3.1 Teplota a teplo

Teplota t, T (angl. temperature)

- je stavová veličina, která se mění při zahřívání, nebo ochlazování tělesa, nebo soustavy těles
- měří se teploměry (nikoliv „teplotoměry“ :-)
- kapalinové teploměry nezávisle na sobě sestrojili
  - A. Celsius (0 °C – tání ledu, 100 °C – var vody)
  - D. G. Farnheit (100 °F – teplota lidského těla)

$[t]$ = °C … Celsiův stupeň, vedlejší jednotka SI

Termodynamická (absolutní) teplota

Teplota T

- byla nejdřív experimentálně zavedena jako stavová veličina, kterou měří teploměr (výška sloupce rtuti)
- proto jsou na Celsiově i Farnheitové stupnici kladné i záporné teploty
- s rozvojem fyzikální teorie nazvané termodynamika byla objevena absolutní nula, pod kterou není možné klesnout a zavedena termodynamická teplota

$[T] = \mathrm{K}$ … kelvin, hlavní a základní jednotka SI

Termodynamická (absolutní) teplota

Teplota T

- William Thomson = lord Kelvin ponechal velikost dílku stupnice stejnou jakou stanovil Anders Celsius, ale nulu posunul na teplotu mezní absolutní nuly
- proto jsou převodní vztahy jednoduché

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

- termodynamická teplota nemůže být záporná, proto se jí říká také absolutní teplota

$[T] = \mathrm{K}$ … kelvin, hlavní a základní jednotka SI

Termodynamická (absolutní) teplota

Teplota T

- William Thomson = lord Kelvin ponechal velikost dílku stupnice stejnou jakou stanovil Anders Celsius, ale nulu posunul na teplotu mezní absolutní nuly
- proto jsou převodní vztahy jednoduché

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

- termodynamická teplota nemůže být záporná, proto se jí říká také absolutní teplota

$[T] = \mathrm{K}$ … kelvin, hlavní a základní jednotka SI

Teplo a vnitřní energie tělesa

Teplo Q (angl. quantity of heat)

- není stavová veličina, protože nemá smysl říkat, že v nějakém tělese (soustavě) je určité množství tepla
- teplo je dějová veličina popisující předávání vnitřní energie teplejším a chladnějším tělesem v průběhu vyrovnávání jejich teplot
- proto má stejnou jednotku jako práce W, která určuje předávání energie jednoho tělesa druhému (zde může jít o „vnější“ mechanickou energii či o vnitřní energii)

$[Q] = \mathrm{J}$ … joule

Teplota a její měření - teploměry

Teploměry

- kapalinové
  - rtuťový (t_t = -38,8 °C, t_v = 356,7 °C)
  - lihový (obarvený etanol, t_t = -114,4 °C)
- bimetalový
- plynový
- elektronické
  - termistorový (el. odpor se mění s teplotou)
  - termoelektrický (termočlánek – el. napětí)
- tekuté krystaly mění barvu dle teploty (nepřesné)

Teplota a teploměry - zajímavosti

Zajímavé teploměry

- lékařský maximální teploměr
  - Jak je možné, že po změření teploty rtuť neklesá?
- maximo-minimální teploměr (trubička ve tvaru U)
  - Jak funguje? Jak se vynuluje?
- termograf
  - zapisovací teploměr používaný v meteorologii
- termostat
  - spínací teploměr sloužící k udržení nastavené teploty (pračka, žehlička, elektrická trouba, …)
  - Navrhněte konstrukci takového termostatu!

3.1p Vnitřní energie, tepelná výměna

Vnitřní energie U

- je součtem kinetických a potenciálních energií částic, z nichž je těleso složeno, a vazeb mezi nimi
- protože každé těleso je z pohledu termiky soustavou mnoha částic (molekul, atomů, iontů), užíváme místo pojmu těleso pojem termodynamická soustava
- vnitřní energii soustavy může měnit trojí vzájemné působení s okolím okolím (oběma směry)
  - konání práce
  - tepelná výměna
  - látková výměna

Změna vnitřní energie konáním práce

Změna vnitřní energie $\Delta U = W$

- tření dlaní pro zahřátí, když je nám zima
- rozdělávání ohně třením dvou dřev (v pravěku)
- zahřívání materiálu při obrábění (broušení, řezání, vrtání, soustružení, …)
- hoření meteoroidů v atmosféře („padající hvězdy“)

- opačný směr = soustava konající práci na úkor své vnitřní energie = tepelný stroj (např. parní stroj, či spalovací motory v automobilech)

Změna vn. energie tepelnou výměnou

Změna vnitřní energie $\Delta U = Q$

- teplejší těleso „předává“ teplo Q chladnějšímu tělesu tak dlouho, dokud se teploty nevyrovnají
- dříve si fyzikové mysleli, že teplo je zvláštní tekutina, která nemá žádnou hmotnost, a „přelévá“ se vždycky z teplejšího tělesa do chladnějšího
- dnes víme, že to tak není, ale energii si předávají částice obou těles při vzájemných srážkách
- přitom celková vnitřní energie chladnějšího tělesa roste (což se projeví zvyšováním jeho teploty) a celková vnitřní energie teplejšího tělesa klesá

Tři způsoby tepelné výměny

Změna vnitřní energie tepelnou výměnou $\Delta U = Q$

- vedení (kondukce)
- proudění (konvekce)
- zářením (radiací) neboli sáláním

Tepelná vodivost

- se u různých látek velmi liší: vodiče X izolanty
- velmi dobré vodiče tepla jsou kovy (hliník, měď)
- izolanty jsou sklo, porcelán, voda, vzduch, vakuum
- voda i vzduch však mohou snadno proudit

