varu teplota $212^{\circ}F$. Prevodný vzťah medzi Fahrenheitovou t_F a Celsiovou t_C je $\{t_F\} = \frac{9}{5}\{t_C\} + 32$ resp. $\{t_C\} = \frac{5}{9}\{t_F\} - 32$.

Pozor! Pri porovnaní teplotných intervalov Réaumurovej, Fahrenheitovej a Celsiovej stupnice neplatí rovnosť, tak ako v prípade porovnania intervalov Kelvinovej a Celsiovej stupnice. Je to dané tým, že Réaumurova a Fahrenheitova teplotná stupnica nemajú medzi základnými bodmi 100 dielikov, ale 80, resp. 180.