

**Masarykova univerzita**

Pedagogická fakulta

**Řešené problémy a příklady  
z obecné chemie**

Hana Cídllová, Petra Švihelová



Brno 2009

## Předmluva

Sbírka řešených problémů a příkladů z obecné chemie vznikla jako reakce na nedostatek vhodných studijních materiálů pro předmět *Obecná chemie* a *Seminář z obecné chemie* Pedagogické fakultě Masarykovy univerzity. Studenti PdF MU měli do této doby přístup pouze ke sbírkám příkladů obecné chemie určeným pro studenty Přírodovědecké fakulty či pro studenty jiných fakult, které výběrem učiva i náročností nebyly zcela vhodné pro účely budoucích učitelů chemie.

Příklady a úkoly zařazené v této nově předkládané sbírce odpovídají současným požadavkům kladeným na studenty ve výuce výše zmíněných předmětů na PdF MU.

Sbírka úzce navazuje na připravovanou učebnici *Obecná chemie* (Cídllová, Mokrá, Valová) a procvičuje prakticky veškeré učivo probírané v této učebnici. Jednotlivé příklady či úlohy jsou v rámci kapitol členěny do oddílů korespondujících s Niemiřkovou taxonomií. Oddíly jsou v souladu s touto taxonomií označeny písmeny **A**, **B**, **C**, **D**. Stupeň **C** je pak podrobněji rozpracován do jednotlivých podstupňů (viz kapitola Kritéria kategorií obtížnosti).

Výsledky všech příkladů a úloh jsou uvedeny vždy na konci odpovídající kapitoly (tématického celku učiva). Úkoly z oddílů **A**, **B** jsou doplněny většinou pouze odkazem na číslo konkrétní kapitoly z učebnice *Obecná chemie* (Cídllová, Mokrá, Valová), kde je možno správnou odpověď vyhledat. U početních příkladů (oddíly **C**, **D**) jsou uvedeny autorské výsledky.

Časová náročnost je stanovena pouze u úloh zařazených v oddílech **B**, **C**, **D** a je vždy umístěna nad zadání příkladu. V oddílu **C** je uváděno jemnější hodnocení obtížnosti dle kapitoly 1.

Studentům mají skripta napomoci k lepšímu pochopení problematiky probírané v *Semináři Obecné chemie*, k zopakování učiva probraného v předmětu *Obecná chemie* a k procvičení jednotlivých typů příkladů či úloh. Kromě studentů učitelství chemie má sbírka posloužit také dalším zájemcům o chemii z řad pedagogů, odborníků, studentů i nadanějších žáků.

Doufáme, že Vám tento studijní materiál usnadní studium obecné chemie a přeje-  
me Vám, aby se Vám s ním příjemně pracovalo.



## Obsah

Předmluva .....	2
Kritéria kategorií obtížnosti .....	5
Návrh rozšíření stupně C Niemierkovy taxonomie .....	6
Základní vztahy .....	10
21 Skupenské stavy látek .....	13
21.1 Plyny .....	13
Potřebné vztahy .....	15
Řešené příklady: .....	17
PŘÍKLADY K SAMOSTATNÉMU ŘEŠENÍ .....	30
Výsledky .....	34
21.2 Kapaliny .....	36
Výsledky .....	36
21.4 Fázové rovnováhy .....	37
Řešené příklady .....	41
PŘÍKLADY K SAMOSTATNÉMU ŘEŠENÍ .....	44
Výsledky .....	45
22 Krystalová struktura .....	47
Potřebné vztahy .....	50
Řešené příklady .....	52
PŘÍKLADY K SAMOSTATNÉMU ŘEŠENÍ .....	55
Výsledky .....	56
23. Základy termodynamiky .....	60
Potřebné vztahy .....	63
Řešené příklady .....	66
PŘÍKLADY K SAMOSTATNÉMU ŘEŠENÍ .....	72
Výsledky .....	75
26 Koligativní vlastnosti .....	78
Potřebné vztahy .....	79
Řešené příklady: .....	80
PŘÍKLADY K SAMOSTATNÉMU ŘEŠENÍ .....	82
Výsledky .....	82
Seznam použité literatury .....	84

## Kritéria kategorií obtížnosti

### Niemierkova taxonomie vzdělávacích cílů v kognitivní oblasti

A	<p><b>Zapamatování poznatků</b> Tato kategorie zjišťuje, jestliže je žák schopen vybavit si určitá fakta, termíny, zákony, přičemž je nesmí mezi sebou zaměňovat. <i>Typická aktivní slovesa: definovat, napsat, opakovat, pojmenovat, reprodukovat,..</i></p>
B	<p><b>Porozumění poznatkům</b> V této fázi je žák schopen zapamatované poznatky reprodukovat v jiné formě než v té, ve které si je zapamatoval, dovede poznatky uspořádat či zestručnit. <i>Typická aktivní slovesa: jinak formulovat, ilustrovat, objasnit, odhadnout, přeložit, převést, říci vlastními slovy,..</i></p>
C	<p><b>Používání vědomostí v typových situacích</b> Žák dokáže využít vědomostí k řešení situací, které byly ve výuce řešeny. <i>Typická aktivní slovesa: aplikovat, použít, prokázat, diskutovat, vyzkoušet, demonstrovat, načrtnout, registrovat,..</i></p>
D	<p><b>Používání vědomostí v problémových situacích</b> Žák dovede použít získaných vědomostí k řešení problémových situací, které nebyly ve výuce řešeny. <i>Typická aktivní slovesa: rozhodnout, provést rozbor, kombinovat, prověřit, zhodnotit, posoudit, vyvrátit,..</i></p>

Kritéria obtížnosti jednotlivých příkladů v této sbírce vycházejí z Niemierkovy taxonomie vzdělávacích cílů v kognitivní oblasti. Tato taxonomie zavádí 4 úrovně osvojování znalostí, z nichž první dvě jsou zaměřené na získávání vědomostí. Zbývající úrovně se věnují získávání dovedností, tedy aplikaci poznatků (vědomostí).

Skripta jsou také v tomto smyslu koncipována. Nejdříve jsou vždy uvedeny úlohy vyžadující pouhou reprodukci zapamatovaných poznatků (označeny písmenem **A**), poté přicházejí na řadu úlohy, které již vyžadují porozumění těmto poznatkům (označeny písmenem **B**).

Následuje pasáž zaměřená na aplikaci vědomostí v praxi (3. stupeň Niemierkovy taxonomie, označeno písmenem **C**). V této části jsou zařazeny úlohy založené na znalosti a porozumění potřebným vztahům či vzorcům, ale také teoretickým poznatkům. Aby bylo zvládnutí tohoto stupně co nejsnadnější, jsou na začátku tohoto oddílu vždy uvedeny vzorové úlohy, které vysvětlují řešení typových příkladů (aplikaci vědomostí). Pojem typové příklady tedy označuje úlohy, jejichž řešení již bylo naznačeno v rámci vzorových příkladů. Poté následuje sekce vybraných příkladů, které jsou určeny k samostatnému řešení pro studenty. Tyto příklady jsou uspořádány podobně jako řešené příklady, tzn. dle nároků na používání množství vztahů a dalších úkonů.

Tyto nároky na řešení jednotlivých příkladů jsou klasifikovány níže a jsou rozšířením a rozpracováním Niemierkovy taxonomie (navrženo při tvorbě diplomové práce).

Poslední stupeň, označený písmenem **D**, je řazen jako 4. stupeň Niemiřkovy taxonomie. Příklady z tohoto oddílu řeší problémové netypové situace. Postupy řešení těchto složitějších příkladů nejsou již uvedeny ve vzorových úlohách a vyžadují složitější myšlenkové operace.

### Návrh rozšíření stupňů C a D Niemiřkovy taxonomie

Ve stupních **C** a **D** Niemiřkovy taxonomie se předpokládá aplikace získaných vědomostí v typových situacích. Jde o úlohy, které byly již ve výuce řešeny. Ty jsou ve vznikající sbírce zastoupeny vzorovými příklady. Další část je již určená k samostatnému řešení příkladů principiálně stejných jako jsou příklady vzorové.

Vzhledem k tomu, že rozmanitost příkladů je velká a existují podstatné rozdíly mezi těmito příklady v náročnosti na jejich řešení, byl při tvorbě sbírky 3. stupeň Niemiřkovy taxonomie rozšířen. Obtížnost řešení jednotlivých úloh je klasifikována na další podúroveň, podle počtu využitých operací, které musí postupně žák či student vykonat, aby příklad vyřešil (tab. 4).

V posloupnosti jednotlivých podstupňů je zachován stejný princip, na kterém je postavena vlastní Niemiřkova taxonomie. To znamená, že se postupuje podle obecných didaktických zásad učení - od nejjednoduššího ke složitějšímu. Podmínkou dosažení vyšší úrovně je opět zvládnutí úrovně předchozí.

**Navržené podstupně ve stupních C a D Niemiřkovy taxonomie** jsou uvedeny v tabulce:

Algebraické úpravy vzorců, práce s kalkulačkou a určení molární hmotnosti látek na základě relativní atomové hmotnosti z periodické tabulky se pokládají za triviální a do klasifikace obtížnosti úloh se zde nezapočítávají.

<b>C1a</b>	použití jednoho vzorce, bez převodů jednotek
<b>C1b</b>	C1a + převody jednotek, práce s tabulkami
<b>C1c</b>	C1b + jednoduchá úvaha, trojčlenka, práce s procenty
<b>C1d</b>	C1d + sestavení chemické rovnice
<b>C2a</b>	kombinace 2 vzorců, bez převodů jednotek
<b>C2b</b>	C2a + převody jednotek, práce s tabulkami
<b>C2c</b>	C2b + kombinace 2 vzorců, převody jednotek, práce s tabulkami, jednoduchá úvaha, trojčlenka, práce s procenty
<b>C2d</b>	C2c + sestavení chemické rovnice
<b>C3a</b>	kombinace 3 a více vzorců, bez převodů jednotek
<b>C3b</b>	C3a + převody jednotek, práce s tabulkami
<b>C3c</b>	C3b + jednoduchá úvaha, trojčlenka, práce s procenty
<b>C3d</b>	C3c + sestavení chemické rovnice

### Význam symbolů jednotlivých podstupňů Niemiery taxonomie

Označení jednotlivých podstupňů 3. stupně Niemiery taxonomie jsou sestaveny ze tří symbolů. Každý symbol má určitý význam, jak vysvětluje následující text (tab. 4 a tab. 5).

Písmeno C označuje třetí stupeň Niemiery taxonomie, viz tabulka výše.

Číselný údaj (**1, 2, 3**) následující po písmeni **C** označuje počet vztahů potřebných k vyřešení úlohy, kdy jako vztah je také označena znalost standardních podmínek nebo jiných významných veličin. Čísla **1** a **2** označují konkrétní počet vztahů, zatímco číslo **3** označuje minimální počet vztahů, zahrnuje tedy i úlohy, u nichž je k jejich vyřešení nutné použít i více vztahů než jsou právě tři.

Posledním symbolem je malé písmeno (**a, b, c** popř. **d**) označující další úkony nezbytné k vyřešení daného příkladu. Symbolem **a** jsou označeny příklady, které lze řešit pouze pomocí určitého počtu vztahů (viz číselný údaj), ale nejsou již potřebné jiné úkony (jako např. jednoduchá úvaha, trojčlenka a další). Při řešení příkladů označených symboly **b, c, d** je nutné využít jednak dané vztahy (číselný údaj), ale také další jiné úkony (tab. 4, tab.5).