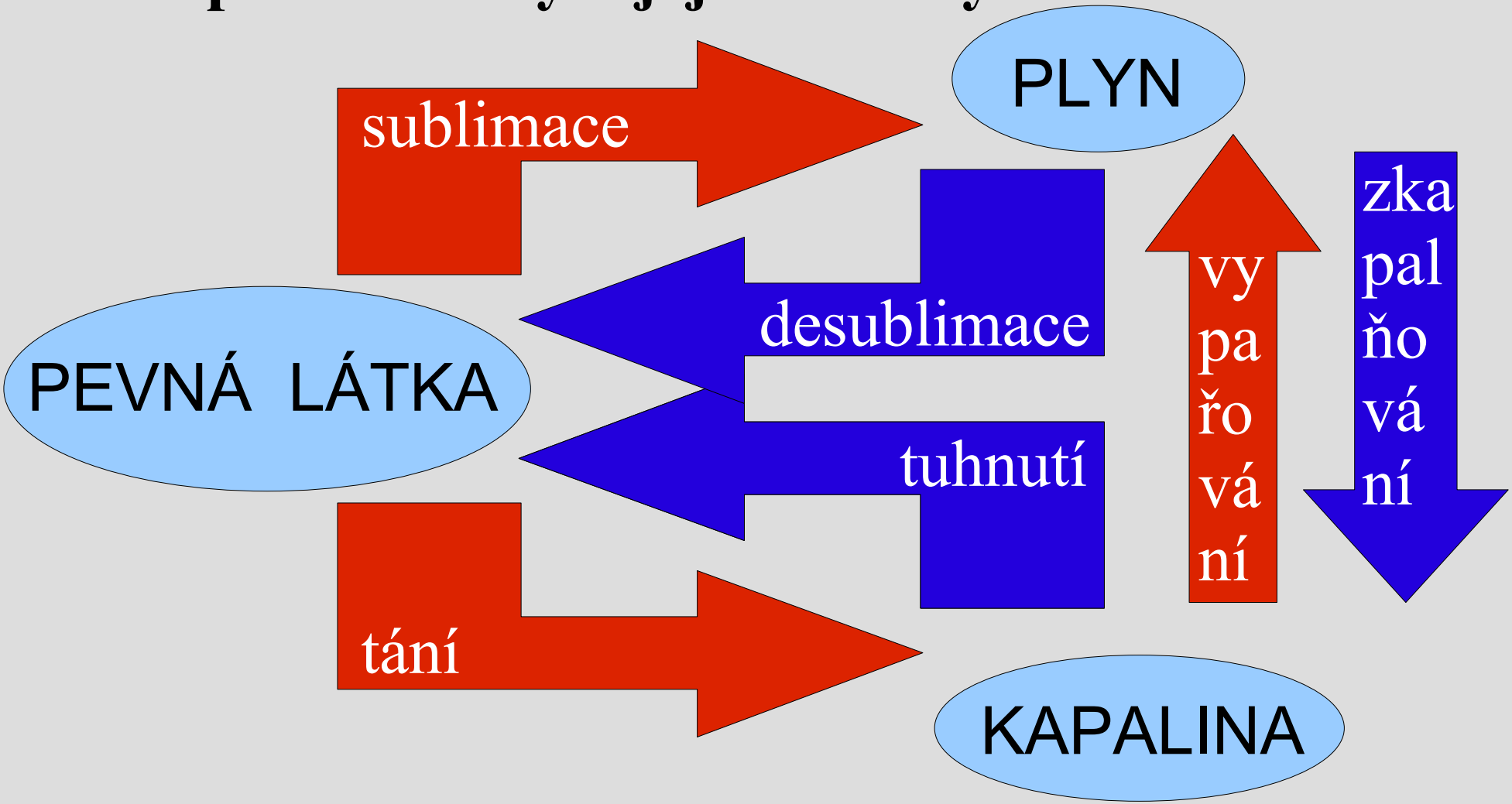
Tři způsoby tepelné výměny

Proudění tekutin a tepelná výměna

- teplá tekutina stoupá nahoru, chladná klesá dolů
- pokud je umožněna cirkulace (tekutina samovolně proudí v nádobě, místnosti apod.) dochází k rychlé výměně tepla
- pokud nedochází k cirkulaci samovolně, můžeme jí pomoci (míchání horké polévky, oběhové čerpadlo v systému ústředního topení)
- efektní experiment: zahřívání zkumavky s ledem od jejího středu

3.2 Látka a její skupenství

Skupenství látky a jejich změny



Látka a změna vnitřní energie

Změna vnitřní energie tělesa se projeví

- **změnou teploty *t* látky**, z níž je těleso vytvořeno
  - tepelná kapacita C tělesa
  - měrná tepelná kapacita c látky
- **změnou skupenství látky**, z níž je těleso vytvořeno
  - skupenské teplo ☞ tání L_t ☞ vypařování L_v
  - měrné skupenské teplo ☞ tání l_t ☞ vypař. l_v

Změna teploty látky - kalorimetrie

Tepelná kapacita tělesa C (angl. capacity)

- dodáme-li tělesu teplo Q, vzroste jeho teplota o Δt
- $[C] = \mathrm{J.K^{-1}}$ nebo $\mathrm{J.°C^{-1}}$

$$C = \frac{Q}{\Delta t}$$

Měrná tepelná kapacita látky c

- dodáme-li 1 kg látky teplo Q, vzroste jeho teplota o Δt
- $[c] = \mathrm{J.kg^{-1}.K^{-1}}$ nebo $\mathrm{J.kg^{-1}.°C^{-1}}$

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m\,\Delta t}$$

$$Q = c\,m\,\Delta t$$

Kalorimetrická rovnice

Teplo Q_1 odevzdané 1. tělesem je rovno teplu Q_2 přijatému 2. tělesem $(t_1 > t_2)$:

$$Q_1 = Q_2$$

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_2)$$

Z kalorimetrické rovnice vypočítáme kteroukoliv veličinu, známe-li hodnoty všech zbývajících veličin.

Tání a tuhnutí látky

Skupenské teplo tání tělesa L_t (angl. latent heat)

- dodáme-li tělesu teplo L_t, celé roztaje, aniž by se jeho teplota nějak změnila (latentní = skryté teplo)
- $[L_t] = \mathrm{J}$

Měrné skupenské teplo tání látky l_t

- dodáme-li 1 kg látky teplo L_t, roztaje, aniž by změnila teplotu
- $[l_t] = \mathrm{J.kg^{-1}}$

$$l_t = \frac{L_t}{m}$$

Při tuhnutí těleso uvolňuje teplo L_t do svého okolí.

