



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

ZÁKLADNÍ POZNATKY MOLEKULOVÉ FYZIKY A TERMODYNAMIKY

Ing. Stanislav Jakoubek

Přehled studijních materiálů

Číslo DUMu	Název DUMu
<u>Nemá samostatné číslo</u>	<u>Molekulová fyzika a termodynamika – vysvětlení pojmů</u>
<u>III/2-2-3-1</u>	<u>Kinetická teorie látek</u>
<u>III/2-2-3-2</u>	<u>Hmotnost částic, látkové množství, molární veličiny</u>
<u>III/2-2-3-3</u>	<u>Rovnovážný stav, rovnovážný děj</u>
<u>III/2-2-3-4</u>	<u>Vnitřní energie soustavy a její změny</u>
<u>III/2-2-3-5</u>	<u>První termodynamický zákon</u>
<u>III/2-2-3-6</u>	<u>Tepelná rovnováha, teplota</u>
<u>III/2-2-3-7</u>	<u>Termodynamická teplota</u>
<u>III/2-2-3-8</u>	<u>Modely struktur látek různých skupenství</u>

Úvod

- ▶ Začneme vysvětlením pojmů molekulová fyzika a termodynamika
- ▶ Existují různé metody poznání fyzikálních dějů
- ▶ Probereme *dvě* z nich

Metody poznání

- ▶ Vlastnosti látek na základě jejich složení z částic, neustálého pohybu a vzájemného působení; používá statistiku a pravděpodobnost
→ **molekulová fyzika**
- ▶ Neuvažuje částicové složení, ale používá měřitelné veličiny ($T, p, V, \dots$) → **termodynamika**
- ▶ **Obě metody se vzájemně doplňují.**

Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; KUNZOVÁ, Vlasta; SVOBODA, Emanuel. *Fyzika II pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1986, ISBN 14-209-86.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Kinetická teorie látek

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Molekulová fyzika a termodynamika
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-2-3
Číslo DUMu	III/2-2-3-01
Anotace	Materiál uvede studenty do problematiky složení látek. Po prostudování budou vědět, z čeho se látky skládají a dále budou přesvědčení o tom, že se teoretické údaje opírají o konkrétní experimentální poznatky.

Kinetická teorie látek

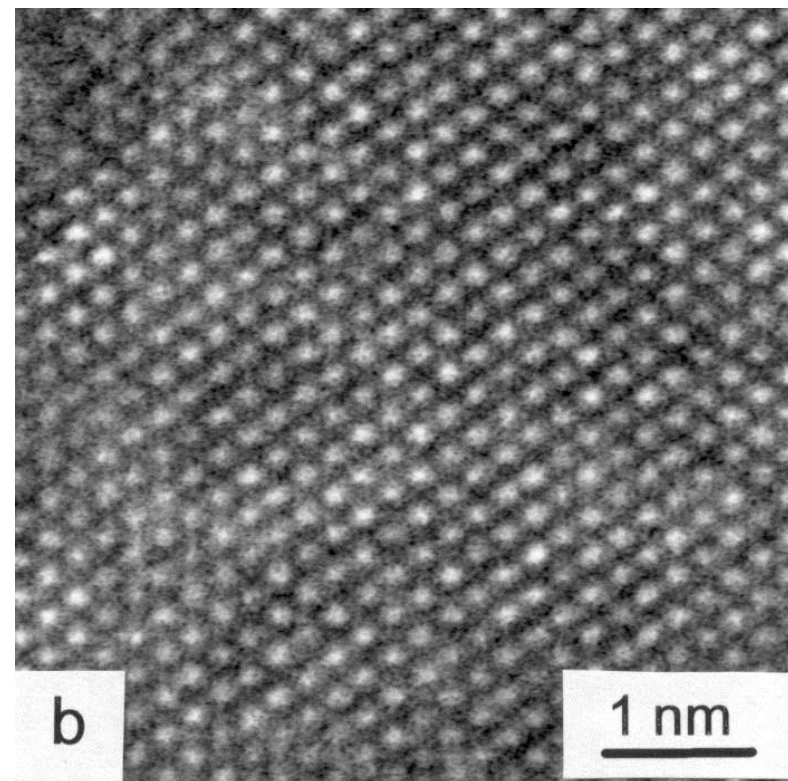
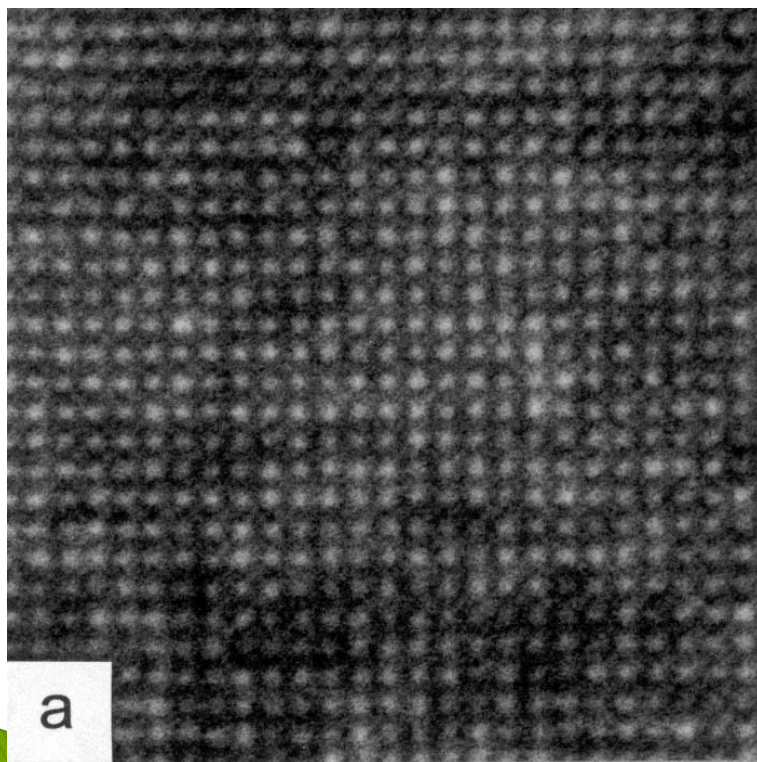
- ▶ Jedna z velmi důležitých fyzikálních teorií
- ▶ Je založena na třech základních experimentálních poznatcích

a) Látka každého skupenství se skládá z částic

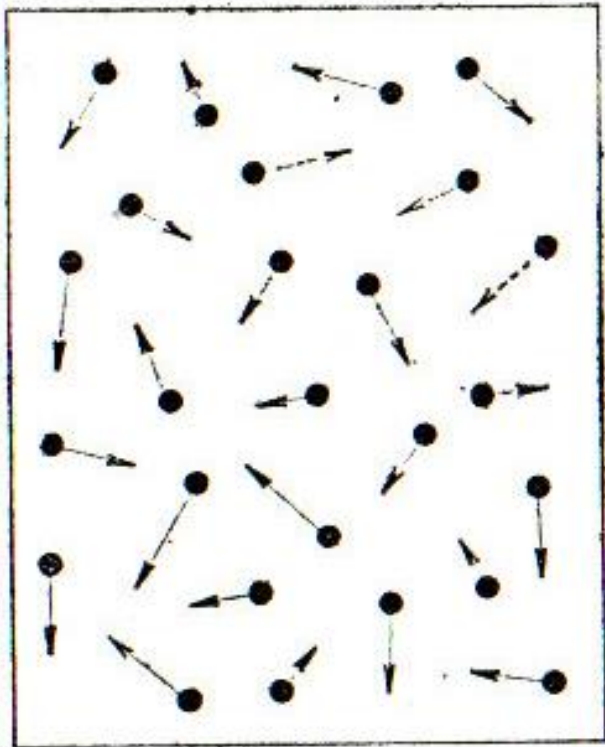
- ▶ Molekuly, atomy, ionty
- ▶ Prostor není zcela zaplněn, mezi částicemi jsou mezery
- ▶ Částice lze zobrazit (například elektronovým mikroskopem)
- ▶ Rozměry: $\approx 0,1\text{nm} = 10^{-10}\text{m}$

Důkaz tohoto tvrzení : fotografie atomu

- Fotografie hliníku na atomární úrovni



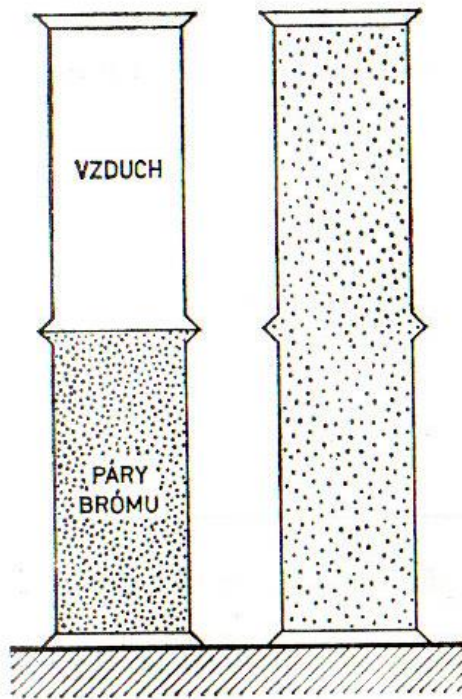
b) Částice se v látce neustále a neuspořádaně pohybují