### Výčet úkonů náležející k daným podstupňům

Kritéria	Podstupně											
	C1a	C1b	C1c	C1d	C2a	C2b	C2c	C2d	C3a	C3b	C3c	C3d
<b>1 vzorec</b>	✓	✓	✓	✓								
<b>2 vzorce</b>					✓	✓	✓	✓				
<b>3 vzorce</b>									✓	✓	✓	✓
<b>převody jednotek</b>		✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓
<b>vyhledání v tabulkách</b>		(✓)	(✓)	(✓)		(✓)	(✓)	(✓)		(✓)	(✓)	(✓)
<b>jednoduchá úvaha</b>			(✓)	(✓)			(✓)	(✓)			(✓)	(✓)
<b>trojčlenka</b>			(✓)	(✓)			(✓)	(✓)			(✓)	(✓)
<b>práce s procenty</b>			(✓)	(✓)			(✓)	(✓)			(✓)	(✓)
<b>sestavení rovnice</b>				✓				✓				✓

K řešení příkladů označených symboly **b, c, d** není většinou využito všech zmíněných úkonů. Ve výše uvedené tabulce je uveden výčet všech úkonů, které daná kategorie zahrnuje. Symbolem ✓ jsou v dané kategorii označeny úkony, které musí být při řešení dané úlohy vždy provedeny. Úkony označené symbolem (✓), nemusí být u příkladu využity vždy všechny.

## Kritéria kategorií obtížnosti

To znamená, že při řešení příkladu označeného symbolem **b**, je vždy nutno provést **převod jednotek**, ale ne vždy je k jeho vyřešení nutná **práce s tabulkami**.

U příkladů označených symbolem **c** platí podmínky pro **b** a navíc je nutné při jejich řešení využít alespoň jeden z úkonů označených (✓) – **jednoduchá úvaha, trojčlenka, práce s procenty**.

Při řešení příkladů označených symbolem **d** platí podmínky pro **b** a **c** a navíc je k jejich vyřešení vždy nutné **sestavení a práce s rovnicí**.





## Základní vztahy

Základní vztahy se prolínají celou sbírkou příkladů a jejich znalost je nezbytnou podmínkou k řešení uvedených příkladů. V sekci řešených příkladů jsou tyto vztahy značeny souhrnně písmenem B\* a jsou doplněny číslem, které udává, o jaký konkrétní vztah se jedná.

### Základní vztahy pro látkové množství:

$$A_r = \frac{m_a}{m_u}, \text{ resp. } M_r = \frac{m_m}{m_u}, \quad (\text{B1})$$

kde

$A_r$  ..... relativní atomová hmotnost (bezrozměrné číslo)

$M_r$  ..... relativní molekulová hmotnost (bezrozměrné číslo)

$M_a$  ..... hmotnost atomu (kg)

$m_m$  ..... hmotnost molekuly (kg)

$m_u$  ..... atomová hmotnostní jednotka (kg),  $m_u = 1,6605402 \cdot 10^{-27}$  kg

$$n = \frac{N}{N_A}, \quad (\text{B2})$$

kde

$n$  ..... látkové množství (mol)

$N$  ..... počet sledovaných částic

$N_A$  ..... Avogadrova konstanta ( $\text{mol}^{-1}$ ),  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

$$n = \frac{m}{M}, \quad (\text{B3})$$

kde

$n$  ..... látkové množství (mol)

$m$  ..... hmotnost (g)

$M$  ..... molární hmotnost ( $\text{g mol}^{-1}$ )

### Molární zlomek:

$$x_i = \frac{n_i}{n_{\text{celk}}}, \quad (\text{B4})$$

kde

$x_i$  ..... molární zlomek sledované i-té složky (bezrozměrné číslo)

$n_i$  ..... látkové množství sledované i-té složky (mol)

$n_{\text{celk}}$  .... celkové látkové množství v soustavě (mol)

---

\* Označení základních vztahů písmenem B vychází z anglického slova *basis* - základ.

## Základní vztahy

### Molární objem:

$$V_m = \frac{V}{n}, \quad (\text{B5})$$

kde

$V_m$  ..... molární objem (např.  $\text{dm}^3 \text{mol}^{-1}$ )

$V$  ..... objem látky (např.  $\text{dm}^3$ )

$n$  ..... látkové množství dané látky (mol)

### Definice hustoty:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (\text{B6})$$

kde

$\rho$  ..... hustota (např.  $\text{g dm}^{-3}$ )

$m$  ..... hmotnost (např. g)

$V$  ..... objem (např.  $\text{dm}^3$ )

### Látková (dříve tzv. molární) koncentrace:

$$c = \frac{n}{V}, \quad (\text{B7})$$

kde

$c$  ..... látková koncentrace ( $\text{mol m}^{-3}$ )

$n$  ..... látkové množství dané látky (mol)

$V$  ..... objem (např.  $\text{m}^3$ )

### Molalita - využití např. v kryoskopii a ebulioskopii

$$c_{m_i} = \frac{n_i}{m}, \quad (\text{B8})$$

kde

$c_{m_i}$  ..... molární koncentrace rozpuštěné (netěkavé) látky v roztoku ( $\text{mol kg}^{-1}$ )

$n_i$  ..... látkové množství rozpuštěné látky  $i$  (mol)

$m$  ..... hmotnost rozpouštědla (kg)

### Objem krychle:

$$V = a^3, \quad (\text{B9})$$

kde

$V$  ..... objem krychle (např.  $\text{m}^3$ )

$a$  ..... délka hrany krychle (např. m)

Základní vztahy

**Objem koule:**

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3, \quad \text{(B10)}$$

kde

$V$  ..... objem koule (např. m<sup>3</sup>)

$\pi$  ..... Ludolfovo číslo (bezrozměrné číslo),  $\pi \doteq 3,14$

$r$  ..... poloměr koule (např. m)

## 21 Skupenské stavy látek

---





### 21.1 Plyny

---

#### A

1. Vyjmenujte jednotlivé skupenské stavy a uveďte jejich obvyklé symboly.
  2. Definujte ideální plyn a formulujte zákony, které pro něj platí.
  3. Definujte nebo vysvětlete následující pojmy
    - reálný plyn
    - parciální tlak
    - parciální objem
    - kritická teplota
    - kritický tlak
  4. Vysvětlete, čím se liší definice ideálního plynu od plynů reálných.
  5. K čemu se používá van der Waalsova rovnice?
- 

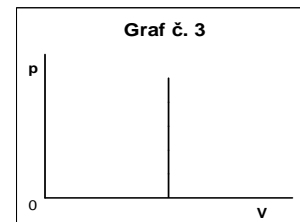
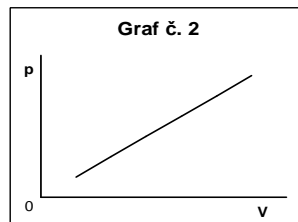
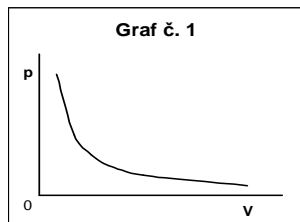
#### B

1.  2 min  
Která z následujících látek by v plynném stavu vykazovala největší odchylky od chování ideálního plynu? Svou odpověď zdůvodněte.  
a) CH<sub>4</sub>      b) H<sub>2</sub>      c) CH<sub>3</sub>Cl      d) CH<sub>3</sub>OH
2.  1 min  
Mezimolekulární přitažlivé síly jsou větší v kapalném methanu než v kapalném argonu. Která z obou látek má vyšší hodnotu kritické teploty?
3.  1 min  
Stejné hmotnosti O<sub>2</sub> a N<sub>2</sub> jsou při téže teplotě uzavřeny v oddělených nádobách o stejném objemu. Která z následujících tvrzení jsou pravdivá?  
a) obě nádoby obsahují stejný počet molekul  
b) tlak v nádobě s dusíkem je větší než tlak v nádobě s kyslíkem  
c) více molekul je v nádobě s kyslíkem než v nádobě s dusíkem
4.  2 min  
Seřad'te následující plyny podle vzrůstající hmotnosti stejných objemu těchto plynů: O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>

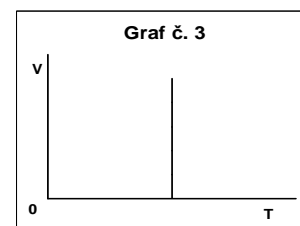
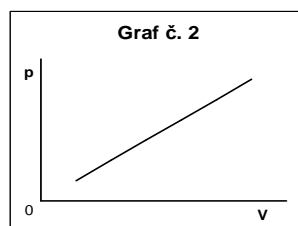
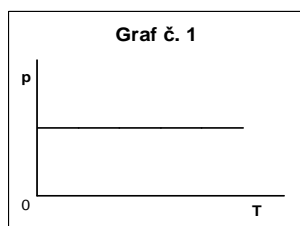
5.  2 min

Pro ideální plyn vyberte vždy správný tvar závislosti k uvedeným dějům (viz následující obrázky):

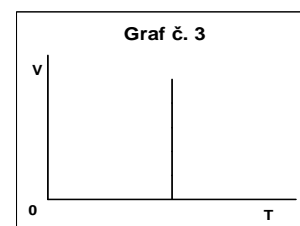
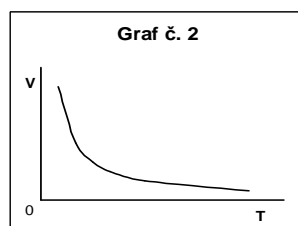
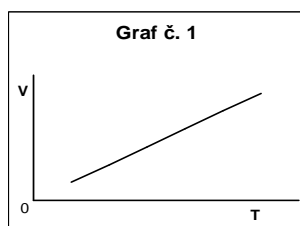
a) závislost tlaku na objemu při konstantní teplotě



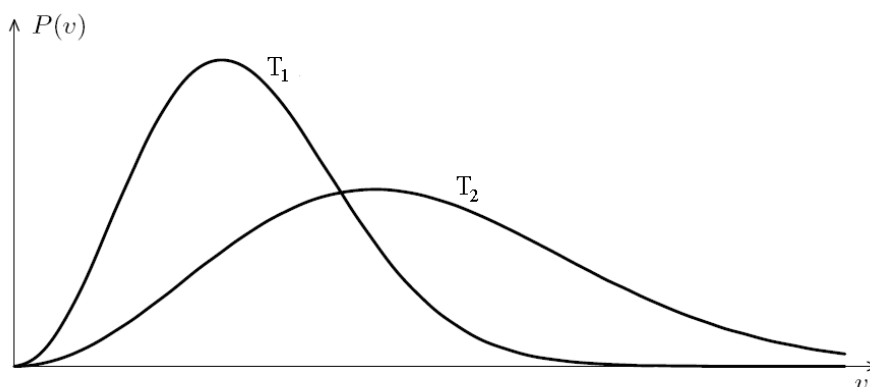
b) závislost tlaku na teplotě při konstantním objemu



c) závislost objemu na teplotě při konstantním tlaku

6.  1 min

Na obrázku je graf Maxwellova-Boltzmannova rozdělení rychlostí molekul při různých teplotách. Určete, která z křivek odpovídá vyšší teplotě a která nižší.