Látky krystalické a amorfní

Látky krystalické a amorfní při tání a tuhnutí

- látky krystalické mají přesnou teplotu tání
- při dosažení této teploty se narůstání teploty zastaví a veškerý růst vnitřní energie se projevuje táním, směs pevné látky a kapaliny si udržuje stálou teplotu až do doby než všechna pevná látka roztaje

- látky amorfní nemají přesnou teplotu tání
- během určitého rozmezí teplot postupně měknou („těstovatí“) a při přechodu postupně ztrácí svoji pevnost a čím dál tím víc se podobají kapalinám

Vypařování a zkapalňování látky

Skupenské teplo vypařování tělesa L_v

- je teplo potřebné k vypaření celého tělesa, přitom se ovšem může také měnit teplota tělesa, protože vypařování (na rozdíl od tání) probíhá za jakékoli teploty (ale, s výjimkou varu, jen z povrchu kapaliny)
- L_v je latentní = skryté teplo; $Q = c\,m\,\Delta t$ je teplo, které se projeví změnou teploty kapaliny
- $[L_v] = \mathrm{J}$
- zvláštním způsobem vypařování je **var** kapaliny, při kterém se všechno teplo využívá na změnu skupenství a kapalina se vypařuje v celém objemu

Vypařování a zkapalňování látky

Měrné skupenské teplo vypařování látky l_v

- lze změřit při varu látky
- dodáme-li vroucí kapalině teplo $\{l_v\}$ J, vypaří se jí 1 kg
- $[l_t] = \mathrm{J.kg^{-1}}$
- var kapaliny nastává při teplotě varu t_v
- teplota varu kapaliny silně závisí na vnějším tlaku
- ve velehorách teplota varu nestačí k uvaření jídla
- naopak v tlakovém (Papinově) hrnci se maso uvaří mnohem rychleji než v obyčejném hrnci

$$l_v = \frac{L_v}{m}$$

Vypařování a vody v praxi

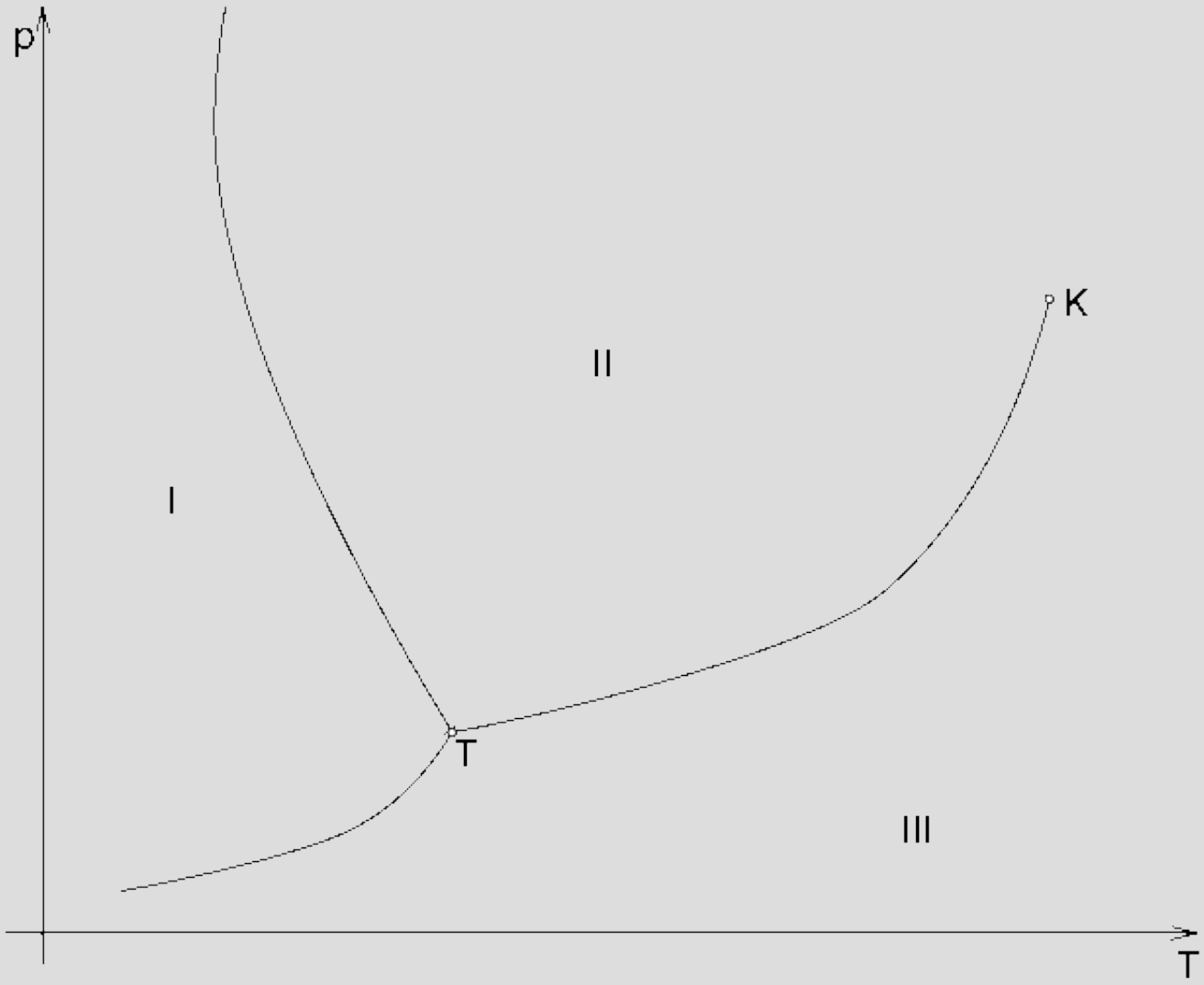
Vypařuje se voda za jakékoli teploty?