- Rychlosti mají různé velikosti a směry
- tzv. TEPELNÝ POHYB

Některé experimentální důkazy

- Difúze = samovolné pronikání částic jedné látky mezi částice druhé látky

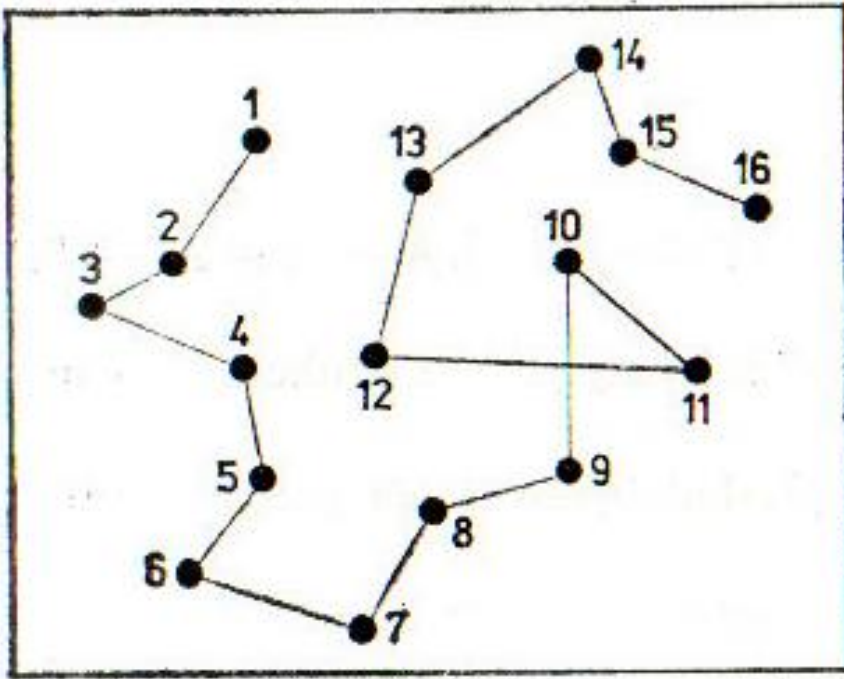


- Probíhá mezi látkami všech skupenství
- Rychlost difúze závisí na teplotě (při vyšší teplotě rychleji)

Difúze (pokračování)

- ▶ http://www.youtube.com/watch?v=gXJMBgyT_hk&feature=related
- ▶ <http://www.youtube.com/watch?v=o6nqYcrItiQ&NR=1&feature=endscreen>
- ▶ Molekuly jedné látky narážejí do molekul druhé látky
- ▶ Existence mezimolekulových prostor

Brownův pohyb



- Vybereme částici a zaznamenáváme její polohu po daných časových úsecích.
- Vznikne takováto lomená čára

Vysvětlení: molekuly vody nepravidelně narážejí do částice a „postrkují“ ji.

Brownův pohyb (pokračování)

- ▶ Rychlost částice závisí na teplotě (s rostoucí teplotou roste)
- ▶ 1827 – skotský biolog Robert Brown – objevil na pylových zrnkách ve vodě
- ▶ Myslel si, že jde o vlastní pohyb pylových zrněk
- ▶ Správně objasnil až Albert Einstein

Robert Brown (1773–1858)



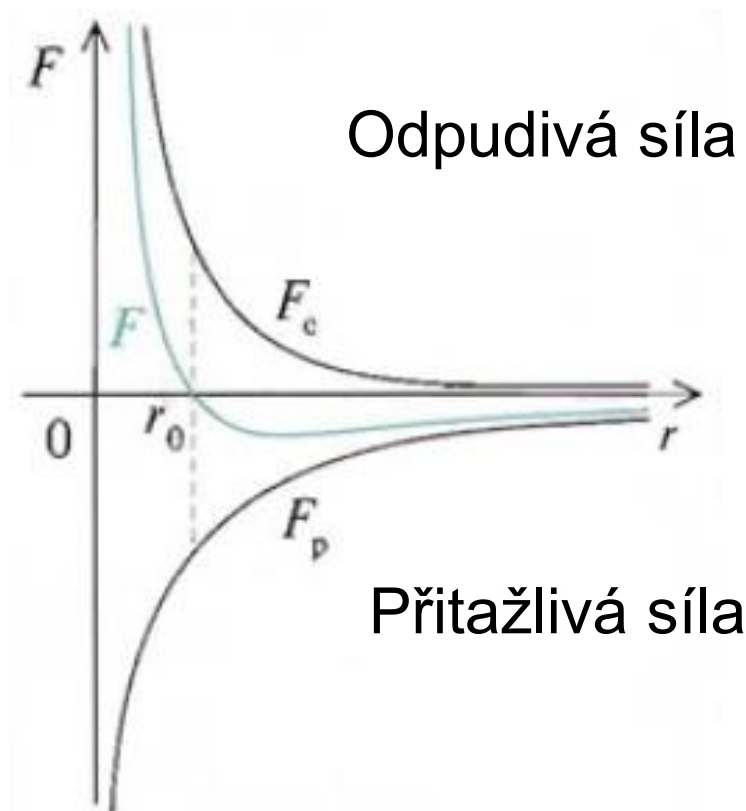
Rozpouštění cukru

- ▶ Jistě víme, že v teplém čaji se nám cukr rozpustí lépe a rychleji, než ve studeném.
- ▶ Rychlost tedy závisí na teplotě.

c) Částice na sebe navzájem působí přitažlivými i odpuzivými silami

- ▶ Síly působí současně
- ▶ V určité vzdálenosti se síly vyrovnají $\Rightarrow$
částice jsou v rovnovážné poloze

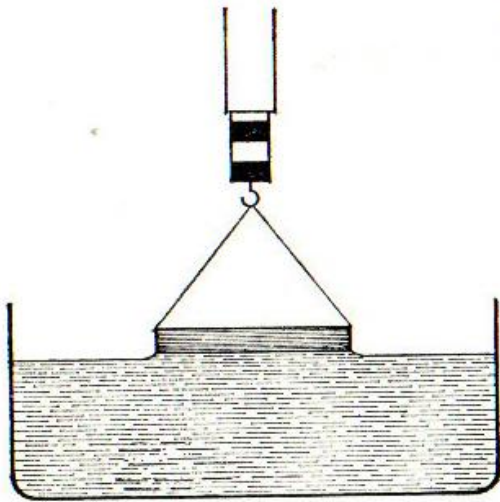
c) Přitažlivé a odpudivé síly (pokrač.)



- Např. pro H_2O ... $r_0 = 0,3\text{nm} = 0,3 \cdot 10^{-9}\text{m}$

Experimentální důkazy

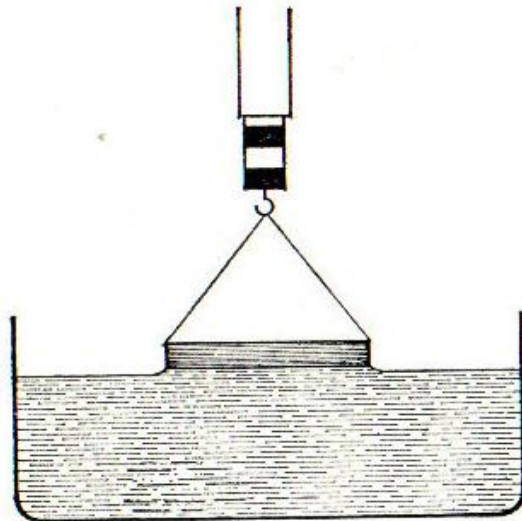
- ▶ Přitažlivé síly ... soudržnost těles
- ▶ Odpudivé síly ... špatná stlačitelnost
- ▶ Působí i mezi částicemi různých těles



K odtržení destičky potřebují větší sílu, než je její tíha

Úlohy

- ▶ Nádobu s plynem spojíme s nádobou, ze které je vyčerpaný vzduch. Co nastane? Jaký tlak bude v celé „dvojnádobě“? Proč?
- ▶ Po odtržení zůstanou na destičce kapičky vody. Proč?



Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; KUNZOVÁ, Vlasta; SVOBODA, Emanuel. *Fyzika II pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1986, ISBN 14-209-86.
- ▶ [2] TARÁBEK, Pavol; ČERVINKOVÁ, Petra a kol. *Odmaturuj z fyziky*. Brno: Didaktis, 2006, ISBN 80-7358-058-6.
- ▶ [3] MAULL; POLYBLANK. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 1.9.2012]. Dostupný na WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Robert_Brown_\(botanist\).jpg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Robert_Brown_(botanist).jpg)>.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Hmotnost částic, látkové množství, molární veličiny

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Molekulová fyzika a termodynamika
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-2-3
Číslo DUMu	III/2-2-3-02
Anotace	Tato poměrně náročná kapitola seznámí studenty s veličinami, které se běžně používají v molekulové fyzice. Seznámí se s definicí jednotky mol, která patří mezi 7 základních jednotek SI. Budou seznámeni s některými molárními veličinami. Teoretické poznatky budou procvičeny na fyzikálních úlohách.

Hmotnost částic

- ▶ Hmotnost částic je velmi malá
- ▶ Např.:

$${}^1_1\text{H}....m \doteq 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{H}_2\text{O}....m \doteq 2,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

- ▶ špatně se s tím počítá, proto se zavádí tzv. **relativní atomová hmotnost**

Relativní atomová hmotnost

$$A_r = \frac{m_a}{m_u}$$

Hmotnost atomu

Atomová hmotnostní
konstanta

Atomová hmotnostní konstanta

- ▶ Představuje jakýsi „atomární“ kilogram (tedy hmotnost, se kterou porovnáváme hmotnosti atomů a molekul)
- ▶ Je definována jako $\frac{1}{12}$ atomové hmotnosti $^{12}_6\text{C}$
- ▶ Přesná hodnota:

$$m_u = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

- ▶ Pro výpočty zaokrouhlíme:

$$m_u \doteq 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Relativní molekulová hmotnost

- Totéž, jako relativní atomová hmotnost, ale pro celé molekuly

$$M_r = \frac{m_m}{m_u}$$

Hmotnost molekuly

Relativní molekul. hmotnost (pokrač.)

$$M_r = \sum_{i=1}^n A_{r_i}$$

Relativní
molekulová
hmotnost je rovna
součtu relativních
atomových
hmotností atomů,
ze kterých je
složená.

Jednotka A_r a M_r

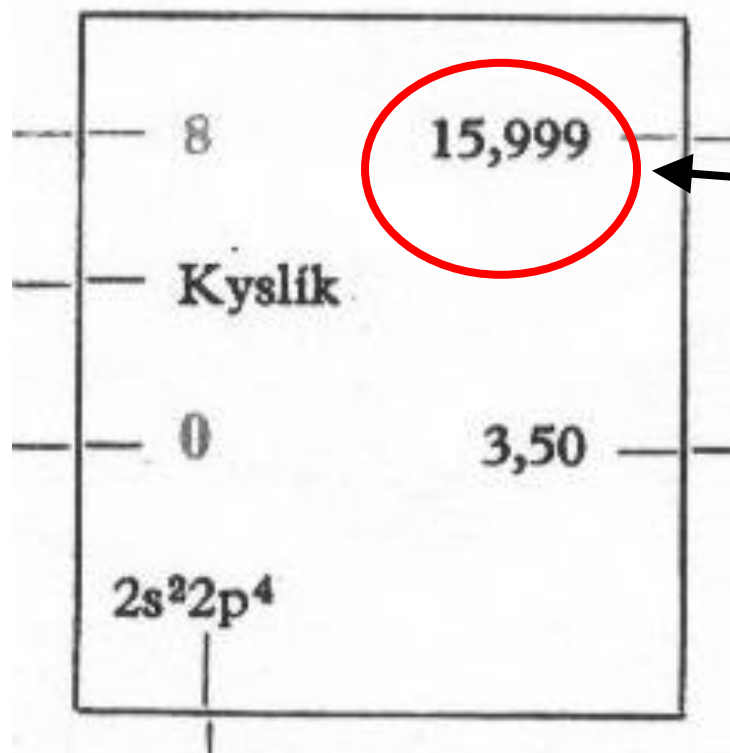
$$[A_r] = \frac{[m_a]}{[m_u]} = \frac{kg}{kg} = 1$$

$$[M_r] = \frac{[m_m]}{[m_u]} = \frac{kg}{kg} = 1$$

Jsou
bezrozměrné
(tedy bez
jednotky)

Hodnoty A_r

- Jsou uvedeny v tabulkách



8	15,999
Kyslík	
0	3,50
2s²2p⁴	

Relativní
atomová
hmotnost

Relativní atomová hmotnost – přibližné hodnoty pro vybrané atomy

Vodík	H	1	Síra	S	32
Uhlík	C	12	Chlór	Cl	35,5
Dusík	N	14	Železo	Fe	55,8
Kyslík	O	16	Měď	Cu	63,54
Sodík	Na	23	Stříbro	Ag	107,9

Příklad

- Určete hmotnost atomu mědi.

Z tabulek: $A_r(\text{Cu})=63,54$; $m_a(\text{Cu})=?$

$$A_r = \frac{m_a}{m_u} \Rightarrow m_a = A_r \cdot m_u$$

$$m_a(\text{Cu}) = 63,54 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \doteq 1,055 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Příklad

- Určete relativní molekulovou hmotnost molekuly kyseliny sírové H_2SO_4 .

Z tabulek: $A_r(H)=1, A_r(S)=32, A_r(O)=16$

$$M_r(H_2SO_4) = 2 \cdot A_r(H) + A_r(S) + 4 \cdot A_r(O)$$

$$M_r(H_2SO_4) = 2 \cdot 1 + 32 + 4 \cdot 16 = 98$$

Příklad

- Z definice atomové hmotnostní konstanty určete $A_r(^{12}_6\text{C}) = ?$

Víme: m_u je definována jako $\frac{1}{12}$ jeho atomové hmotnosti

- $m_a(^{12}_6\text{C}) = 12 \cdot m_u$ A tedy: $A_r = 12$

Příklad (důležitý!!)

- Kolik atomů obsahuje 12 gramů $^{12}_6\text{C}$?

$$m = 12\text{g} = 0,012\text{kg}, m_u = 1,6605655 \cdot 10^{-27}\text{kg}, N = ?$$

$$N = \frac{0,012}{12 \cdot m_u} = \frac{0,012}{12 \cdot 1,6605655 \cdot 10^{-27}} \doteq 6,022045 \cdot 10^{23}$$

Hmotnost vzorku

Hmotnost jednoho atomu

Látkové množství

- Soustava, která obsahuje právě tolik částic (např. atomů, molekul,...), kolik obsahuje 12 gramů uhlíku $^{12}_6\text{C}$, má **látkové množství 1 mol**.

$$N_A \doteq 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Avogadrova konstanta

Odpovídá počtu částic obsažených v tělese o látkovém množství 1 mol.

Amedeo Avogadro (1776–1856)

- Italský fyzik



Látkové množství (pokračování)

$$n = \frac{N}{N_A}$$

Počet částic

Avogadrova konstanta

Molární veličiny

- ▶ Jsou vztažené k látkovému množství 1 mol
- ▶ Příklady:
 - Molární hmotnost
 - Molární objem
 - Molární tepelná kapacita
 - Molární entropie
 - ...

Molární hmotnost

$$M_m = \frac{m}{n}$$

Hmotnost celé látky

Látkové množství

Jednotka: $[M_m] = \frac{kg}{mol} = kg \cdot mol^{-1}$

Důležitý vztah

- Vzorec, který umožní z relativní atomové (či molekulové) hmotnosti z TABULEK určit molární hmotnost

$$m = N \cdot m_m = N \cdot M_r \cdot m_u$$

$$M_m = \frac{m}{n} = \frac{N \cdot M_r \cdot m_u}{\frac{N}{N_A}} = M_r \cdot N_A \cdot m_u$$

Důležitý vztah (pokračování)

- Dosadíme hodnoty Avogadrovy konstanty a atomové hmotnostní konstanty

$$M_m = M_r \cdot 6,022045 \cdot 10^{23} \cdot 1,6605655 \cdot 10^{-27} \doteq M_r \cdot 10^{-3} \text{ kg.mol}^{-1}$$

$$M_m = M_r \cdot 10^{-3} \text{ kg.mol}^{-1} = M_r : 1000 \text{ kg.mol}^{-1}$$

Příklad

- Určete látkové množství a počet molekul ve vodě o hmotnosti 1kg.

$$m = 1\text{kg}, M_r = 18, n = ?, N = ?$$

$$n = \frac{m}{M_m} = \frac{m}{M_r \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{18 \cdot 10^{-3}} \text{ mol} \doteq 0,056 \cdot 10^3 \text{ mol} = 56 \text{ mol}$$

$$N = n \cdot N_A \doteq 56 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \doteq 3,4 \cdot 10^{25} \text{ částic}$$

Molární objem

$$V_m = \frac{V}{n}$$

Objem celé látky

Látkové množství

Jednotka: $[V_m] = \frac{m^3}{mol} = m^3 \cdot mol^{-1}$

Příklad

- ▶ Vzorek vodíku obsahuje $36 \cdot 10^{23}$ molekul H_2 . Jaké je jeho látkové množství?