7.  2 min

Určete, zda bude probíhat rychleji transfúze methanu nebo oxidu uhličitého.

## C

**Potřebné vztahy****Standardní podmínky:**

tlak 101 325 Pa, teplota 298,15 K (21.1-1)

**Přepočítání mezi Celsiovou a Kelvinovou stupnicí:**

$$T = 273,15 + t, \quad (21.1-2)$$

kde

 $T$  ..... termodynamická teplota v kelvinech $t$  ..... teplota ve stupních Celsia**Stavová rovnice ideálního plynu:**

$$pV = nRT, \quad (21.1-3)$$

kde

 $p$  ..... tlak plynu (Pa) $V$  ..... objem ( $\text{m}^3$ ) $n$  ..... látkové množství plynu (mol) $R$  ..... molární plynová konstanta ( $\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ ),  $R = 8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$  $T$  ..... termodynamická teplota (K)**Parciální tlak plynu:**

$$p_i = p_{\text{celk}} x_i \quad (21.1-4)$$

kde

 $p_i$  ..... parciální tlak  $i$ -tého plynu (např. Pa) $p_{\text{celk}}$  ..... celkový tlak všech plynů v soustavě (stejně jednotky jako  $p_i$ ) $x_i$  ..... molární zlomek  $i$ -tého plynu (bezrozměrné číslo)**Daltonův zákon (konstantní teplota a objem):**

$$p_1 + p_2 + \dots + p_n = p_{\text{celk}} \quad (21.1-5)$$

kde

 $p_1, p_2$  až  $p_n$  ..... parciální tlaky jednotlivých složek směsi plynů (např. Pa), všechny tlaky dosazujeme ve stejných jednotkách

**Parciální objem plynu:**

$$V_i = V_{celk} x_i, \quad (21.1-6)$$

kde

 $V_i$  ..... parciální objem i-tého plynu (např. dm<sup>3</sup>) $V_{celk}$  .... celkový objem všech plynů v soustavě (např. dm<sup>3</sup>), stejné jednotky jako  $V_i$  $x_i$  ..... molární zlomek i-tého plynu (bezrozměrné číslo)**Amagatův zákon:**

$$V_1 + V_2 + \dots + V_n = V_{celk} \quad (21.1-7)$$

kde

 $V_1, V_2$  až  $V_n$  ..... parciální objemy jednotlivých složek směsi plynů, pozn. dosazujeme ve stejných jednotkách objemu (např. dm<sup>3</sup>) $V_{celk}$  ..... celkový objem všech plynů v soustavě (např. dm<sup>3</sup>)**Grahamův zákon**

$$\frac{\omega_A}{\omega_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}}, \quad (21.1-8)$$

kde

 $\omega_A$  ..... rychlost transfúze (efúze) plynu A $\omega_B$  ..... rychlost transfúze (efúze) plynu B (obě rychlosti musí mít stejné jednotky) $M_A$  ..... molární hmotnost plynu A $M_B$  ..... molární hmotnost plynu B (obě molární hmotnosti musí mít stejné jednotky)**Střední molární hmotnost**

$$M_{stř} = \sum x_i M_i \Rightarrow M_{stř} = x_1 M_1 + x_2 M_2 + \dots + x_n M_n, \quad (21.1-9)$$

kde

 $M_{stř}$  ..... střední molární hmotnost $x_i$  ..... molární zlomek i-té složky směsi,  $i = 1, 2, \dots, n$  $M_i$  ..... molární hmotnost i-té složky směsi



**Řešené příklady:****Ideální plyn a směsi ideálních plynů****1. C1b**

Kyslík zaujímá objem  $30 \text{ dm}^3$ , působí na něj tlak  $120,0 \text{ kPa}$  a má teplotu  $30 \text{ °C}$ . Vypočítejte jeho látkové množství.

Řešení:

Vyjdeme ze stavové rovnice ideálního plynu (21.1-3):

$$pV = nRT$$

Ze vzorce vyjádříme látkové množství:

$$n = \frac{pV}{RT}$$

Dosadíme:

$$n = \frac{120,0 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 30 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot (273,15 + 30) \text{ K}} \doteq \underline{\underline{1,43 \text{ mol}}}$$

Látkové množství kyslíku za daných podmínek je  $1,4 \text{ mol}$ .

**2. C2b**

$27 \text{ g}$  vody bylo v nádobě o objemu  $10 \text{ dm}^3$  zahřáto na  $150 \text{ °C}$ . Vypočítejte tlak vzniklé vodní páry v nádobě.

Řešení:

Tlak vodní páry vypočítáme pomocí stavové rovnice ideálního plynu (21.1-3), kde látkové množství vodní páry zjistíme pomocí vztahu (B3).

$$pV = nRT$$

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

Spojením těchto dvou vztahů dostaneme:

$$p = \frac{\frac{m}{M} RT}{V}$$

Číselně:

$$p = \frac{\frac{27 \text{ g}}{18,003 \text{ g mol}^{-1}} \cdot 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot (273,15 + 150) \text{ K}}{10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} \doteq 530 \cdot 10^3 \text{ Pa} = \underline{\underline{530 \text{ kPa}}}$$

Tlak vodní páry v nádobě je 530 kPa.

### 3. C1b

**Tlak ideálního plynu, který zaujímá objem 25 litrů, je 115,0 kPa. Jak se jeho tlak změní po expanzi na objem 30 litrů, zůstane-li teplota nezměněna?**

Řešení:

V počátečním i konečném stavu platí stavová rovnice ideálního plynu (21.1-3):

$$p_1 V_1 = n_1 R T_1 \quad (\text{a})$$

$$p_2 V_2 = n_2 R T_2 \quad (\text{b})$$

V obou případech se pracuje se shodným množstvím plynu. Proto  $n_1 = n_2 = n$ . Zároveň jde o děj izotermický, takže teploty v počátečním i konečném stavu se rovnají ( $T_1 = T_2 = T$ ).

$$p_1 V_1 = n R T \quad (\text{a1})$$

$$p_2 V_2 = n R T \quad (\text{b1})$$

Podělením (a1)/(b1):

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{n R T}{n R T}$$

Pokrácením:

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{n R T}{n R T} \Rightarrow \frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = 1 \Rightarrow p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Ze vzorce vyjádříme tlak po expanzi:

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2}$$

Dosadíme:

$$p_2 = \frac{115,0 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{30 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} \doteq 96 \cdot 10^3 \text{ Pa} = \underline{\underline{96 \text{ kPa}}}$$

Tlak ideálního plynu se po expanzi sníží na 96 kPa.

**4. C1b**

Objem dusíku při 15 °C je 14,5 cm<sup>3</sup>. Jak se tento objem změní, ochladí-li se plyn na -10 °C? Předpokládáme, že tlak zůstává nezměněný.

Řešení:

Plyn se za stanovených podmínek chová jako ideální a platí stavová rovnice ideálního plynu (21.1-3):

$$p_1 V_1 = n_1 R T_1 \quad (\text{a})$$

$$p_2 V_2 = n_2 R T_2 \quad (\text{b})$$

V obou případech se pracuje se shodným množstvím plynu. Proto  $n_1 = n_2 = n$ . Zároveň jde o děj izobarický, takže tlaky se za počátečních i konečných podmínek shodují ( $p_1 = p_2 = p$ ).

$$p V_1 = n R T_1 \quad (\text{a1})$$

$$p V_2 = n R T_2 \quad (\text{b1})$$

Podělením (a1)/(b1) a následným krácením:

$$\frac{p V_1}{p V_2} = \frac{n R T_1}{n R T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Ze vzorce vyjádříme objem dusíku po ochlazení:

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}$$

Číselně:

$$V_2 = \frac{14,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot (273,15 - 10) \text{ K}}{(273,15 + 15) \text{ K}} \doteq 13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = \underline{\underline{13 \text{ cm}^3}}$$

Objem dusíku je po ochlazení na -10 °C roven 13 cm<sup>3</sup>.

**5. C1b**

Pod jakým tlakem je plyn při 25,0 °C, je-li při 0,0 °C totéž látkové množství plynu pod tlakem 0,30 MPa?

Řešení:

Předpokládáme, že platí stavová rovnice ideálního plynu (21.1-3):

$$p_1 V_1 = n_1 R T_1 \quad (\text{a})$$

$$p_2 V_2 = n_2 R T_2 \quad (\text{b})$$

V obou případech se pracuje se shodným množstvím plynu. Proto  $n_1 = n_2 = n$ . Zároveň jde o děj izochorický, takže objemy v počátečním i konečném stavu se rovnají ( $V_1 = V_2 = V$ ).

$$p_1 V = nRT_1 \quad (\text{a1})$$

$$p_2 V = nRT_2 \quad (\text{b1})$$

Podělením (a1)/(b1) a následným krácením:

$$\frac{p_1 V}{p_2 V} = \frac{nRT_1}{nRT_2} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Odtud vyjádříme tlak plynu při 25 °C:

$$p_1 = \frac{p_2 T_1}{T_2}$$

Dosadíme:

$$p_2 = \frac{0,30 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot (273,15 + 25) \text{ K}}{273,15 \text{ K}} \doteq 0,3 \cdot 10^6 \text{ Pa} = \underline{\underline{0,33 \text{ MPa}}}$$

Za daných podmínek je plyn pod tlakem 0,33 MPa.

## 6. C1a

**Jak se sníží tlak ideálního plynu, zvětší-li se za stálé teploty jeho objem čtyřikrát?**

Řešení:

V obou případech platí stavová rovnice ideálního plynu (21.1-3):

$$p_1 V_1 = n_1 RT_1 \quad (\text{a})$$

$$p_2 V_2 = n_2 RT_2 \quad (\text{b})$$

V obou případech se pracuje se shodným množstvím plynu. Proto  $n_1 = n_2 = n$ . Zároveň jde o děj izotermický, takže teploty v počátečním i konečném stavu se rovnají ( $T_1 = T_2 = T$ ).

$$p_1 V_1 = nRT \quad (\text{a1})$$

$$p_2 V_2 = nRT \quad (\text{b1})$$

Podělením (a1) a (b1) dostaneme vztah:

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{nRT}{nRT}$$

Provedeme krácení:

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{nRT}{nRT} \Rightarrow \frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = 1 \Rightarrow p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Ze vzorce vyjádříme tlak plynu po expanzi:

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2}$$

Ze zadání víme, že objem plynu po expanzi je čtyřnásobný oproti objemu plynu před expanzí, proto platí:

$$V_2 = 4V_1$$

Dosadíme do rovnice a provedeme krácení:

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{4 V_1} = \frac{1}{4} p_1$$

Tlak ideálního plynu se za stálé teploty a při čtyřnásobném zvýšení objemu sníží na  $\frac{1}{4}$  původního tlaku.

### 7. C2c

Při 20 °C a tlaku 100,5 kPa je hmotnost 2 dm<sup>3</sup> plynné sloučeniny dusíku s kyslíkem 3,63 g. Jaký je její molekulový vzorec?