- vyprané prádlo uschne na šňůře i v zimě
- louže vyschnou i za chladného, ale slunečného počasí

Závisí teplota varu vody na vnějším tlaku?

- vezměte sebou do hor (na hřebeny) plynový vařič a laboratorní teploměr; zjistěte (podle mapy) svoji nadmořskou výšku a změřte teplotu varu vody (a nezapomeňte si uvařit čaj :-)
- vysvětlete efektní experiment (voda v baňce se začne vařit ve chvíli, kdy baňku polijeme studenou vodou)

Fázový diagram a trojný bod



I … pevná látka
II … kapalina
III … plyn

K … kritický bod
T … trojný bod

I-II … křivka tání
I-III … křivka sublimace
T-K... křivka syté páry

Zajímavosti okolo skupenství látek

Jsou ještě další skupenství hmoty?

- čtvrtým skupenstvím hmoty je plazma, tj. velmi žhavý a silně ionizovaný plyn
- zvláštní je např. také látka tvořící neutronové hvězdy
- jiná skupenství hmoty tedy hledejme ve Vesmíru

Jaká je definice jednotky termodynamické teploty?

- kelvin je 1/273,16 díl termodynamické teploty trojného bodu vody
- to znamená, že teplota trojného bodu vody je 273,16 K, tedy 0,01 °C

3.3 Částicová stavba látky

Malé (nejmenší) částice látky očekávali nejprve filozofové (atomisté) a nazvali je atomy (z řeckého atomos = nedělitelný) … starověké Řecko a Řím.

Mnohem později chemici zjistili, že látky se slučují vždy v určitých hmotnostních poměrech, což lze vysvětlit existencí nejmenších částeček hmoty, které nazvali molekuly (lat. molekula = hmotička).

Dnes víme, že i molekuly a atomy lze dále rozdělit, že mají svoji vnitřní strukturu.

Molekuly a jejich tepelný pohyb

Řadu vlastností látek všech skupenství je možné vysvětlit pomocí molekul (atomy můžeme pokládat za jednoatomové molekuly), aniž bychom je dále „pitvali“ (zkoumali jejich vnitřní strukturu).

Jednou z typických vlastností molekul je neustálý a neuspořádaný pohyb, který nazýváme **tepelný pohyb**. Tento pohyb nemůžeme vidět, ale jeho důsledky pozorovat můžeme.

Důsledky tepelného pohybu molekul

Difuze
vzájemné pronikání a mísení dvou látek stejného skupenství (vůně ve vzduchu, barvivo ve vodě)

Osmóza
pronikání organických látek buněčnou stěnou

Brownův jev
můžeme pozorovat pod mikroskopem například na kapkách tuku v silně zředěném mléce (Robert Brown jej pozoroval na pylových zrnkách)

Mezimolekulové síly

Mezimolekulové síly jsou při malých vzdálenostech odpudivé, při o něco větších vzdálenostech se mění na přitažlivé a s dalším zvětšováním vzdálenosti rychle slábnou. Způsobují soudržnost a přilnavost.

Soudržnost (koheze)
je síla držící těleso pohromadě.

Přilnavost (adheze)
je síla mezi dvěma hladkými povrchy (např. dvěma skleněnými deskami položenými na sobě).

Látkové množství

Látkové množství n
je dáno počtem molekul (nebo jiných částic = atomů, iontů, apod.) v daném tělese (látkové soustavě).

$[n] = \text{mol}$

Látková soustava má látkové množství **1 mol**, jestliže obsahuje právě tolik částic, kolik je atomů v nuklidu uhlíku C12 o hmotnosti 12 g.

Ale kolik tam těch částic je? Zkuste odhadnout!

Avogadrova konstanta

udává počet částic v **1 mol** látky. Experimentálně byla zjištěna hodnota

$$N_A = 6{,}022 \,.\, 10^{23} \ \text{mol}^{-1}$$

Vzpomeňme si na definici jednotky mol a vypočtěme hmotnost atomu uhlíku C12

$$m_{C12} = \frac{m}{N_A} = \frac{0{,}012\,kg}{6{,}022\,.10^{23}} \approx 1{,}992\,.10^{-26}\,kg$$

A odtud snadno dopočítáme (i když ne zcela přesně!) hmotnost jednoho nukleonu (protonu nebo neutronu).

Atomová hmotnostní konstanta

neboli **unifikovaná atomová hmotnostní jednotka**

$$u = 1{,}661 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$$

je přibližně rovna hmotnosti jednoho nukleonu a vypočítáme pomocí ní přesně hmotnosti 1 atomu, či 1 molekuly, známe-li jejich relativní atomovou hmotnost A_r, nebo relativní molekulovo hmotnost M_r.

$$m_a = u\,A_r \qquad m_m = u\,M_r$$

Molární hmotnost a molární objem

jsou veličiny vztažené na **1 mol** látky. Tedy hmotnost *m*, nebo objem *V*, celé látkové soustavy vydělíme látkovým množstvím *n*:

$$M_m = \frac{m}{n} \qquad V_m = \frac{V}{n}$$

Molární hmotnost můžeme ovšem spočítat také z hmotnosti jedné molekuly látky, jestliže ji vynásobíme Avogadrovou konstantou:

$$M_m = N_A \, m_m = N_A \, u \, M_r$$

Molekuly a skupenství látek

Plyn
Vzdálenosti mezi molekulami >> rozměry molekul, proto s už neprojevují přitažlivé síly.
Při srážce molekul se projeví odpudivé síly, proto je můžeme považovat za dokonale pružné.
Mezi srážkami se molekuly plynu pohybují RPP (platí pro ně 1. NPZ) různými rychlostmi a směry.
Tlak plynu je dán současnými nárazy velkého počtu molekul na stěny nádoby.

Plynem se budeme později podrobně zabývat.