$$N = 36 \cdot 10^{23}, n = ?$$

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{36 \cdot 10^{23}}{6,022 \cdot 10^{23}} \text{ mol} \doteq 6 \text{ mol}$$

Příklad

- V nádobě je 200 molů chlóru Cl_2 . Určete jeho hmotnost.

$$n = 200\text{mol}, A_r(\text{Cl}) \doteq 35,5 \Rightarrow M_r(\text{Cl}_2) = 2 \cdot 35,5 = 71, m = ?$$

$$M_m = \frac{m}{n} \Rightarrow m = M_m \cdot n = M_r \cdot 10^{-3} \cdot n = 71 \cdot 10^{-3} \cdot 200\text{kg} = 14,2\text{kg}$$

Příklad

- Kolik atomů obsahuje destička ze stříbra Ag o hmotnosti 100 gramů?

$$m = 100g = 0,1kg; M_r(Ag) = 107,9; N = ?$$

$$N = n \cdot N_A$$

$$n = \frac{m}{M_m} = \frac{m}{M_r \cdot 10^{-3}}$$

$$N = \frac{m}{M_r \cdot 10^{-3}} \cdot N_A = \frac{0,1}{107,9 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \doteq 5,851 \cdot 10^{23} \text{ částic}$$

Příklad

- V nádobě o objemu $3,54\text{m}^3$ je 5kg kyslíku O_2 . Jaký je jeho molární objem?

$$m = 5\text{kg}; A_r(\text{O}) \doteq 16 \Rightarrow M_r(\text{O}_2) = 32; V_m = ?$$

$$V_m = \frac{V}{n}; n = \frac{m}{M_r} = \frac{m}{M_r \cdot 10^{-3}}$$

$$V_m = \frac{V}{\frac{m}{M_r \cdot 10^{-3}}} = \frac{3,54}{32 \cdot 10^{-3} \cdot 5} \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \doteq 22,125 \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$$

Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; KUNZOVÁ, Vlasta; SVOBODA, Emanuel. *Fyzika II pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1986, ISBN 14-209-86.
- ▶ [2] MIKULČÁK, Jiří a kol. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1988, ISBN 15 084/87-210.
- ▶ [3] SENTIER, C.. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 1.9.2012]. Dostupný na WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Avogadro_Amedeo.jpg>.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Rovnovážný stav, rovnovážný děj

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Molekulová fyzika a termodynamika
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-2-3
Číslo DUMu	III/2-2-3-03
Anotace	Seznámíme se s některými základními pojmy termodynamických soustav. Na jednoduchých příkladech si teoretické pojmy vysvětlíme.

Stavové veličiny

- ▶ Tělesa mají: různou teplotu, různý tlak, různý objem, různé chemické složení, různé skupenství,...
- ▶ Říkáme, že mají různé STAVY
- ▶ STAVOVÉ VELIČINY – určují stav soustavy ($p, V, T, \dots$)

Termodynamická soustava

- ▶ **Termodynamická soustava:** skupina těles, jejichž stav zkoumáme; část prostoru a její látková náplň
- ▶ **Okolí soustavy:** oblasti, které jsou vně soustavy
- ▶ **Hranice soustavy:** oddělují soustavu od okolí

Termodynamická soustava (pokrač.)



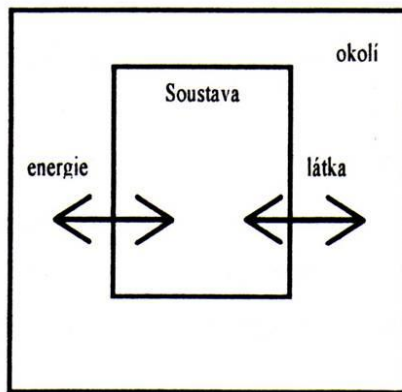
Termodynamická soustava

Okolí soustavy

Hranice soustavy

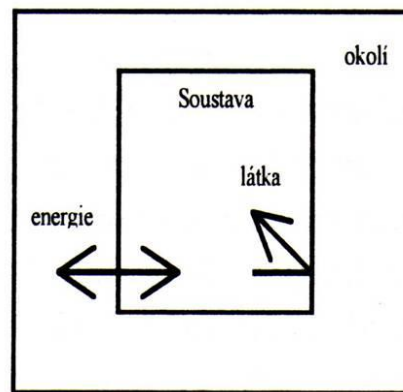
Termodynamické soustavy – dělení

- Podle propustnosti hranic vůči energii a látce



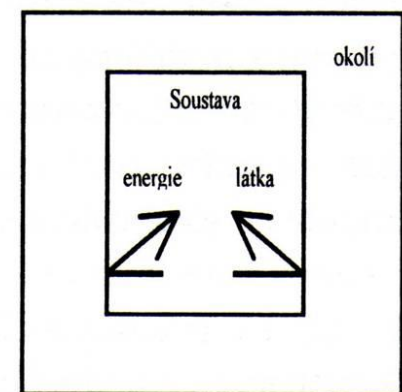
Neizolovaná
otevřená

propouští energii
propouští látku



Neizolovaná
uzavřená

propouští energii
nepropouští látku



Izolovaná

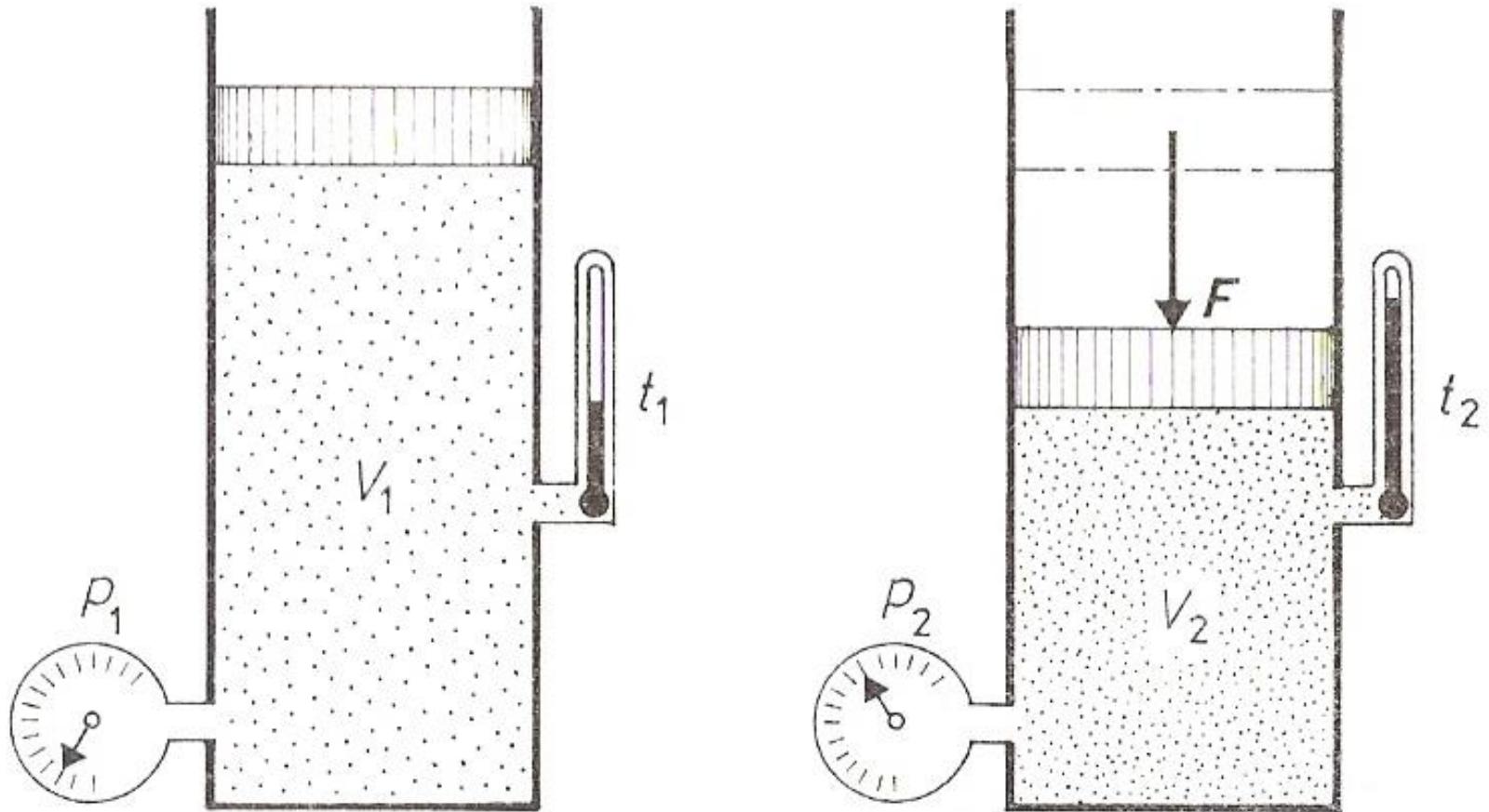
nepropouští energii
nepropouští látku

Termodynamická soustava (pokrač.)