Řešení:

Nejdříve zjistíme prostřednictvím stavové rovnice ideálního plynu (21.1-3) za využití vztahu (B3) celkovou molární hmotnost hledané látky. Poté na základě molárních hmotností kyslíku a dusíku odvodíme, o který ze známých oxidů se jedná.

$$pV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow M = \frac{mRT}{pV}$$

Číselně:

$$M = \frac{3,63 \text{ g} \cdot 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{K}^{-1} \cdot 293,15 \text{ K}}{100,5 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} \doteq \underline{\underline{44,016 \text{ g mol}^{-1}}}$$

Pomocí molárních hmotností kyslíku a dusíku určíme molární hmotnosti oxidů, které připadají v úvahu a vybereme, o kterou sloučeninu se jedná:

$$M_N = 14,0067 \text{ g mol}^{-1}$$

$$M_O = 15,9994 \text{ g mol}^{-1}$$

oxid dusíku	molární hmotnost (g mol <sup>-1</sup> )
NO	30,0061
NO <sub>2</sub>	46,0055
N <sub>2</sub> O	44,0128
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60,0122
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	108,0104

Výslednému výpočtu nejlépe odpovídá hodnota molární hmotnosti oxidu dusného: 44,0128 g mol<sup>-1</sup>.

Molekulový vzorec sloučeniny je N<sub>2</sub>O.

### 8. C1c

Plyn zaujímá při teplotě 100 °C a tlaku 95 kPa objem 500 cm<sup>3</sup>. Jak velký je jeho objem při teplotě 0,125 °C a tlaku 101,325 kPa? Předpokládejte, že se plyn chová jako ideální.

Řešení:

V obou případech platí stavová rovnice ideálního plynu (21.1-3):

$$p_1V_1 = n_1RT_1 \quad (\text{a})$$

$$p_2V_2 = n_2RT_2 \quad (\text{b})$$

V obou případech se pracuje se shodným množstvím tohoto plynu. Proto  $n_1 = n_2 = n$ .

$$p_1V_1 = nRT_1 \quad (\text{a1})$$

$$p_2V_2 = nRT_2 \quad (\text{b1})$$

Podělíme (a1)/(a2) a následným pokrácením:

$$\frac{p_1V_1}{p_2V_2} = \frac{nRT_1}{nRT_2} \Rightarrow \frac{p_1V_1}{p_2V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Vyjádříme objem  $V_2$ :

$$V_2 = \frac{p_1V_1T_2}{T_1p_2}$$

Číselně:

$$V_2 = \frac{95000 \text{ Pa} \cdot 500 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot (273,15 + 0,125) \text{ K}}{373,15 \text{ K} \cdot 101325 \text{ Pa}} \doteq 34 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = \underline{\underline{34 \text{ cm}^3}}$$

Plyn zaujímá za uvedených podmínek objem 34 cm<sup>3</sup>.

## 9. C3b

Zjistěte hmotnost 1,5 litru dusíku při standardních podmínkách. Kolik molekul dusíku je obsaženo v tomto objemu?

Řešení:

Nejdříve vypočítáme hmotnost dusíku, tu pak využijeme k výpočtu látkového množství. Z vypočteného látkového množství za pomoci Avogadrovy konstanty zjistíme počet molekul dusíku obsažených v daném objemu.

Budeme vycházet ze stavové rovnice ideálního plynu (21.1-3), kde látkové množství vyjádříme pomocí vztah (B3):

$$pV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow m = \frac{pVM}{RT}$$

$$M_{N_2} = 2 \cdot 14,0067 = 28,0134 \text{ g mol}^{-1}$$

Číselně:

$$m = \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 28,0134 \text{ g mol}^{-1}}{8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot (273,15 + 25) \text{ K}} = \left| \Rightarrow \frac{\text{Pa m}^3 \text{ g}}{\text{J}} = \frac{\text{Pa m}^3 \text{ g}}{\text{Pa m}^3} = \text{g} \right| \doteq \underline{\underline{1,7 \text{ g}}}$$

Počet molekul v tomto množství zjistíme pomocí (B2) a (B3).

Vypočítanou hmotnost dusíku obsaženého v 1,5 dm<sup>3</sup> dosadíme do vztahu (B3):

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

Dosadíme:

$$n = \frac{1,7 \text{ g}}{28,0134 \text{ g mol}^{-1}} \doteq 0,06069 \text{ mol}$$

Počet molekul dusíku zjistíme pomocí vztahu (B2):

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

Číselně:

$$N = 0,06069 \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = \underline{\underline{0,37 \cdot 10^{23} \text{ molekul}}}$$

Hmotnost jednoho litru dusíku je za standardních podmínek 1,7 g. V tomto množství N<sub>2</sub> je obsaženo 0,37 · 10<sup>23</sup> molekul.

**10. C3b**

**Jakou hustotu má vodík při teplotě 0 °C a tlaku  $0,98 \cdot 10^5$  Pa? Molární hmotnost vodíku je přibližně  $2,0 \text{ g mol}^{-1}$ .**

Řešení:

Budeme vycházet ze stavové rovnice ideálního plynu (21.1-3), látkové množství vyjádříme pomocí vztahu (B3):

$$pV = nRT$$

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

Dostaneme:

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

Pro výpočet hustoty využijeme vztah (B6):

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Vyjádříme ze vzorce poměr hmotnosti a objemu  $\left(\frac{m}{V}\right)$ , abychom získali vztah pro výpočet hustoty ( $\rho$ ):

$$\frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \Rightarrow \rho = \frac{pM}{RT}$$

Molární hmotnost vodíku je nutné převést na jednotky  $\text{kg mol}^{-1}$ , protože (tlak uveden v Pa, kde  $\text{Pa} = \text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$ ).

Číselně:

$$\rho = \frac{98\,000 \text{ Pa} \cdot 0,002 \text{ kg mol}^{-1}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 273,15 \text{ K}} \doteq \underline{\underline{0,086 \text{ kg m}^{-3}}}$$

Vodík má při uvedených podmínkách hustotu  $0,086 \text{ kg m}^{-3}$ .

**11. C3b**

**Při  $-19,0$  °C a  $110,2 \text{ kPa}$  je hustota plynu  $2,12 \text{ kg m}^{-3}$ . Jaká bude jeho hustota za standardních podmínek?**

Řešení:

Nejprve obecně vyjádříme vztah pro výpočet hustoty propojením vztahů (21.1-3), (B3) a (B6). Tento vztah je platný pro obojí stanovené podmínky. Abychom získali vztah pro výpočet hustoty za standardních podmínek, oba vztahy (a) a (b) podělíme a konstantní veličiny pokrátíme.



Kombinací vztahů (21.1-3) a (B3):

$$pV = nRT$$

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

Dostáváme:

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

Připojíme vztah pro výpočet hustoty (B6):

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Vyjádříme ze vzorce poměr hmotnosti a objemu  $\left(\frac{m}{V}\right)$ , abychom získali vztah pro výpočet hustoty ( $\rho$ ):

$$\frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \Rightarrow \rho = \frac{pM}{RT}$$

Vztah vynásobíme jmenovatelem (zbavíme se zlomku):

$$\rho RT = pM$$

Tento vztah platí pro obojí podmínky:

$$\rho_1 RT_1 = p_1 M \tag{a}$$

$$\rho_2 RT_2 = p_2 M \tag{b}$$

Podělením (a)/(b) a pokrácením:

$$\frac{\rho_1 RT_1}{\rho_2 RT_2} = \frac{p_1 M}{p_2 M} \Rightarrow \frac{\rho_1 T_1}{\rho_2 T_2} = \frac{p_1}{p_2} \Rightarrow \rho_2 = \frac{\rho_1 T_1 p_2}{p_1 T_2}$$

Číselně:

$$\rho_2 = \frac{2,12 \text{ kg m}^{-3} \cdot (273,15 - 19) \text{ K} \cdot 101325 \text{ Pa}}{110200 \text{ Pa} \cdot (273,15 + 25) \text{ K}} = \underline{\underline{1,66 \text{ kg m}^{-3}}}$$

Za standardních podmínek je hustota plynu rovna  $1,66 \text{ kg m}^{-3}$ .

## 12. C3b

Zemní plyn obsahuje 75 objemových procent methanu, 15 objemových procent ethanu, 7 objemových procent vodíku a 3 objemová procenta oxidu uhličitého.

a) Vyjádřete jeho složení v hmotnostních procentech.

b) Vypočítejte hustotu zemního plynu při 20 °C a tlaku 101,325 kPa.

Řešení:

Za využití stavové rovnice ideálního plynu (21.1-3), kde látkové množství je vyjádřeno vztahem (B3) vypočítáme dílčí hmotnosti jednotlivých plynů. Tyto dílčí hmotnosti sečteme, abychom získali celkovou hmotnost směsi plynů. Pomocí trojčlenky převedeme hmotnost každého z plynů na hmotnostní procenta. Nakonec dosadíme celkovou hmotnost směsi plynů do vztahu (B6) a získáme tak hustotu zemního plynu.

Kombinací vztahů (21.1-3) a (B3):

$$pV = nRT$$

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

Dostaneme:

$$pV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow m = \frac{pVM}{RT}$$

Číselně:

$$m_{CH_4} = \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 0,75 \text{ m}^3 \cdot 16,04 \text{ g mol}^{-1}}{8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 293,15 \text{ K}} \doteq \underline{\underline{500,1 \text{ g}}}, \text{ analogicky dostaneme}$$

$$m_{C_2H_6} \doteq \underline{\underline{187,5 \text{ g}}}$$

$$m_{H_2} \doteq \underline{\underline{5,9 \text{ g}}}$$

$$m_{CO_2} \doteq \underline{\underline{54,9 \text{ g}}}$$

Sečteme hmotnosti jednotlivých plynů směsi:

$$m_{celk} = 500,1 \text{ g} + 187,5 \text{ g} + 5,9 \text{ g} + 54,9 \text{ g} = 748,4 \text{ g}$$

Hmotnost každého z plynů směsi převedeme na hmotnostní procenta:

$$\begin{array}{l} 748,4 \text{ g směsi.} \dots\dots\dots 100 \% \\ 500,1 \text{ g CH}_4 \dots\dots\dots x \% \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 748,4 \text{ g směsi} \dots\dots\dots 100 \% \\ 187,5 \text{ g C}_2\text{H}_6 \dots\dots\dots x \% \end{array}$$

$$x = \frac{500,1 \text{ g} \cdot 100 \%}{748,4 \text{ g}} = 66,82 \%$$

$$x = \frac{187,5 \text{ g} \cdot 100 \%}{748,4 \text{ g}} = 25,05 \%$$

748,4 g směsi.....100 %  
5,9 g H<sub>2</sub>.....x %

$$x = \frac{5,9 \text{ g} \cdot 100 \%}{748,4 \text{ g}} = 0,79 \%$$

748,4 g směsi.....100 %  
54,9 g CO<sub>2</sub>.....x %

$$x = \frac{54,9 \text{ g} \cdot 100 \%}{748,4 \text{ g}} = 7,33 \%$$

Pomocí vztahu (B6) vypočítáme celkovou hmotnost zemního plynu

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,748,4 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \doteq \underline{\underline{0,7 \text{ kg m}^{-3}}}$$

Výsledky jsou shrnuty v tabulce.