Molekuly a skupenství látek

Kapalina

Vzdálenosti mezi molekulami ≈ rozměry molekul (obojí je řádově 0,1 nm = 10^{-10} m), proto na každou molekulu působí přitažlivé síly sousedních molekul. Molekuly kmitají kolem své rovnovážné polohy *), nebo si i mohou vyměnit místo s některou sousední molekulou (tekutost).

*) O jaký typ rovnovážné polohy se jedná?

Zvláštní situace je v povrchové vrstvě kapaliny.

Povrchová síla, povrchové napětí

Povrchová vrstva kapaliny
se zdánlivě chová jako pružná blána, protože síly přitažlivosti mezi molekulami působí pouze směrem dovnitř kapaliny.
Síly se snaží povrchové molekuly vtahovat dovnitř, což vysvětluje kulový tvar malých volných kapek i vznik výše uvedené „blány“, po které např. běhají vodoměrky, nebo na ni můžeme opatrně položit lehkou minci.

Kapilární jevy (elevace a deprese)

Kapilární elevace
pokud kapalina smáčí stěny nádoby (např. voda smáčí sklo), vystoupí v důsledku povrchového napětí v tenké trubičce (kapiláře) výše než je výška hladiny kapaliny v jejím okolí.

Kapilární deprese
pokud kapalina nesmáčí stěny nádoby (např. rtuť nesmáčí sklo), klesne v důsledku povrchového napětí v tenké trubičce (kapiláře) níž než je výška hladiny kapaliny v jejím okolí.

3.3p Krystaly, teplotní roztažnost

V pevných látkách jsou molekuly (atomy, ionty, …) pevně vázány. Mohou jen kmitat kolem rovnovážné polohy.

Pevné látky můžeme rozdělit na látky

- monokrystalické
- polykrystalické
- amorfní

Monokrystaly a polykrystalické látky

Monokrystaly
Jsou-li částice pravidelně uspořádány v celém objemu tělesa, vytvářejí okem viditelné pravidelné těleso, tzv. monokrystal.

Polykrystalická látka
je složena z velkého množství malých krystalů (zrn), které jsou uspořádány nahodile. Jednotlivá zrna nejsou vidět pouhým okem, ale dobře je můžeme pozorovat pod mikroskopem.

Amorfní (beztvaré) látky

Amorfní látky
(beztvaré látky) nemají částice pravidelně uspořádané ani v mikroskopickém měřítku (ani pod mikroskopem bychom neviděli krystalická zrna). Jejich vlastnosti se blíží vlastnostem kapalin.

Příklady amorfních látek
sklo, vosk, parafin, plasty

Sklo velmi pomalu teče. Zahřátím lze tuto tekutost výrazně zvýšit a sklo tvarovat.

Amorfní a polykrystalické látky

Jak od sebe odlišíme amorfní a polykrystalickou látku?

Mikroskopem
Vybroušený a vyleštěný kousek dáme pod mikroskop (komparační mikroskop umožňuje nasvícení vzorku shora). Pozorujeme-li drobná krystalická zrna, jde o polykrystalickou látku.

Tavením
Má-li látka nízký bod tání (abychom mohli použít rtuťový teploměr), budeme měřit teplotu zahřívané látky v závislosti na čase. Jakou křivku naměříme?

Teplotní roztažnost látek

Pevné látky
Zjišťujeme délkovou i objemovou teplotní roztažnost. Musíme s ní počítat při budování železnic, potrubí, elektrického vedení vysokého napětí, mostů, …
Různá roztažnost 2 různých kovů se používá u tzv. bimetalových teploměrů a termostatů.

Kapaliny
Jsou tekuté (mění tvar), proto nemají délkovou, ale jen objemovou teplotní roztažnost. Přibývající celkový objem se může projevit stoupáním kapaliny v měřicí trubičce teploměru (rtuť, obarvený líh).

Teplotní roztažnost látek

Délková

$$l = l_0[1 + \alpha\,(t - t_0)]$$

t_0, l_0 … počáteční teplota a délka tyče

t, l … konečná teplota a délka tyče

α … teplotní součinitel délkové roztažnosti

Objemová

$$V = V_0[1 + \beta\,(t - t_0)]$$

Teplotní součinitelé roztažnosti

U pevných látek platí $\beta \approx 3\alpha$

Hodnoty α pro některé kovy

olovo	…	$2{,}9 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{K}^{-1}$
hliník	…	$2{,}4 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{K}^{-1}$
měď	…	$1{,}7 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{K}^{-1}$
železo	…	$1{,}2 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{K}^{-1}$
wolfram	…	$0{,}4 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{K}^{-1}$

3.4 Ideální plyn

Ideální plyn - makroskopicky

- bez vnitřního tření (tj. dokonale tekutý)
- dokonale stlačitelný

Ideální plyn - mikroskopicky

- rozměry molekul plynu jsou zanedbatelně malé v porovnání se vzdálenostmi mezi nimi
- přitažlivé síly mezi molekulami jsou velmi slabé, takže je můžeme také zanedbat
- srážky mezi molekulami navzájem a se stěnami nádoby jsou dokonale pružné (platí pro ně ZZE)

Ideální plyn při stálé teplotě

Stálá teplota – izotermický děj

- platí pro něj Boylův–Mariotův zákon
- součin tlaku a objemu plynu zůstává konstantní

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \qquad \text{nebo} \qquad p V = konst.$$