- ▶ Při vzájemném působení soustavy a jejího okolí se mění stav soustavy
- ▶ Například: chladne čaj v hrnku



Termodynamická soustava (pokrač.)



Rovnovážný stav soustavy

- Je-li termodynamická soustava ve stálých vnějších podmínkách, přejde samovolně po uplynutí dostatečně dlouhé doby do **rovnovážného stavu**. V tomto stavu setrvává, pokud zůstanou vnější podmínky zachovány.



zteplá



vychladne

Rovnovážný děj

- ▶ Soustava prochází řadou na sebe navazujících rovnovážných stavů.
- ▶ Je to model; reálné děje se více či méně blíží
- ▶ Přibližně: pokud jde o děje, které probíhají velmi pomalu.
- ▶ Například: chlazení skloviny, chlazení oceli při výrobě,...,teplající půllitr,... ☺

Vratný a nevratný děj

- ▶ **Vratný děj:** při zpětném ději projde všemi rovnovážnými stavy, jako při přímém ději, ale v opačném pořadí
- ▶ Příklad: pomalé stlačování plynu a jeho pomalé rozpínání
- ▶ **Nevratný děj:** opak vratného děje
- ▶ Příklad: rozpouštění kostky cukru (žádným rozumným způsobem se znovu neutvoří).

Úloha

- Mějme náš teplající půllitr. Jde o děj rovnovážný? Je vratný nebo nevratný?

Pokud teplá pomalu, lze to považovat za děj rovnovážný.

Pokud ho opětovně ochladíme, z hlediska teploty to je děj vratný. Striktně z hlediska chemie a mikrobiologie ne. Střídání teplot obecně potravinám nesvědčí.

Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; KUNZOVÁ, Vlasta; SVOBODA, Emanuel. *Fyzika II pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1986, ISBN 14-209-86.
- ▶ [2] Kliparty od firmy Zoner Software, a.s.
- ▶ [3] EVA, Münsterová; EVA, Molliková. *Základy termodynamiky, kinetiky a difuze* [online]. [cit. 28.9.2012]. Dostupný na WWW: ime.fme.vutbr.cz/files/vyuka/BUM/04-BUM.ppt.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

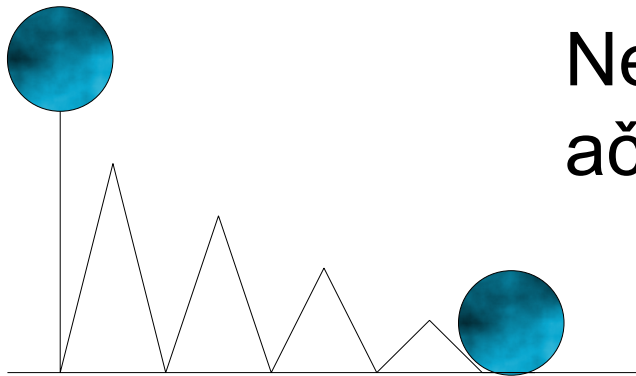
Vnitřní energie soustavy a její změny

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Molekulová fyzika a termodynamika
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-2-3
Číslo DUMu	III/2-2-3-04
Anotace	Seznámíme se se složkami vnitřní energie tělesa. Pomůže nám to smysluplně doplnit zákon zachování energie, který známe z prvního ročníku. Vysvětlíme si způsoby změny vnitřní energie.

Problém (?) se zákonem zachování energie

► Víme:



Neskáče do stejné výšky,
ačkoliv by podle ZZE měl.

Platí ZZE???

► **ANO**, ale musíme přihlédnout k **vnitřní energii**.

Složky vnitřní energie

- ▶ Celková kinetická energie pohybujících se částic
- ▶ Celková potenciální energie částic (je dána vzájemným silovým působením)
- ▶ Kinetická a potenciální energie kmitajících atomů uvnitř molekul
- ▶ Energie elektronů a jaderná energie
- ▶ **Poznámka:** pro nás důležité první dvě

Definice vnitřní energie soustavy

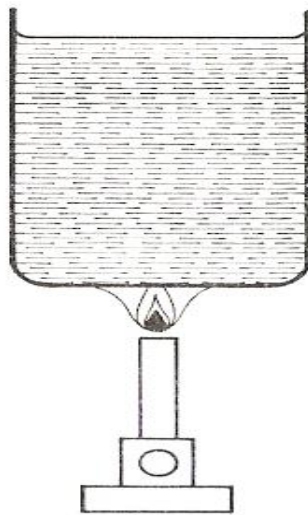
- ▶ Vnitřní energií soustavy nazveme součet celkové kinetické energie neuspořádaně se pohybujících částic (atomů, molekul, iontů) a celkové potenciální energie vzájemné polohy těchto částic.
- ▶ Označení vnitřní energie: U

Změny vnitřní energie

- ▶ **Konáním práce** – například při tření, mletí, ohýbání drátu, stlačení plynu v izolované nádobě,...
- ▶ **Pokus:** třete o sebe ruce. Co cítíte?
- ▶ **Vysvětlení:** částice na styčných plochách se více rozkmitají a předají část energie dalším částicím

Změny vnitřní energie (pokrač.)

- ▶ **Tepelnou výměnou** – neuspořádaně se pohybující částice jednoho tělesa narážejí na neuspořádaně se pohybující částice druhého tělesa a vyměňují si energii.
- ▶ **Pokus:**



Mezi plamenem a
nádobou a mezi nádobou
a vodou

Zobecněný zákon zachování energie

- ▶ Při dějích probíhajících v izolované soustavě zůstává součet kinetické, potenciální a vnitřní energie konstantní.

$$E_k + E_p + U = konst$$

Změna vnitřní energie jako veličina

- ▶ U_1 – vnitřní energie na počátku děje
- ▶ U_2 – vnitřní energie na konci děje

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

Změna vnitřní energie

Veličina teplo

- ▶ Teplo: $Q = \Delta U$
- ▶ Jednotka: Joule ... J
- ▶ Například: $Q=10\text{J}$
- ▶ Při nárůstu vnitřní energie těleso přijímá teplo.
- ▶ Při poklesu vnitřní energie těleso odevzdává teplo.

ZZE při tepelné výměně

- ▶ Při tepelné výměně platí ZZE
 - ▶ Příklad: Studené těleso vložíme do teplé vody. Mezi vodou a tělesem dojde k tepelné výměně.
 - ▶ ΔU_1 – změna energie pro vodu; je záporná
 - ▶ ΔU_2 – změna energie pro těleso; kladná
- $$\Delta U_1 = -\Delta U_2 = Q$$
- ▶ Celková energie soustavy zůstává stejná

Příklad

- Těleso o hmotnosti 5kg padá ve vzduchu z výšky 10m do písku. Vypočtete změnu vnitřní energie tělesa a písku po dopadu.

$$m = 5\text{kg}, h = 10\text{m}, g \doteq 10\text{m.s}^{-2}; \Delta U = ?$$

- Těleso po dopadu „neskáče“ díky měkkému písku a veškerá jeho původní energie se změní na vnitřní energii.

$$\Delta U = E_p = mgh = 5 \cdot 10 \cdot 10\text{J} = 500\text{J}$$

Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; KUNZOVÁ, Vlasta; SVOBODA, Emanuel. *Fyzika II pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1986, ISBN 14-209-86.
- ▶ [2] Obrázek míčku Archiv autora



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

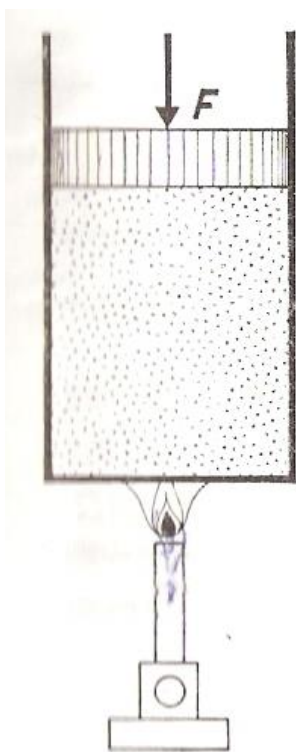
První termodynamický zákon

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Molekulová fyzika a termodynamika
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-2-3
Číslo DUMu	III/2-2-3-05
Anotace	Pochopíme jeden ze základních zákonů termodynamiky. Vysvětlíme si, jak spolu souvisí vnitřní energie tělesa, dodané teplo a vykonaná práce.

Úvodní pokus

► Pokus:



Například: $F=3\text{kN}$, $s=15\text{cm}$

$$W=F \cdot s=3000 \cdot 0,15\text{J}=450\text{J}$$

Plamen předá například teplo $Q=150\text{J}$

(hodnoty jsou náhodně vymyšlené)

Vnitřní energie se mění
zároveň konáním práce i
tepelnou výměnou.