	Objemová %	Objem plynu v m <sup>3</sup> pro V <sub>celk</sub> = 1m <sup>3</sup>	Hmotnost plynu v (g)	Hmotnostní %
CH <sub>4</sub>	75	0,75	500,1	66,82
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	15	0,15	187,5	25,05
H <sub>2</sub>	7	0,07	5,878	0,79
CO <sub>2</sub>	3	0,03	54,89	7,33

Zemní plyn má za daných podmínek hustotu 0,7 kg m<sup>-3</sup>.

### 13. C3b

Směs 0,150 g H<sub>2</sub>, 0,700 g N<sub>2</sub> a 0,340 g NH<sub>3</sub> má při teplotě 27 °C celkový tlak 100,0 kPa. Vypočítejte:

- molární zlomky všech plynů ve směsi,
- parciální tlaky,
- parciální objemy plynů,
- celkový objem směsi.

Řešení:

Nejprve si vypočítáme látková množství složek směsi a jejich součtem získáme celkové látkové množství směsi. Tyto hodnoty využijeme k výpočtu molárních zlomků jednotlivých plynů ve směsi. Následně vypočítáme parciální tlaky složek za využití již vypočtených molárních zlomků těchto složek. Nakonec ze stavové rovnice vypočítáme celkový objem směsi plynů a na základě tohoto výpočtu spočítáme parciální objemy složek.

Pomocí dat v periodické tabulce zjistíme molární hmotnosti uvažovaných plynů:

$$M_{\text{H}_2} = 2,0158 \text{ g mol}^{-1} \quad M_{\text{N}_2} = 28,0134 \text{ g mol}^{-1} \quad M_{\text{NH}_3} = 17,0304 \text{ g mol}^{-1}$$

Vypočítáme látková množství jednotlivých složek směsi dle (B3):

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow n_i = \frac{m_i}{M_i}$$

Dosadíme:

$$n_{H_2} = \frac{m_{H_2}}{M_{H_2}} = \frac{0,15 \text{ g}}{2,0158 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \doteq 0,074 \text{ mol}, \text{ analogicky viz tabulka v závěru příkladu}$$

Vypočítáme molární zlomky jednotlivých složek směsi dle (B4):

$$x_i = \frac{n_i}{n_{celk}}, \text{ analogicky viz tabulka v závěru příkladu}$$

Celkové látkové množství směsi je:

$$n_{celk} = n_{H_2} + n_{N_2} + n_{NH_3} = 0,074 \text{ mol} + 0,025 \text{ mol} + 0,02 \text{ mol} = 0,119 \text{ mol}$$

Molární zlomky složek směsi pak jsou:

$$x_{H_2} = \frac{n_{H_2}}{n_{celk}} = \frac{0,074 \text{ mol}}{0,119 \text{ mol}} \doteq \underline{\underline{0,62}}, \text{ analogicky viz tabulka v závěru příkladu}$$

Parciální tlaky plynů ve směsi vypočítáme dle (21.1-4):

$$p_i = p_{celk} x_i$$

Dosadíme:

$$p_{H_2} = p_{celk} \cdot x_{H_2} = 100 \text{ kPa} \cdot 0,62 \doteq \underline{\underline{62 \text{ kPa}}}, \text{ podobně viz tabulka v závěru příkladu}$$

Ze stavové rovnice vypočítáme celkový objem směsi plynů (21.1-3):

$$pV = nRT$$

Vyjádríme odtud objem:

$$V = \frac{nRT}{p} \quad \text{resp.} \quad V_{celk} = \frac{n_{celk} RT}{p}$$

Číselně

$$V_{celk} = \frac{0,119 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 300,15 \text{ K}}{100 \cdot 10^3 \text{ Pa}} \doteq 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = \underline{\underline{3,0 \text{ dm}^3}}$$

Parciální objemy plynů ve směsi vypočítáme pomocí (21.1-6):

$$V_i = V_{celk} x_i$$

Dosadíme:

$$V_{H_2} = V_{celk} \cdot x_{H_2} = 3,0 \text{ dm}^3 \cdot 0,62 \doteq \underline{\underline{1,9 \text{ dm}^3}}, \text{ analogicky viz tabulka v závěru příkladu}$$

Celkový objem směsi plynů je  $3 \text{ dm}^3$ . Ostatní výsledky jsou shrnuty v tabulce.

<b>plyn</b> <b>veličina</b>	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
<b>x<sub>i</sub></b>	0,62	0,21	0,17
<b>p<sub>i</sub> (kPa)</b>	62	21	17
<b>V<sub>i</sub> (dm<sup>3</sup>)</b>	1,9	0,63	0,51

#### 14. C1a

**Vypočítejte, kolikrát rychleji probíhá transfúze vodíku než transfúze chloru.**

Řešení:

Využijeme Grahamův zákon (21.1-8):

$$\frac{\omega_A}{\omega_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} \Rightarrow \frac{\omega_{H_2}}{\omega_{Cl_2}} = \sqrt{\frac{M_{Cl_2}}{M_{H_2}}}$$

$$M_{H_2} = 2,0158 \text{ g mol}^{-1}$$

$$M_{Cl_2} = 70,906 \text{ g mol}^{-1}$$

Dosadíme:

$$\frac{\omega_{H_2}}{\omega_{Cl_2}} = \sqrt{\frac{70,906 \text{ g mol}^{-1}}{2,0158 \text{ g mol}^{-1}}} \doteq 35,18$$

Rychlost transfúze vodíku je 35,18krát větší než rychlost transfúze chloru.

## PŘÍKLADY K SAMOSTATNÉMU ŘEŠENÍ

1. ⌚ 3 min; C1a

Vypočítejte, kolikrát rychleji probíhá transfúze vodíku  $H_2$  než transfúze kyslíku  $O_2$ .

2. ⌚ 4 min; C1a

V přírodě se nacházející uran je směsí dvou nuklidů –  $^{235}U$  (obsah 0,7 %,  $A_r = 235,044$ ) a  $^{238}U$  (obsah 99,3 %,  $A_r = 238,05$ ). Reakcí uranu s fluorem vzniká těkavý  $UF_6$  a transfúzí je možné oddělovat  $^{235}UF_6$  od  $^{238}UF_6$ . Vypočítejte, kolikrát vyšší bude obsah  $^{235}UF_6$  po jedné transfúzi oproti obsahu této látky ve směsi získané fluorací přírodního uranu.

3. ⌚ 3 min; C1b

Tlak atmosféry na Měsíci je přibližně roven  $1,3 \cdot 10^{-8}$  Pa. Je-li teplota na Měsíci 100 K, vypočítejte, jaký objem měsíční atmosféry obsahuje

- $1,0 \cdot 10^{-3}$  molu plynu
- $1,0 \cdot 10^6$  molekul plynu

4. ⌚ 6 min; C1b

Určité množství  $H_2$  zaujímá při tlaku 200 kPa objem  $500 \text{ cm}^3$ . Za předpokladu, že se jeho teplota nezmění, vypočítejte:

- objem tohoto množství  $H_2$  při tlaku 0,101325 MPa
- tlak  $H_2$  při změně objemu na  $125 \text{ cm}^3$

5. ⌚ 3 min; C1b

Na kolik procent klesne objem vodíku po ochlazení z teploty  $25^\circ\text{C}$  na  $-80^\circ\text{C}$ , zůstal-li jeho tlak konstantní?

6. ⌚ 3 min; C1b

Za standardních podmínek má 1,25 g vzduchu (o složení 78 objemových procent  $N_2$ , 21 objemových procent  $O_2$  a 1 objemové procento Ar) objem  $951 \text{ cm}^3$ . Jaký objem bude mít při  $100^\circ\text{C}$  a 101,325 kPa?

7. ⌚ 4 min; C1b

Vodík zaujímá objem  $500 \text{ cm}^3$  při teplotě  $20^\circ\text{C}$  a tlaku 98,0 kPa. Na jakou teplotu je nutné ho ochladit, aby objem při nezměněném tlaku poklesl na  $450 \text{ cm}^3$ ?

8. ⌚ 3 min; C1b

Tlak helia v ocelové lahvi při teplotě  $20^\circ\text{C}$  je 2,5 MPa. Určete tlak plynu v téže lahvi při  $100^\circ\text{C}$ .

9. ⌚ 3 min; C1b

Jak se změní objem ideálního plynu, sníží-li se jeho tlak za stálé teploty 10krát?

10. ⌚ 5 min; C1c

Na jakou teplotu musíme izobaricky ohřát určité množství dusíku, aby jeho objem byl 2krát větší než při původní teplotě 15 °C?

11. ⌚ 6 min; C1c

Při -16 °C a tlaku 98,5 kPa je objem kyslíku 0,125 dm<sup>3</sup>. Vypočítejte jeho objem při teplotě 100 °C a tlaku 101,325 kPa.

12. ⌚ 6 min; C1c

Určité množství plynu zaujímá při teplotě 30 °C a tlaku 109,3 kPa objem 0,270 cm<sup>3</sup>. Na jakou teplotu musíme plyn ochladit, jestliže se objem zmenšil na 0,250 dm<sup>3</sup> a tlaku 101,325 kPa?

13. ⌚ 8 min; C1c

Vypočítejte o kolik procent poklesne tlak 5 dm<sup>3</sup> plynu, jehož teplota je 100 °C a tlak 300 kPa, bude-li po expanzi na 10 dm<sup>3</sup> jeho teplota 27 °C.

14. ⌚ 6 min; C1c

Jakého tlaku bylo potřeba ke stlačení 5,0 dm<sup>3</sup> vodíku na 1/5 původního objemu, pokud v původním stavu byla jeho teplota 10 °C, tlak 0,092 MPa a po stlačení se teplota zvýšila na 25 °C?

15. ⌚ 4 min; C1c

V plynné směsi je parciální tlak helia 200 kPa a parciální tlak argonu 12300 kPa. Vypočítejte složení směsi v objemových procentech.

16. ⌚ 6 min; C2a

Nádoba o objemu 22,4 dm<sup>3</sup> obsahuje 2,00 mol H<sub>2</sub> (g) a 1,00 mol N<sub>2</sub> (g) při teplotě 273,15 K. Vypočítejte jejich parciální tlaky a celkový tlak směsi plynů.

17. ⌚ 4 min; C2b

Množství 4,8 kg argonu je uzavřeno v nádobě o objemu 20 litrů. Vypočítejte, jaký je tlak plynu v MPa při teplotě 20 °C.

18. ⌚ 4 min; C2b

Plyn o hmotnosti 2,582 g zaujímá při tlaku 99,32 kPa a teplotě 22 °C objem 1,5 litru. Vypočítejte jeho molární hmotnost.

19. ⌚ 5 min; C2b

Ocelová láhev o objemu 20 litrů obsahuje 4,5 kg O<sub>2</sub>. Při jaké teplotě (uved'te ve stupních Celsia) dosáhne tlak kyslíku v lahvi maximální přípustné hodnoty 20 MPa? Výpočet proved'te za předpokladu, že kyslík se chová jako ideální plyn.

20. ⌚ 4 min; C2b

Při teplotě 18 °C a tlaku 102,0 kPa je hmotnost 1290 cm<sup>3</sup> plynu 1,53 g. Vypočítejte jeho relativní molekulovou hmotnost.

21. ⌚ 4 min; C2b

V nádobě o objemu 10 dm<sup>3</sup> bylo zahřáto na 150 °C 27 g vody. Vypočítejte tlak vzniklé vodní páry v nádobě.