Ideální plyn adiabaticky izolovaný

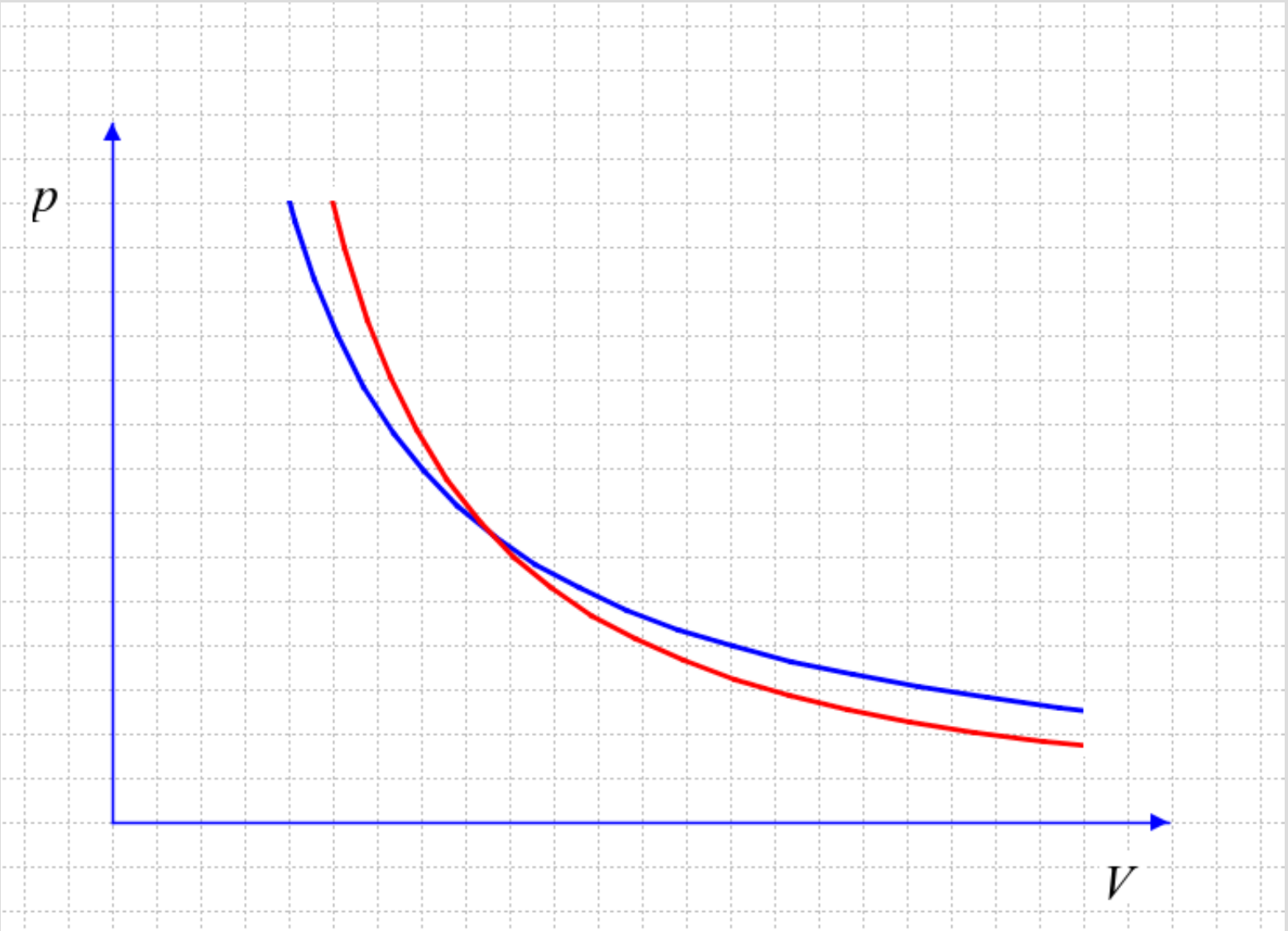
Adiabaticky izolovaná soustava – adiabatický děj

- neprobíhá tepelná výměna s okolím (nestíhá !)
- platí pro něj Poissonův zákon
- součin tlaku a objemu umocněného na exponent *kappa* (Poissonova konstanta) zůstává konstantní

$$p_1 V_1^{\kappa} = p_2 V_2^{\kappa} \quad \text{nebo} \quad p V^{\kappa} = konst.$$

- Poisonnova konstanta je pro jednoatomové plyny $\kappa \approx 5/3$ a pro dvouatomové plyny $\kappa \approx 7/5$

Izoterma a adiabata v p-V diagramu



Ideální plyn při stálém tlaku

Stálý tlak – izobarický děj

- platí pro něj Gay–Lussacův zákon
- objem plynu se mění přímo úměrně jeho absolutní teplotě (teplotě T v kelvinech)
- jinak řečeno: poměr objemu plynu k jeho absolutní teplotě zůstává konstantní

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \qquad \text{nebo} \qquad \frac{V}{T} = konst.$$