1. termodynamický. zákon (pokrač.)

$$\Delta U = W + Q$$

Přírůstek vnitřní energie soustavy je roven součtu práce vykonané vnějšími silami a tepla, které okolí odevzdá soustavě.

- W – práce, kterou vykonají okolní tělesa
- Q – teplo, které okolí dodá do soustavy

Pozor na znaménka!!!

- ▶ Soustava konáním práce vnějšími silami přijímá energii ... $W > 0$
- ▶ Soustava sama vykonává práci (k čemu jinému by nám byl motor? 😊), tedy odevzdává energii ... $W < 0$
- ▶ Soustava tepelnou výměnou přijímá energii ... $Q > 0$
- ▶ Soustava dodává energii do okolí ... $Q < 0$

Jiné znění 1. termodynam. zákona

- ▶ Úpravou získáme: $\Delta U = W + Q \Rightarrow Q = \Delta U - W$
- ▶ Provedeme přeznačení: $-W = W'$
- ▶ Význam W' : práce vykonaná soustavou na okolí
- ▶ A tedy:

$$Q = \Delta U + W'$$

- ▶ Teplo Q dodané soustavě se rovná součtu přírůstku její vnitřní energie a práce, kterou soustava vykoná.

... jinými slovy

- ▶ Teplo (tedy energie) dodané soustavě se částečně spotřebuje na přírůstek její vnitřní energie (tedy na její zahřátí) a částečně na práci, kterou soustava vykoná.
- ▶ Motor – dodáme energii z paliva; motor se ohřeje a vykoná práci.

Jiné znění 1. termodynamického z.

- ▶ **Není možné sestavit zařízení, které by vykonávalo práci bez změny své vnitřní energie nebo energie okolí.**

$$W' = Q - \Delta U$$

- ▶ **Perpetuum mobile 1.druhu.**

Příklad

- Plyn uzavřený v nádobě s pohyblivým pístem vykonal práci 4kJ. Jak se změnila jeho vnitřní energie, neproběhla-li tepelná výměna? Jak se projeví tato změna vnitřní energie u plynu?

$$W' = 4kJ, Q = 0; \Delta U = ?$$

$$\Delta U = Q - W' = 0 - 4kJ = -4kJ$$

- Poklesne o 4kJ. Poklesne teplota a tlak.

Příklad

- Plyn uzavřený v nádobě s neměnným objemem přijal teplo 10MJ. Jak se změní jeho vnitřní energie? Jak se projeví tato změna u plynu?

$$Q = 100MJ, W' = 0; \Delta Q = ?$$

Stálý objem, tedy nic se nikam nepohybuje, tedy nulová práce!!!

$$\Delta U = Q - W' = 10MJ - 0 = 10MJ$$

Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; KUNZOVÁ, Vlasta; SVOBODA, Emanuel. *Fyzika II pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1986, ISBN 14-209-86.



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tepelná rovnováha, teplota

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Molekulová fyzika a termodynamika
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-2-3
Číslo DUMu	III/2-2-3-06
Anotace	Vysvětlíme si, k jakým situacím může z hlediska přenosu energie dojít, dáme-li dvě tělesa do vzájemného styku. Tím zavedeme veličinu teplota. Seznámíme se s Celsiovou teplotní stupnicí a dozvíme se princip funkce základních druhů teploměrů.

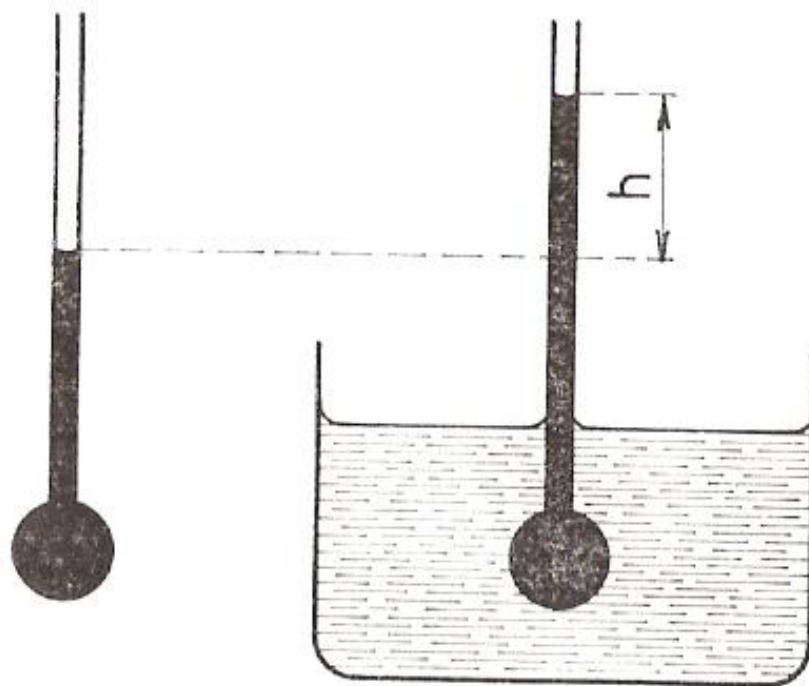
Úvodní úvaha

- ▶ Dvě tělesa dáme do vzájemného styku.
- ▶ Mohou nastat dvě možnosti:
 1. Nedojde k tepelné výměně $\Rightarrow$ tělesa jsou ve vzájemné tepelné rovnováze; mají stejnou teplotu
 2. Dojde k tepelné výměně; trvá do tepelné rovnováhy; na počátku různé teploty těles

Tepelná výměna (pokračování)

- ▶ Tělesu s počáteční vyšší teplotou poklesla vnitřní energie U
- ▶ Tělesu s počáteční nižší teplotou se vnitřní energie zvýšila.

Teploměr



Vytvoří se
tepelná
rovnováha,
teploměr
udává teplotu
tělesa.

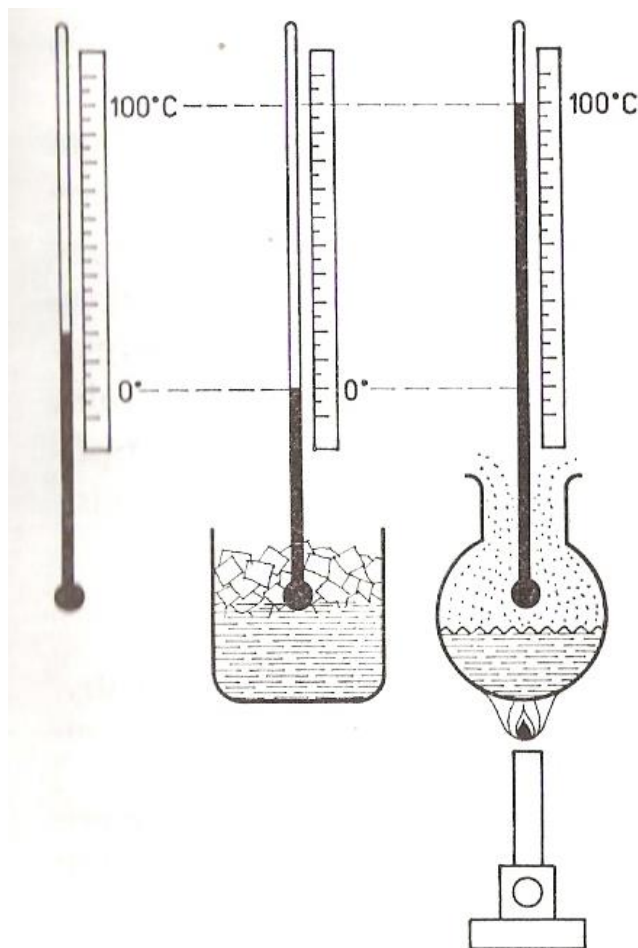
Stupnice obecně

- ▶ Chci měřit – potřebuji stupnici
- ▶ Stupnice – stanovím nulu a velikost dílku
- ▶ Toto platí obecně, nejen pro stupnice pro měření teploty.