22. ⌚ 6 min; C2b

Tlak helia v tlakové lahvi o objemu 20 dm<sup>3</sup> je při 20 °C roven 14,7 MPa. Vypočítejte, jaký maximální průměr může mít pružný balón naplněný heliem z uvedené lahve, bude-li tlak helia v balónu při 20 °C roven 133,3 kPa.

23. ⌚ 7 min; C2b

Směs plynů obsahuje 60 obj.% O<sub>2</sub>, 15 obj.% CO<sub>2</sub> a 25 obj.% N<sub>2</sub>. Celkový tlak směsi je 200 kPa. Vypočítejte parciální tlaky plynů ve směsi.

24. ⌚ 7 min; C2c

Kolikrát je větší hmotnost 10 litrů dusíku při teplotě 0 °C a tlaku 101,325 kPa než při 100 °C a tlaku 100 kPa?

25. ⌚ 7 min; C2d

Kolik litrů CO<sub>2</sub> (měřeno při 18 °C a tlaku 106,0 kPa) se uvolní působením 50 cm<sup>3</sup> jedno molárního roztoku H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> na Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, vznikne-li Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>?

26. ⌚ 6 min; C2c

Množství 0,3929 g plynného uhlovodíku zaujímá při standardních podmínkách objem 0,3427 dm<sup>3</sup>. Vypočítejte molární hmotnost uhlovodíku a odhadněte jeho molekulový vzorec.

27. ⌚ 10 min; C3a

V plynné směsi, obsahující stejné hmotnosti CH<sub>4</sub> a CO<sub>2</sub>, je parciální tlak methanu 48,6 kPa. Jaký je molární zlomek a parciální tlak CO<sub>2</sub> v této směsi?

28. ⌚ 8 min; C3b

Vypočítejte hmotnost 10 litrů kyslíku při teplotě 273,15 K a tlaku 101,325 kPa. Určete počet molekul kyslíku v 10 cm<sup>3</sup> tohoto plynu.



29. ⌚ 15 min; C3b

Kolik kg vodíku je v tlakové lahvi o objemu 40 litrů, má-li při 20 °C tlak 15,0 MPa? Kolik kg vzduchu o složení 78 objemových procent N<sub>2</sub>, 21 objemových procent O<sub>2</sub> a 1,0 objemové procento Ar je v téže lahvi za stejných podmínek?

30. ⌚ 6 min; C3b

Jaká je hustota oxidu uhelnatého při teplotě 20 °C a tlaku 98,0 kPa?

31. ⌚ 8 min; C3b

Kolik m<sup>3</sup> kapalného SO<sub>2</sub> ( $\rho = 1,46 \text{ g cm}^{-3}$ ) získáme zkapalněním 500 m<sup>3</sup> plynného SO<sub>2</sub> (měřeno při teplotě 15 °C a tlaku 116,52 kPa)?

32. ⌚ 6 min; C3b

Vypočítejte hustotu oxidu uhličitého při teplotě 20 °C a tlaku 100 kPa.

33. ⌚ 18 min; C3b

Směs plynů obsahuje 8,064 g H<sub>2</sub>, 8,802 g CO<sub>2</sub> a 22,408 g CO. Celkový tlak směsi při 20 °C je 150 kPa. Vypočítejte parciální tlaky a parciální objemy všech plynů ve směsi.

34. ⌚ 12 min; C3b

Směs plynů, která byla použita k simulaci atmosféry na jiné planetě, obsahovala 320 mg CH<sub>4</sub>, 175 mg Ar a 225 mg N<sub>2</sub>. Parciální tlak dusíku při teplotě 300 K byl 15,2 kPa. Vypočítejte:

- látková množství všech plynů
- molární zlomky všech plynů
- parciální tlaky všech plynů
- celkový tlak směsi plynů
- celkový objem směsi plynů

---

## D

1. ⌚ 8 min; D2d

Vodík se laboratorně připravuje reakcí zinku se zředěnou kyselinou sírovou. Vypočítejte objem plynu vzniklého při reakci 40,8 g zinku s H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> při teplotě 30 °C a tlaku  $1,00 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ . Předpokládejte, že se vodík chová jako ideální plyn.

2. ⌚ 8 min; D2d

Kolik litrů vodíku se připraví z 0,91 g hydridu vápenatého při teplotě 27 °C a tlaku 104,0 kPa?

## Výsledky

---

### A

1. kap. 21
  2. kap. 21
  3. kap. 21.1.1; 21.1.3; 21.1.2; 21.1.4; 21.2.1
  4. kap. 21.1.1
  5. kap. 21.1.3
- 

### B

1. CH<sub>3</sub>OH, mezimolekulové interakční síly jsou zde největší – vodíkové můstky
  2. CH<sub>4</sub> - jeho molekuly se více přitahují než je tomu u Ar, proto se CH<sub>4</sub> snadněji převádí do kapalného skupenství (nemusí se tolik ochladit);  $t_k(\text{CH}_4) = -82,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $t_k(\text{Ar}) = -122,28 \text{ }^\circ\text{C}$
  3. b)
  4. H<sub>2</sub>, He, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>
  5. a) Graf č.1  
b) Graf č 2  
c) Graf č. 1
  6.  $T_2$  odpovídá vyšší teplotě než  $T_1$
  7. methan, neboť  $M(\text{CH}_4) < M(\text{CO}_2)$
- 

### C

1. 3,98krát
2. 1,004krát
3. a)  $V = 6,4 \cdot 10^{10} \text{ dm}^3$   
b)  $V = 0,11 \text{ cm}^3$
4. a)  $V = 987 \text{ cm}^3$   
b)  $p = 800 \text{ kPa}$
5. 65 %
6.  $V = 1,2 \text{ dm}^3$
7.  $t = -9,3 \text{ }^\circ\text{C}$
8.  $p = 3,2 \text{ MPa}$
9. zvětší se 10krát
10.  $t = 300 \text{ }^\circ\text{C}$
11.  $V = 0,18 \text{ dm}^3 \text{ O}_2$
12.  $t = -12,9 \text{ }^\circ\text{C}$
13. pokles o 60 %
14.  $p = 0,48 \text{ MPa}$
15. 1,60 obj.% He, 98,4 obj.% Ar
16.  $p(\text{H}_2) = 203 \text{ kPa}$ ;  $p(\text{N}_2) = 101 \text{ kPa}$  ;  $p = 304 \text{ kPa}$
17.  $p = 15 \text{ MPa}$
18.  $M = 43 \text{ g mol}^{-1}$
19.  $t = 69,0 \text{ }^\circ\text{C}$
20.  $M_r = 28,0$
21.  $p = 530,0 \text{ kPa}$

22.  $V = 1,6 \text{ m}$   
 23.  $p(\text{O}_2) = 120 \text{ kPa}$ ;  $p(\text{CO}_2) = 30 \text{ kPa}$ ;  $p(\text{N}_2) = 50 \text{ kPa}$   
 24. 1,4krát  
 25.  $V = 1,142 \text{ dm}^3 \text{ CO}_2$   
 26.  $M = 28,05 \text{ g mol}^{-1}$ ;  $\text{C}_2\text{H}_4$   
 27.  $x(\text{CO}_2) = 0,267$ ;  $p(\text{CO}_2) = 17,7 \text{ kPa}$   
 28.  $m = 1,4 \text{ g}$ ;  $N = 2,7 \cdot 10^{23}$   
 29.  $m = 0,049 \text{ kg H}_2$ ;  $m = 7,1 \text{ kg vzduchu}$   
 30.  $\rho = 1,1 \text{ g dm}^{-3}$   
 31.  $V = 1,1 \text{ m}^3 \text{ SO}_2 (\text{l})$   
 32.  $\rho = 1,8 \text{ kg m}^{-3}$   
 33.

plyn veličina	$\text{H}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{CO}$
$p_i (\text{kPa})$	120	6	24
$V_i (\text{dm}^3)$	65	3,2	13

- d)  $p = 61,4 \text{ kPa}$   
 e)  $V = 1,32 \text{ dm}^3$

34.

plyn veličina	$\text{CH}_4$	$\text{Ar}$	$\text{N}_2$
a) $n_i (\text{mol})$	0,01995	0,00443	0,00803
b) $x_i$	0,6156	0,1367	0,2478
c) $p_i (\text{kPa})$	37,8	8,38	15,2

**D**

- $V = 16,0 \text{ dm}^3 \text{ H}_2$
- $V = 1,04 \text{ litrů}$


## 21.2 Kapaliny

---

### A

1. Popište jevy:
    - difúze
    - osmóza
    - povrchové napětí
    - viskozita
  2. Formulujte fyzikální definici teploty varu a fyzikálně chemickou definici teploty varu.
  3. Popište postup zkapalňování reálných plynů.
- 

### B

1.  2 min  
Posud'te, které z následujících výroků jsou správné a které jsou nesprávné. Pokud s tvrzeními nesouhlasíte, pak své rozhodnutí odůvodněte.
  - a) Kapaliny jsou zcela nestlačitelné.
  - b) Voda ponechaná v otevřené nádobě na vzduchu při teplotě 20 °C se po určité době odpaří.
  - c) Molární objem H<sub>2</sub>O je při 80 °C a 90 °C za standardního tlaku stejný.
  - d) Teplota varu vody je vždy 100 °C.
  - e) Tvar kapaliny se přizpůsobuje tvaru nádoby.

## Výsledky

---

### A

1. kap. 28; 28; 21.2.2; 21.2.3
  2. 21.2.1
  3. kap. 21.1.4
- 

### B

1. Správné: b), e)  
Nesprávné:
  - a) Reálná kapalina má na rozdíl od ideální kapaliny vnitřní tření a dá se mírně stlačit.
  - c) Molární objem závisí také na teplotě, závislost vychází ze stavové rovnice ideálního plynu, pak  $V_m$  (při 80 °C)  $\doteq 29 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$  a  $V_m$  (při 90 °C)  $\doteq 30 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ .
  - d) Teplota varu závisí na velikosti tlaku. Teplota varu vody je 100 °C pouze při standardním tlaku.

---

## 21.4 Fázové rovnováhy

---

### A

1. Vyjmenujte a vysvětlete skupenské přeměny.
2. Vysvětlete následující pojmy:
  - fázová rovnováha
  - fázový přechod
  - fázové přechody 1. druhu
  - fázové přechody 2. druhu bod tání
  - bod tuhnutí
  - trojný bod
  - fázový diagram
3. Formulujte Gibbsův fázový zákon (včetně symbolů).
4. Vysvětlete jak se určuje počet nezávislých složek soustavy.
5. Vysvětlete pojem „počet stupňů volnosti soustavy“
6. Doplňte tabulku:

Počet stupňů volnosti soustavy	Název soustavy
0	.....variantní
1	
2	
3	

**B**

1.  1 min

Vyberte jedno správné tvrzení:

Bod varu kapaliny je teplota, při které se tlak nasycených par kapaliny rovná

- a) standardnímu tlaku
- b) atmosférickému tlaku plynů
- c) tlaku nad kapalinou
- d) kritickému tlaku, zmenšenému o hodnotu standardního tlaku

2.  1 min

Vyberte jedno správné tvrzení:

Chlorid uhličitý má při teplotě 50 °C větší tenzi nasycených par než voda, protože:

- a) vazby v molekule H<sub>2</sub>O jsou polární a mezi jejími molekulami se vytvářejí vodíkové můstky
- b) CCl<sub>4</sub> je organická sloučenina
- c) voda má větší viskozitu
- d) CCl<sub>4</sub> má větší molekulovou hmotnost než voda

3.  1 min

V trojném bodu vody jsou v rovnováze:

- a) kapalná voda, led a vzduch nasycený vodní parou za standardního tlaku
- b) kapalná voda, led a vzduch nasycený vodní parou za teploty 0 °C
- c) kapalná voda, led a suchý vzduch za standardního tlaku
- d) kapalná voda, led a vodní pára

4.  2 min

Mezimolekulární přitažlivé síly jsou větší v kapalném methanu než v kapalném argonu. Která z obou látek má vyšší hodnotu kritické teploty?