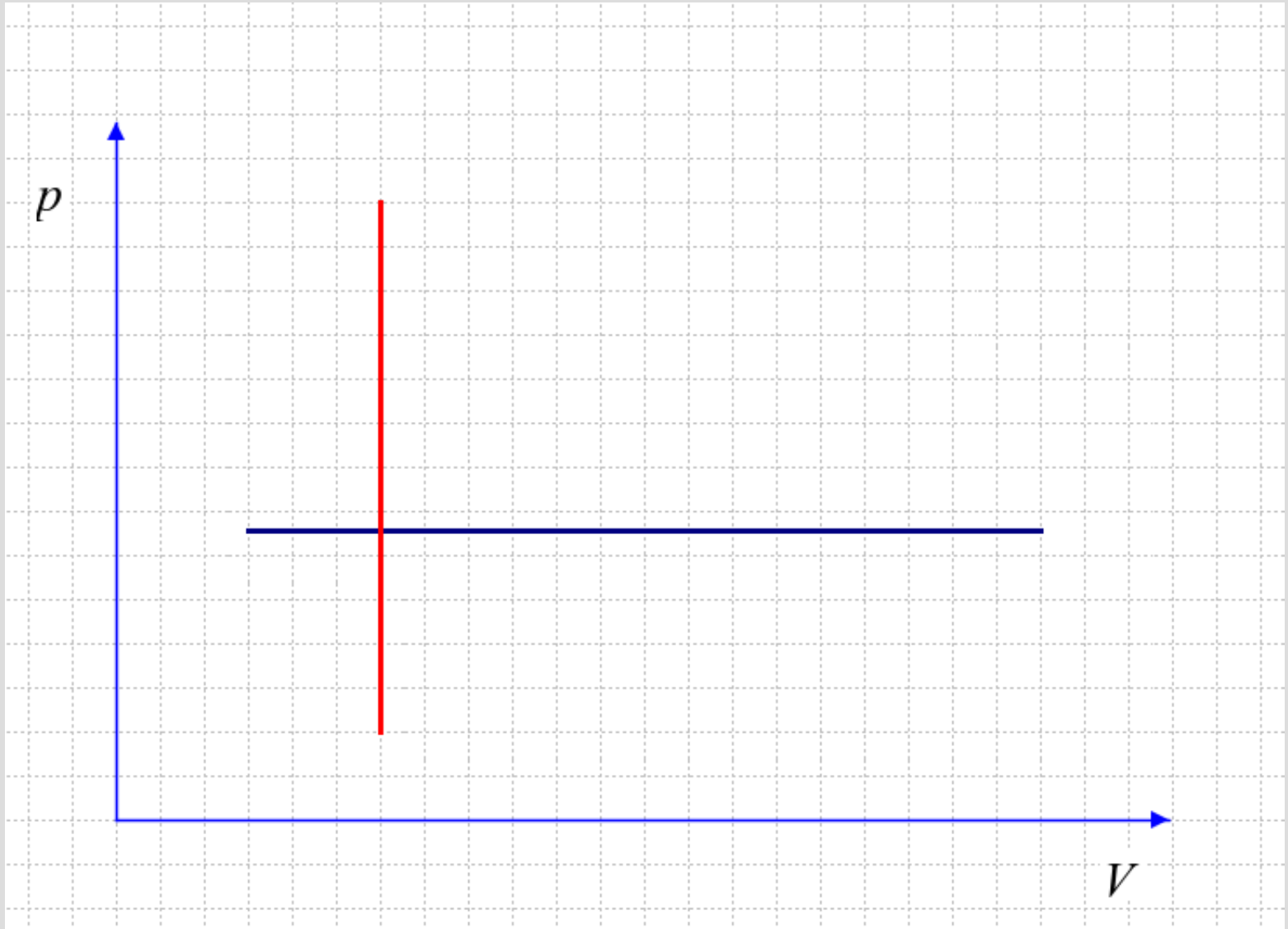
Ideální plyn při stálém objemu

Stálý objem – izochorický děj

- platí pro něj Charlesův zákon
- tlak plynu se mění přímo úměrně jeho absolutní teplotě (teplotě T v kelvinech)
- jinak řečeno: poměr tlaku plynu k jeho absolutní teplotě zůstává konstantní

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \qquad \text{nebo} \qquad \frac{p}{T} = konst.$$

Izobara a izochora v p-V diagramu



Odvození stavové rovnice

Odvození stavové rovnice ideálního plynu

- z Gay-Lussacova a Boyle-Mariottova zákona
- z počátečního stavu p_0, V_0, T_0 nejprve izobaricky zvýšíme teplotu na hodnotu T, přitom objem se zvětší na hodnotu V_1
- ve druhém kroku izotermicky zvýšíme tlak z počátečního p_0 na konečný tlak p, přitom se objem změní z V_1 na V

$$\frac{V_1}{T} = \frac{V_0}{T_0} \qquad \text{a} \qquad pV = p_0 V_1$$

Odvození stavové rovnice

Z obou rovnic vyjádříme V_1

$$V_1 = \frac{V_0}{T_0} T \qquad \text{a} \qquad V_1 = p \frac{V}{p_0}$$

a sestavíme rovnici

$$p \frac{V}{p_0} = \frac{V_0}{T_0} T$$

kterou upravíme na tvar

$$p \frac{V}{T} = p_0 \frac{V_0}{T_0} = konst.$$

obecný tvar rovnice ideálního plynu

Molární plynová konstanta R

Konstanta na pravé straně rovnice je rovna $n\,R$

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

$$p\,\frac{V}{T} = n\,R$$

kde n je látkové množství plynu
a $R = 8{,}31\ \mathrm{J.K^{-1}.mol^{-1}}$ je molární plynová konstanta.

Stavovou rovnici pak píšeme ve tvaru:

$$p\,V = n\,R\,T$$

3.5 Základy termodynamiky

Termodynamika

- zkoumá zákony přeměn různých druhů energie
- klíčovými pojmy jsou vnitřní energie soustavy, teplo, práce vnějších sil

Tři zákony termodynamiky

- 1. TDZ je důsledkem ZZE
- 2. TDZ má dvě různé formulace, v té druhé se setkáme s perpetuem mobile druhého druhu
- 3. TDZ nám lépe objasní pojem absolutní nuly u termodynamické (Kelvinovy) teploty

První termodynamický zákon

1. TDZ

- je důsledkem ZZE
- Přírůstek ΔU vnitřní energie soustavy se rovná součtu práce W vykonaná okolními tělesy působícími na soustavu silami a tepla Q odevzdaného okolními tělesy soustavě.

$$\Delta U = W + Q$$

- místo přírůstku (+) vnitřní energie můžeme mít její úbytek (-)
- místo práce konané okolím (+) může práci konat soustava (-)
- místo tepla odevzdaného okolními tělesy soustavě (+) můžeme uvažovat teplo přijaté okolními tělesy od soustavy (-)

Druhý termodynamický zákon

2. TDZ

- používají se dvě ekvivalentní (ale na první pohled rozdílné) formulace
- má statistickou povahu, říkáme-li nemůže, myslíme, že to má stejně nepatrnou pravděpodobnost, jako že hodíme šestku 1 000 000 000 x po sobě

První formulace 2. TDZ

Při tepelné výměně těleso o vyšší teplotě nemůže samovolně přijímat teplo od tělesa s nižší teplotou.

Druhý termodynamický zákon

Druhá formulace 2. TDZ
Nelze sestrojit perpetuum mobile druhého druhu.

Perpetuum mobile druhého druhu
je periodicky pracující tepelný stroj, který pouze přijímá teplo od určitého tělesa (ohřívače) a koná stejně velkou mechanickou práci.

Skutečný tepelný stroj
může zužitkovat (využít ke konání práce) jen část tepla přijatého od ohřívače a část tepla musí vždy odevzdat chladiči.