Celsiova teplotní stupnice (1742)

- ▶ 0°C – rovnovážný stav mezi vodou a ledem za normálního tlaku (což je $1,01325 \cdot 10^5 \text{Pa}$)
- ▶ 100°C – rovnovážný stav vody a její syté páry za normálního tlaku
- ▶ Vydělíme 100 a máme velikost jednoho stupně Celsia

Celsiova teplotní stupnice



Realizace 0°C
a 100°C

Anders Celsius (1701–1744)

- Švédský astronom a fyzik

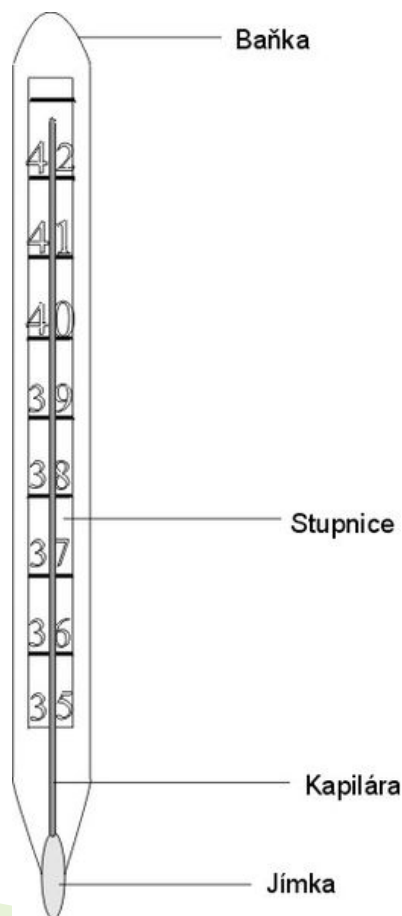


Zajímavosti

- ▶ Původní Celsiova stupnice byla navržena obráceně (tedy 100°C pro tání ledu a 0°C pro var vody)
- ▶ Do dnešní podoby: Carl Linné (1745)
- ▶ Existovala i starší teplotní stupnice – Réaumurova stupnice (1730); již se nepoužívá

Teploměry

- Kapalinové – využívá teplotní roztažnost kapalin.



Kapalinové teploměry (pokračování)

- ▶ Rtuťový: -39°C až 357°C
- ▶ Lihový: -114°C až 78°C
- ▶ Další kapaliny pro měření vyšších i nižších teplot

Teploměry (pokračování)

- ▶ Odporové teploměry – elektrický odpor se mění s teplotou
- ▶ Pyrometr – dvě tělesa zahřátá na stejnou teplotu vydávají záření téže barvy
- ▶ Bimetalový teploměr – využívá rozdílné teplotní roztažnosti různých kovů
- ▶ Termočlánky
- ▶ ...

Literatura

- ▶ [1] ARENIUS, Olof. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 10.9.2012]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Anders-Celsius-Head.jpg>>.
- ▶ [2] MIČUDA, Pavel. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 10.9.2012]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Teplomer.jpg>>.
- ▶ [3] BEDNAŘÍK, Milan; KUNZOVÁ, Vlasta; SVOBODA, Emanuel. *Fyzika II pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1986, ISBN 14-209-86.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Termodynamická teplota

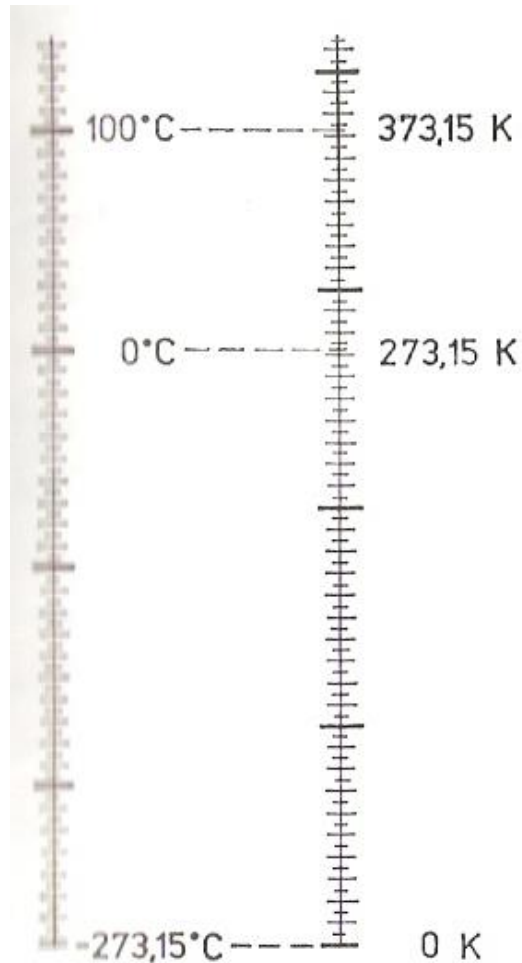
Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Molekulová fyzika a termodynamika
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-2-3
Číslo DUMu	III/2-2-3-07
Anotace	Základní jednotkou soustavy SI pro teplotu je Kelvin. Vysvětlíme si, jak je definován. Naučíme se převádět teploty ze °C na Kelviny a obráceně. Tato dovednost má zásadní význam v budoucím výkladu o plynech.

Zavedení termodynamické teploty

- ▶ Má jen jednu základní teplotu
- ▶ T_r – rovnovážný stav soustavy led + voda + sytá vodní pára (tzv. **trojný bod** vody)
- ▶ $T_r = 273,16\text{K}$
- ▶ Kelvin – jedna ze základních jednotek SI
- ▶ Je definována jako 273,16 díl termodynamické teploty trojného bodu vody

Porovnání Celsiovy a Kelvinovy teplotní stupnice



Je posunutá 0, ale
velikost dílku je stejná.

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

$$T = (t + 273,15)\text{K}$$

Příklad

- Vyjádřete teploty 200K a 855,5K ve °C a teploty -5°C a 30°C v kelvinech.

$$200K = (200 - 273,15)^\circ C = -73,15^\circ C$$

$$855,5K = (855,5 - 273,15)^\circ C = 582,35^\circ C$$

$$-5^\circ C = (-5 + 273,15)K = 268,15K$$

$$30^\circ C = (30 + 273,15)K = 303,15K$$

Vyjádření rozdílu teplot

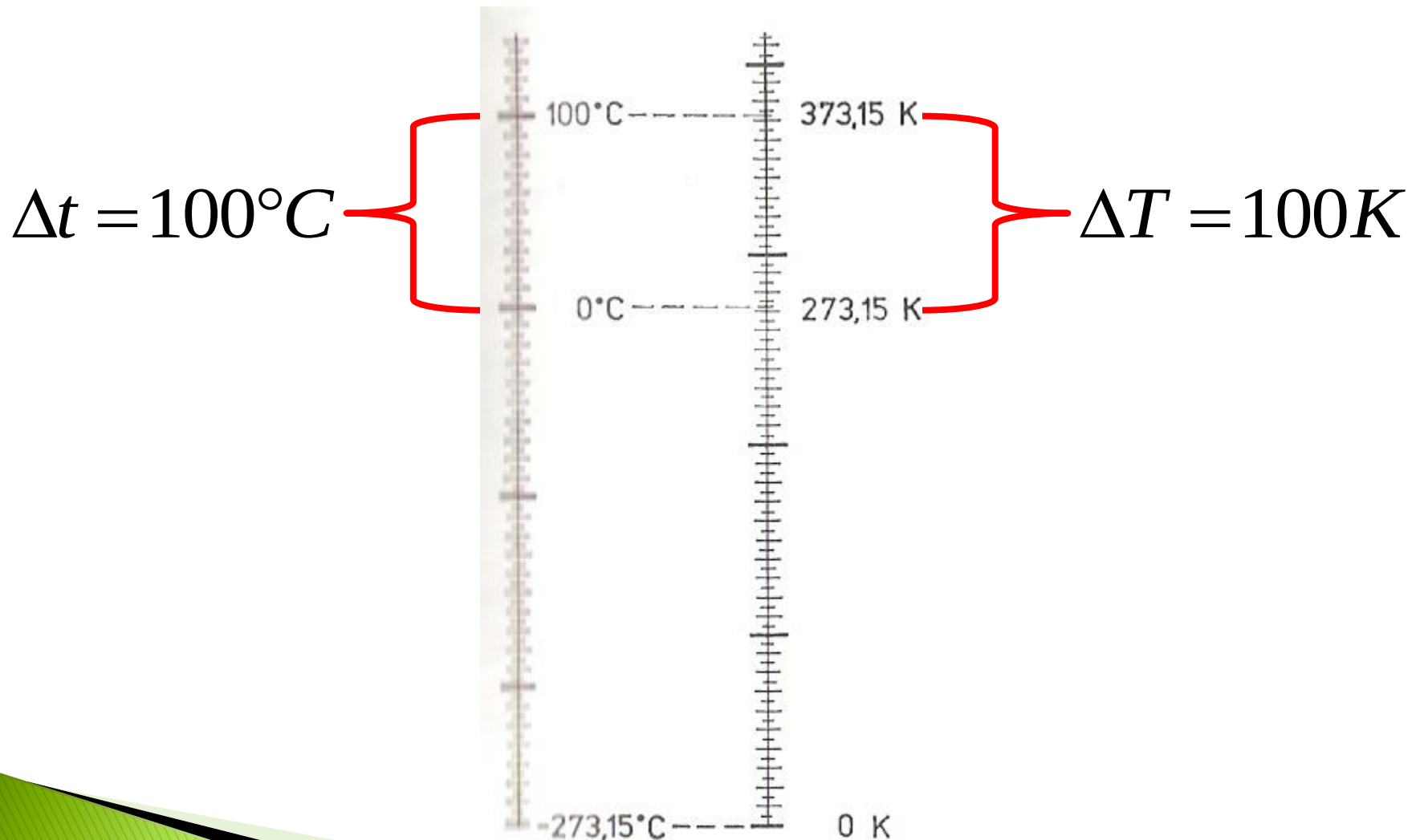
$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

- Víme: velikost dílku je na obou stupnicích stejná.

$$\Delta t = \Delta T$$

Rozdíl teplot – pokračování



Absolutní nula

- ▶ Lze se přiblížit jisté minimální teplotě
- ▶ $T=0\text{K}$ ($t=-273,15^{\circ}\text{C}$), ale ne ji dosáhnout (zjednodušeně řečený 3. termodynamický zákon)
- ▶ Nejnižší dosažená teplota (zatím):
 $T=450\text{pK}=450 \cdot 10^{-12}\text{K}$
- ▶ Kolem absolutní nuly získávají látky zajímavé vlastnosti – supravodivost, supratekutost,...