5.  3 min

Určité množství ledu o teplotě -10 °C bylo v uzavřené nádobě rovnoměrně zahříváno tak dlouho, až teplota vzniklé vodní páry dosáhla 110 °C. Schematicky nakreslete závislost teploty H<sub>2</sub>O na celkové době zahřívání a udejte, co představují jednotlivé části křivky.

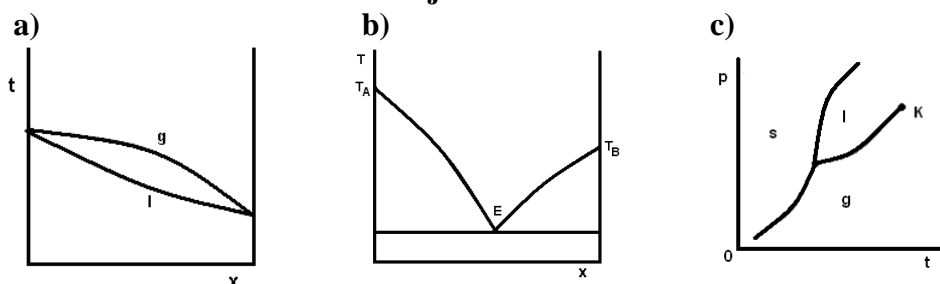
## 6. ⌚ 6 min

Určete počet nezávislých složek v následujících soustavách:

- voda-led
- ocet (8% vodný roztok octové kyseliny)
- HCl-NH<sub>3</sub>-NH<sub>4</sub>Cl (v poměru 1:1:1)
- H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub>-NH<sub>4</sub>OH (v poměru 10:1:1)
- Na<sub>2</sub>O -SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O
- H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub>-NH<sub>4</sub>OH (v poměru 1:1:1)
- měď-cín
- voda-ethanol
- H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O (v poměru 3:1:4)
- H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O (v poměru 2:1:2)

## 7. ⌚ 1 min

Na obrázcích jsou nakresleny fázové diagramy. U každého obrázku určete o kolikasložkovou soustavu se jedná.



## 8. ⌚ 3 min

Nakreslete fázový diagram vody, pojmenujte jednotlivé části diagramu, vyznačte oblasti existence jednotlivých fází, kritický a trojný bod. Vysvětlete, čím se fázový diagram vody liší od fázových diagramů jiných látek.

## 9. ⌚ 2 min

Posud'te, které z následujících výroků jsou správné a které jsou nesprávné. Pokud s tvrzeními nesouhlasíte, pak své rozhodnutí odůvodněte

- Molární objem H<sub>2</sub>O (l) při 100 °C a tlaku 101,325 kPa je menší než molární objem H<sub>2</sub>O (g) při stejných podmínkách.
- Ochlazujeme-li čistou kapalnou látku, dojde při určité teplotě k utužení kapaliny. Teplota směsi kapalina - tuhá látka zůstává při nepřerušovaném chlazení směsi po určitou dobu konstantní.
- Jednotlivé křivky ve fázovém diagramu udávají podmínky, za kterých jsou dvě fáze určité látky v rovnováze.
- H<sub>2</sub>O (s), H<sub>2</sub>O (l) a H<sub>2</sub>O (g) jsou v rovnováze pouze při teplotě 0,01 °C a tlaku 101,325 kPa.
- Nachází-li se soustava tuhá látka-kapalina v rovnováze, způsobí dodání tepla této soustavě úbytek množství tuhé látky.

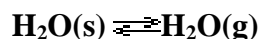
## 10. ⌚ 1 min

Jaký musí být tlak, aby se při teplotě 100 °C nacházela v rovnováze kapalná voda a vodní pára? Která fáze zůstane v soustavě, jestliže se sníží tlak v soustavě při nezměněné teplotě? K řešení příkladu využijte znalost Le Chatelierova-Braunova principu.

## 11. ⌚ 2 min

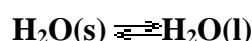
Při řešení tohoto příkladu aplikujte Le Chatelierův- Braunův princip

a) při teplotě -3 °C se ustavila rovnováha



Jaký důsledek na ustanovenou rovnováhu bude mít snížení tlaku v soustavě při nezměněné teplotě?

b) Jaký důsledek na rovnováhu



ustanovenou při teplotě 0 °C a tlaku 101,325 kPa, bude mít zvýšení tlaku v soustavě nad hodnotu 101,325 kPa při nezměněné teplotě? Při uvedených podmínkách je hustota ledu menší než hustota kapalně vody.

## C

**Potřebné vztahy:****Gibbsův fázový zákon**

$$v + f = s + 2, \quad (21.4-1)$$

kde

$v$  ..... počet stupňů volnosti = počet intenzivních stavových veličin, které můžeme nezávisle na sobě měnit, aniž by se tím změnil počet fází v soustavě

$s$  ..... počet složek = minimální počet čistých látek, jimiž lze danou soustavu realizovat

$f$  ..... počet fází v soustavě (fáze je část soustavy, která má v celém svém objemu stejné vlastnosti chemické i fyzikální).

**Le Chatelierův-Braunův princip (princip akce a reakce) (21.4-2)**

Porušení rovnováhy vnějším zásahem (akcí) vyvolá děj reakci směřující ke zrušení účinku tohoto vnějšího zásahu.



**Řešené příklady****1. C1d**

Určete, kolik mají dané soustavy nezávislých složek, fází a stupňů volnosti:

- tavenina čistého železa
- roztok NaOH ve vodě
- kapalná voda v rovnováze s ledem

Řešení:

Nejprve si u každé soustavy určíme počet fází a počet nezávislých složek. Pak na základě těchto hodnot vypočítáme počet stupňů volnosti podle Gibbsova fázového zákona (21.4-1):

- a) Počet fází:

$$f = 1 \text{ (pouze kapalná fáze – tavenina)}$$

Počet nezávislých složek:

$$s = 1 \text{ pouze čistá látka – železo}$$

Počet stupňů volnosti vypočítáme pomocí Gibbsova fázového zákona (21.4-1):

$$v + f = s + 2 \quad \Rightarrow \quad v = s + 2 - f$$

Číselně:

$$v = 1 + 2 - 1 = \underline{\underline{2}} \text{ (bivariantní soustava)}$$

Tavenina čistého železa je soustava bivariantní ( $v = 2$ ), obsahuje 1 fázi a 1 složku.

- b) Stanovíme počet fází v soustavě:

$$f = 2 \text{ (kapalná fáze – roztok má ve všech svých částech stejné vlastnosti)}$$

Určíme počet složek:

$$s = 2 \text{ (NaOH a H}_2\text{O spolu nereagují)}$$

Pomocí Gibbsova fázového zákona (21.4-1) vypočítáme počet stupňů volnosti:

$$v + f = s + 2 \quad \Rightarrow \quad v = s + 2 - f$$

Dosadíme:

$$v = 2 + 2 - 1 = \underline{\underline{3}}$$

Soustava NaOH a H<sub>2</sub>O je trivariantní ( $v = 3$ ), má 1 fázi a 2 složky.

c) Stanovíme počet fází v soustavě:

$f = 2$ , protože v soustavě je pevná fáze (led) a kapalná fáze (kapalná voda)

Určíme počet složek:

$s = 1$ , (H<sub>2</sub>O)

Pomocí Gibbsova fázového zákona (21.4-1) vypočítáme počet stupňů volnosti:

$$v + f = s + 2 \quad \Rightarrow \quad v = s + 2 - f$$

Dosadíme:

$$v = 1 + 2 - 2 = \underline{1}$$

Soustava kapalně vody a ledu v rovnováze je univariantní ( $v = 1$ ) a má 2 fáze a 1 složku.

## 2. C1d

Určete počet fází, složek a stupňů volnosti v rovnovážné soustavě, která je tvořena uhličitánem vápenatým a produkty jeho termického rozkladu). V poměru 1 : 1 : 1. Termický rozklad CaCO<sub>3</sub> probíhá podle rovnice:



Řešení:

Budeme vycházet z rovnice termického rozkladu CaCO<sub>3</sub>. Zde je rozhodující poměr stechiometrických koeficientů látek ve srovnání s poměrem látkových množství látek v soustavě. Nejprve si stanovíme počet složek a počet fází v soustavě a poté vypočítáme pomocí Gibbsova fázového zákona počet stupňů volnosti.

Stanovíme počet fází v soustavě:

$f = 3$  (2 pevné fáze a jedna plynná)

Určíme počet složek:

$s = 1$  (oxid vápenatý a oxid uhličitý v poměru 1:1, lze připravit z uhličitánu vápenatého)

Z Gibbsova fázového zákona (21.4-1):

$$v + f = s + 2 \quad \Rightarrow \quad v = s + 2 - f$$

Dosadíme:

$$v = 1 + 2 - 3 = \underline{0}$$

Soustava obsahuje 3 fáze a 1 složku a je invariantní ( $v = 0$ ).

**3. C1d**

**Vypočítejte, kolik stupňů volnosti má soustava, která vznikla smícháním CaO, CO<sub>2</sub> (g) a CaCO<sub>3</sub> v poměru (2:1:4).**

Řešení:

Budeme vycházet z rovnice termického rozkladu CaCO<sub>3</sub>. Nejprve si stanovíme počet složek (s ohledem na poměr látek v soustavě) a počet fází v soustavě. Poté vypočítáme pomocí Gibbsova fázového zákona (21.4-1) kolik má daná soustava stupňů volnosti.



Stanovíme počet fází v soustavě:

$f = 2$ , protože v soustavě jsou 2 pevné fáze a jedna plynná

Určíme počet složek:

$s = 2$ , (oxid vápenatý a oxid uhličitý v poměru 2:1, nelze připravit pouze z uhličitanu vápenatého)

Z Gibbsova fázového zákona (21.4-1) si vyjádříme vztah pro výpočet počtu stupňů volnosti:

$$v + f = s + 2 \quad \Rightarrow \quad v = s + 2 - f$$

Dosadíme:

$$v = 2 + 2 - 2 = \underline{\underline{2}}$$

Soustava má 2 stupně volnosti (bivariantní).

**PŘÍKLADY K SAMOSTATNÉMU ŘEŠENÍ**

1. ⌚ 3 min; C1a

Kolik složek a kolik stupňů volnosti má soustava  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} (\text{s}) - \text{Na}_2\text{SO}_4 (\text{s})$  – nasycený vodný roztok  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ?