Účinnost tepelného stroje

Tepelný stroj

- pracuje cyklicky a v každém cyklu
- přijme od ohřívače teplo Q_1
- odevzdá chladiči teplo Q_2
- vykoná práci $W = Q_1 - Q_2$
- jeho účinnost η tedy je

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Účinnost tepelného stroje

Sadi Carnot

- francouzský inženýr
- odvodil vztah pro maximální teoreticky možnou účinnost cyklicky pracujícího tepelného stroje
- je-li teplota ohřívače T_1 a teplota chladiče T_2

$$\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

- jedná se o termodynamické (absolutní) teploty !

Třetí termodynamický zákon

3. TDZ

Nulové termodynamické teploty (tzv. absolutní nuly) nelze žádným způsobem dosáhnout.

Důkaz 3. TDZ

- důkaz provedeme sporem
- Kdyby šlo dosáhnout absolutní nuly, použili bychom takto ochlazené těleso jako chladič pro Carnotův tepelný stroj, ten by ale měl účinnost 100 % a měnil by všechno přijaté teplo na práci.
- Tak bychom získali perpetuum mobile druhého druhu, což je spor s 2. TDZ !

3.5p Tepelné motory

Tepelné motory – přehled

- s vnějším spalováním
  - parní stroj
  - parní a plynové turbíny
  - Stirlingův stroj
- s vnitřním spalováním
  - zážehový (čtyřdobý, dvoudobý, Wankelův)
  - vznětový (nazývaný též Dieselův)
  - spalovací turbíny (např. proudový motor, dvouproudový motor, raketové motory; turbovrtulový motor, ...)

Vznětový motor čtyřdobý

Nejperspektivnější typ motoru v silniční dopravě

- kromě energetických a ekonomických hledisek je dnes důležité také ekologické hledisko
- nejlépe z tepelných motorů vychází čtyřdobé vznětové motory, palivem je zpravidla nafta nebo stlačený zemní plyn
- zvýšení výkonu a účinnosti motoru a snížení emisí se dosahuje přeplňováním turbodmýchadlem a elektronicky řízeným vstřikováním paliva (Common Rail)

Váš projekt „Tepelný motor“

- tepelných motorů je celá řada, vyberte si podle toho, co vás zajímá (parní stroje, parní lokomotivy, osobní či nákladní automobily, lodě, letadla, kosmonautika, ekologie, …) a domluvte si téma s učitelem fyziky
- o svém typu motoru zjistěte co nejvíc (kdy a kým byl vynalezen, zdokonalen, použit v sériové výrobě, jaké jsou jeho parametry – především výkon a účinnost, ale také hmotnost, hlučnost, ...)
- o svém typu motoru napište stručné pojednání (jednu až dvě strany A4 v textovém editoru písmem 12pt) s vhodnými ilustracemi (schéma, fotografie, …)

3.6 Velmi nízké a vysoké teploty

Velmi nízké teploty

- na povrchu planety Země $t \in$ <-40 °C, +40 °C>
- rtuť tuhne při -38,8 °C; etanol (líh) při -114,4 °C
- dusík má teplotu varu -195,8 °C
- kapalný dusík se používá v biologii a medicíně k uchování spermií, vajíček, vzorků tkání, …
- ve fyzice se používá k chlazení některých experimentálních aparatur a detektorů záření
- kapalný dusík se vyrábí ve velkém množství

Proč zrovna dusík? (Jaké je složení vzduchu?)

Kapalné hélium a supratekutost

Velmi nízké teploty

- nejdéle odolávalo zkapalnění hélium (1908)
- teplotu varu helia je jen **4,2 K** (dusíku 77,35 K)
- kapalné helium je supratekuté
- vodiče ochlazené na teplotu kapalného hélia jsou supravodivé (zcela ztrácí elektrický odpor)
- lze dosáhnout ještě nižší teploty, přitom objevují nebo experimentálně ověřují zvláštní vlastnosti hmoty
- teplotě absolutní nuly se lze hodně přiblížit, ale nelze jí přesně dosáhnout (viz 3. TDZ)

Velmi vysoké teploty, plazma

Velmi vysoké teploty

- na povrchu planety Země $t \in$ <-40 °C, +40 °C>
- rtuť vaří při -356,7 °C; etanol (líh) při 78,3 °C
- vysoce ionizovaný plyn (elektrony se odpoutávají od jader atomů) se nazývá plazma
- vysoké teploty vznikají v důsledku termojaderných reakcí v nitru hvězd
- povrch našeho Slunce má teplotu asi 5 500 °C
- v nitru našeho Slunce je teplota asi 15 000 000 °C
- v nitru jiných hvězd může být ještě 100 x větší

Umělé Slunce na planetě Zemi ?

Umělá řízená termojaderná reakce

- jedním ze snů fyziků a techniků je možnost využití termojaderné reakce pro výrobu elektrické energie
- prozatím zůstává snem a daří se jen na velmi krátkou dobu
    - v tokamaku (magnetická nádoba) pouze několik sekund až minut (tj není stabilní)
    - ohřátím malého množství plynu pomocí pulzů záření výkonných laserů soustředěných na jedno místo (reakce se udrží jen zlomek sekundy)

Slunce přírodní X umělé

Umělá řízená termojaderná reakce

- Proč se nám ji nedaří udržet, když na Slunci probíhá přírodní reakce samovolně miliardy let?
- Velmi horké a relativně husté plazma drží pohromadě gravitační síla, která je obrovská díky velké hmotnosti Slunce.
- Tak velké síly neumíme zatím na Zemi dosáhnout!
- Jakou povahu by musely mít síly držící pohromadě umělé Slunce? Zjistěte co je to tokamak!

Určeno pro prezentaci přednášky Vybrané kapitoly z fyziky pro studenty OVP.

Byly použity materiály z http://www.musilek.eu/fyzika , které vycházejí z učebnice

Ivan Štoll: Fyzika pro netechnické obory SOŠ a SOU, Prometheus, Praha 2001