Příklad

- ▶ Čím se liší zápisy $T=100\text{K}$ a $\Delta T=100\text{K}$?
Vyjádřete oba zápisy také ve $^{\circ}\text{C}$.
- ▶ $T=100\text{K}$... konkrétní teplota
- ▶ $\Delta T=100\text{K}$... rozdíl teplot, ne konkrétní teplota
- ▶ $100\text{K}=(100-273,15)^{\circ}\text{C}=-173,15^{\circ}\text{C}$
- ▶ $\Delta t=100^{\circ}\text{C}$

Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; KUNZOVÁ, Vlasta; SVOBODA, Emanuel. *Fyzika II pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1986, ISBN 14-209-86.



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Modely struktur látek různých skupenství

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Molekulová fyzika a termodynamika
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-2-3
Číslo DUMu	III/2-2-3-08
Anotace	Tato kapitola nám podá přehled o základních vlastnostech jednotlivých skupenství. Informace zde uvedené jsou vstupní pro další podrobné studium jednotlivých fází látky.

Úvodní poznámky

- ▶ V této kapitole uvedeme jen základní poznatky o skupenstvích látek.
- ▶ Podrobně budou probírány v samostatných tematických celcích.
- ▶ Skupenství:
 - Plynné látky
 - Pevné látky
 - Kapalné látky
 - Plazma

Plynné látky

- ▶ Střední vzdálenost mezi částicemi je výrazně větší, než jejich velikost.
- ▶ V takové vzdálenosti je přitažlivá síla mezi nimi minimální a lze ji zanedbat.
- ▶ Ke změně rychlosti (velikosti a směru) dochází díky vzájemným srážkám.
- ▶ Mezi srážkami rovnoměrný přímočarý pohyb.

Plynné látky – pokračování

- ▶ Víceatomové molekuly konají posuvný a rotační pohyb.
- ▶ Atomy uvnitř molekul kmitají.
- ▶ Díky malým přitažlivým silám je celková potenciální energie molekul daleko menší, než jejich pohybová energie.

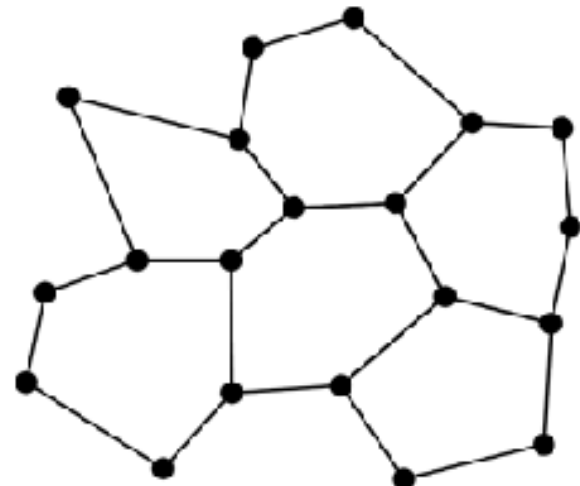
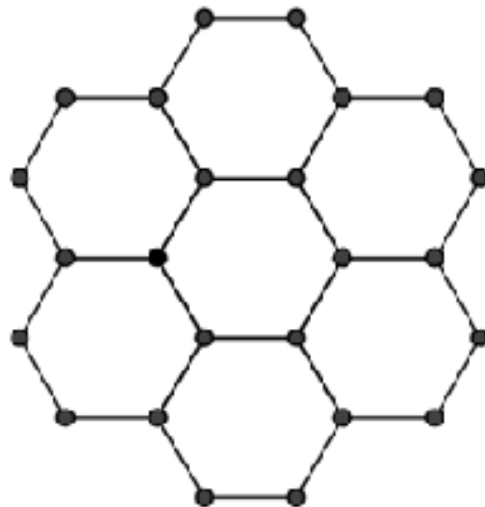
Plynné látky – úkol

- Velikost molekul plynu je výrazně menší, než jejich vzdálenost (vyjádřena střední volnou dráhou). Kolikrát? (Při $t=0^{\circ}\text{C}$, $p=1,013 \cdot 10^5 \text{Pa}$ – „normální podmínky“)

Plyn	Průměr molekuly [nm]	Střední volná dráha molekul [nm]	Střední volná dráha/průměr molekuly
Vodík H_2	0,274	11,1	40,5
Kyslík O_2	0,364	6,3	17,3
Dusík N_2	0,378	5,9	15,6
Oxid uhličitý CO_2	0,466	3,9	8,4
Metan CH_4	0,418	4,8	11,5

Pevné látky

- ▶ Většina pevných látek má pravidelné uspořádání. Částice vytvářejí krystalovou strukturu.
- ▶ Některé látky krystalovou strukturu nevytvářejí – jsou to látky amorfní.



Pevné látky – pokračování

- ▶ Střední vzdálenost částic: 0,2nm až 0,3nm.
- ▶ Kolem svých rovnovážných poloh konají kmitavé neuspořádané pohyby.
- ▶ Celková potenciální energie daná vzájemným silovým působením je větší, než celková kinetická energie, která je dána nepravidelným kmitavým pohybem.

Kapalné látky

- ▶ Molekuly kapalin jsou méně pohyblivé, než molekuly v plynu.
- ▶ Jsou poutány přitažlivými silami.
- ▶ Střední vzdálenost mezi molekulami je asi 0,2nm.
- ▶ Přitažlivé síly jsou ale slabší, než u pevných látek.
- ▶ Každá molekula kmitá kolem své rovnovážné polohy.

Kapalné látky – pokračování

- ▶ Rovnovážná poloha molekul se v čase mění.
- ▶ Rychlost změny rovnovážné polohy závisí na teplotě. Při vyšší teplotě je rychlejší.
- ▶ Celková potenciální energie molekul je srovnatelná s jejich celkovou kinetickou energií.

Plazma

- ▶ Někdy se bere jako čtvrté skupenství látky.
- ▶ Je to soustava elektricky nabitých částic (elektronů, iontů) a neutrálních částic.
- ▶ V podstatě jde o ionizovaný plyn.
- ▶ Soubor částic je navenek celkově neutrální.
- ▶ Při vysokých teplotách (např. 10^8K) je plazma složeno jen z volných jader a elektronů.

Plazma – pokračování

- ▶ Srážky částic nejsou náhlé, jako v plynu, ale plynulé (díky elektrickým silám).
- ▶ Přírodní plazma: plamen, blesk, polární záře.
- ▶ Umělé plazma: například při elektrických výbojích v plynech.

Plazma – obrázky



Blesk



Polární záře

Úkol

- ▶ Vysvětlete rozdíl v hustotě mezi pevnými látkami a kapalinami na jedné straně a plyny na druhé straně z hlediska molekulové fyziky.
- ▶ V kapalinách a v pevných látkách jsou molekuly daleko blíže u sebe, takže se jich do daného objemu vejde podstatně víc.

Úkol

- ▶ Proč se kapalina při přelévání nerozpadne na jednotlivé molekuly, kdežto plyn ano?
- ▶ Mezi molekulami plynu lze zanedbat přitažlivé síly. Molekuly plynu téměř nic nedrží pohromadě. V kapalinách jsou přitažlivé síly mezi molekulami významné a kapalinu pohromadě udrží.

Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; KUNZOVÁ, Vlasta; SVOBODA, Emanuel. *Fyzika II pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1986, ISBN 14-209-86.
- ▶ [2] MIKULČÁK, Jiří a kol. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1988, ISBN 15 084/87-210.
- ▶ [3] AUTOR NEUVEDEN. *Techmania.cz* [online]. [cit. 29.9.2012]. Dostupný na WWW:
<http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=537472756b74757261206ce174656bh&key=592>.
- ▶ [4] MADAU, Mircea. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 29.9.2012]. Dostupný na WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Lightning_over_Oradea_Romania_cropped.jpg>.
- ▶ [5] AUTOR NEUVEDEN. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 29.9.2012]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Polarlicht_2.jpg>.