2. ⌚ 4 min; C1a

Určete počet fází, nezávislých složek a stupňů volnosti v rovnovážné soustavě tvořené  $\text{NH}_4\text{Cl}$  a produkty jeho termického rozkladu. Látky jsou v poměru 1 : 1 : 1.

3. ⌚ 2 min; C1a

Kolik stupňů volnosti má soustava, v níž je voda v rovnováze s ledem a vodní parou? Jak se tento stav soustavy nazývá?

4. ⌚ 6 min; C1a

Rozhodněte, která z následujících soustav je univariantní:

- roztok  $\text{NaCl}$  ve vodě
- ethylalkohol v rovnováze se svou nasycenou parou
- led v rovnováze s vodní parou

5. ⌚ 6 min; C1a

Určete, která z následujících soustav je bivariantní:

- tavenina čistého olova
- roztok octové kyseliny ve vodě
- led v rovnováze s kapalnou vodou

6. ⌚ 8 min; C3a

Jaký objem zaujímá 1 mol vody při těchto podmínkách:

- led,  $0,0\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 0,9168\text{ g cm}^{-3}$
- kapalná voda,  $0,0\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 0,9999\text{ g cm}^{-3}$
- kapalná voda,  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 0,9584\text{ g cm}^{-3}$
- vodní pára,  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p = 101,325\text{ kPa}$

**D**

1. ⌚ 3 min; D1c

Hustota tuhého a kapalného benzenu při teplotě tání ( $5,5\text{ }^\circ\text{C}$ ) benzenu je  $1,014\text{ g cm}^{-3}$  a  $0,895\text{ g cm}^{-3}$ . Byl by možné bruslit na tuhém benzenu? Odpověď zdůvodněte.

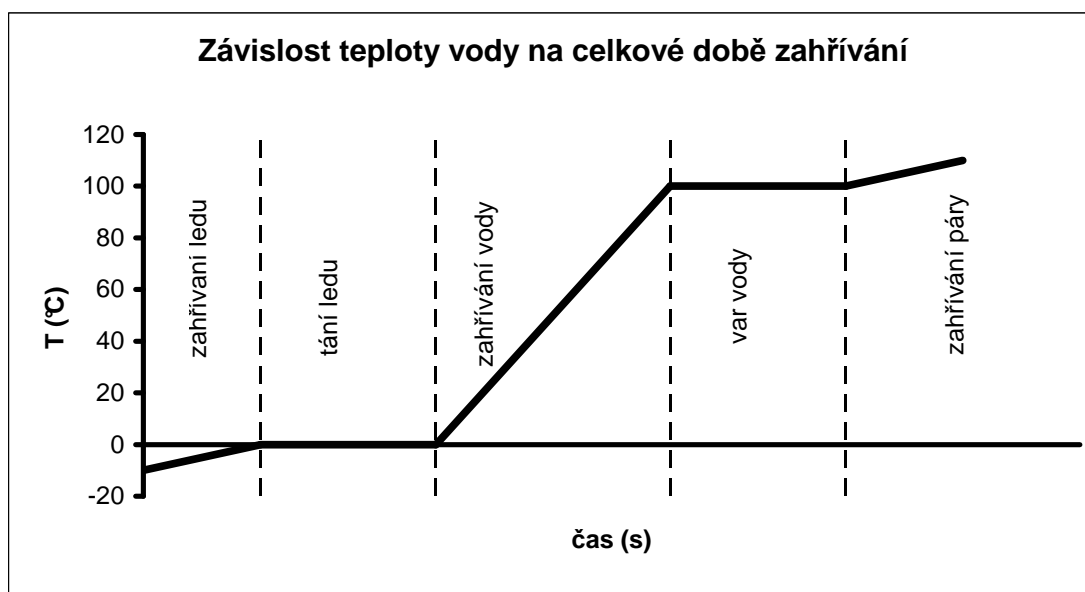
## Výsledky

### A

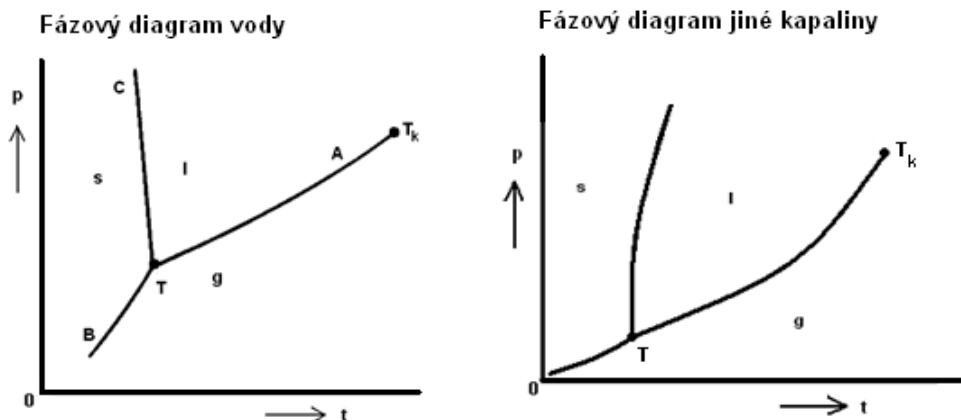
1. kap. 21.4
2. kap. 21.4; 21.4; 21.4; 21.4; 21.4.2; 21.4.2; 21.4.3; 21.4.5
3. kap. 21.4.4
4. kap. 21.4.4
5. kap. 21.4.4
6. kap. 21.4.4

### B

1. c)
2. a)
3. d)
4.  $\text{CH}_4$  - jeho molekuly se více silově ovlivňují než je tomu u Ar;  $t_k(\text{CH}_4) = -82,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $t_k(\text{Ar}) = -122,28 \text{ }^\circ\text{C}$
- 5.



6. a) 1; b) 2; c) 1; d) 2; e) 3; f) 1; g) 2; h) 2; i) 2; j) 1
7. a) dvousložková; b) dvousložková; c) jednosložková
8. 21.4.5; Hustota vody od  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  zvětšuje a teprve poté se zmenšuje. Teprve od teploty  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  (přesněji  $3,98 \text{ }^\circ\text{C}$ ) se voda chová jako ostatní kapaliny, tzn. s rostoucí teplotou roste její objem. Tato odlišnost vody od ostatních kapalin se také projevuje v jejím fázovém diagramu, a to odklonem křivky C doleva, u ostatních kapalin, je křivka C vždy nakloněna doprava.



9. Správné: a), b), c), d)

Nesprávné: f) – tlak vody trojného bodu není roven standardnímu tlaku

10.  $p = 101,325 \text{ kPa}$

11. a) další sublimace ledu; b) tání ledu

### C

- $f = 3; s = 2; v = 1$
- $f = 2; s = 1; v = 1$
- a); pro b) je  $v = 3$ ; pro c) je  $v = 1$
- 0 – trojný bod
- b), c); pro a) je  $v = 3$
- a)  $20 \text{ cm}^3$ , b)  $18 \text{ cm}^3$ ; c)  $19 \text{ cm}^3$ ; d)  $31000 \text{ cm}^3$

### D

1. Na tuhém benzenu bruslit nelze.

Po ledu se dá bruslit, protože zvýšením tlaku na led se stěsnávají molekuly ve struktuře ledu a tím se led mění na kapalnou vodu (ta má za stálých podmínek větší hustotu). Bruslení je založeno na klouzání brusle v takto vzniklé vodě. U jiných látek to možné není, protože vztah hustot pevné a kapalně fáze mají opačný. Na tuhém benzenu bruslit nelze, protože zvýšením tlaku neroztaje.

Přehled schematického uspořádání molekul látek ve skupenství (s) a (l)

Voda	
pevné (led)	kapalné
$\rho = 0,9168 \text{ g cm}^{-3}$	$\rho = 0,9999 \text{ g cm}^{-3}$
(s)	(l)
→	

Benzen	
pevné	kapalné
$\rho = 1,014 \text{ g cm}^{-3}$	$\rho = 0,895 \text{ g cm}^{-3}$
(s)	(l)
✗	

## 22 Krystalová struktura

---

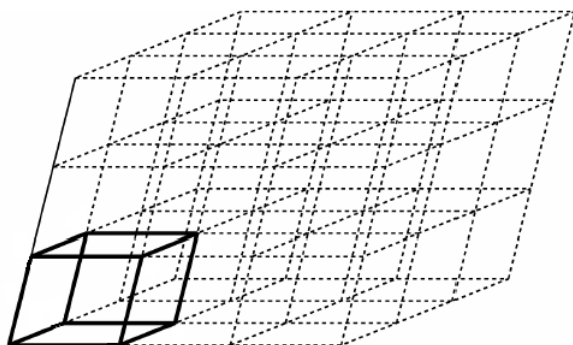
### A

1. Vysvětlete následující pojmy:
  - krystalická látka
  - amorfni látka
  - teplota skelného přechodu
  - tekuté krystaly
  - krystal
  - krystalografie
  - polymorfie
  - alotropie
  - izomorfie
  - směsné krystaly
  - krystalová mřížka
  - Bravaisova elementární buňka
  - mezirovinná vzdálenost
  - klathráty
  - koordinační číslo iontů v krystalu
2. Vyjmenujte a popiř jednotlivé zástupce:
  - typy krystalů
  - druhy krystalové vody
  - typy elementárních buněk
3. Jaké druhy krystalů (z hlediska částic obsazujících klíčové body elementární buňky) znáte?
4. Vyjmenujte krystalové soustavy a ke každé z nich uveďte alespoň jeden příklad krystalizující látky.

## B

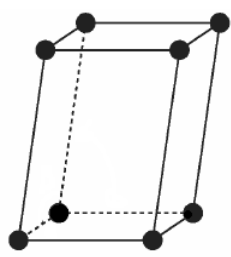
1. ⌚ 1 min

Obrázek znázorňuje krystalovou mřížku. Pojmenujte část mřížky vyznačenou v obrázku tučně.

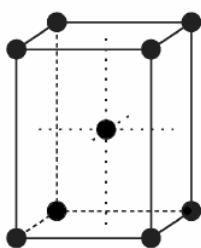


2. ⌚ 2 min

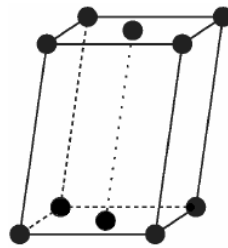
Na obrázcích jsou znázorněny různé typy elementárních buněk. Ke každému obrázku doplňte, o jaký typ elementární buňky se jedná (jednoduchá, tělesně centrovaná, plošně centrovaná, bazálně centrovaná).



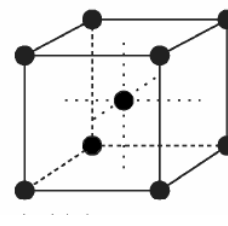
a)



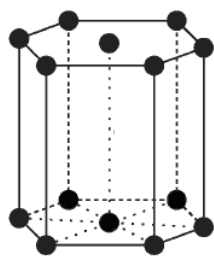
b)



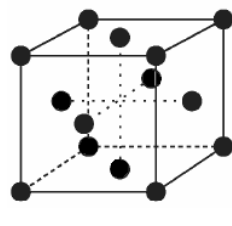
c)



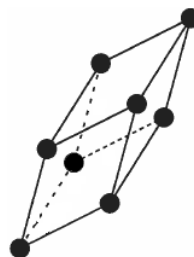
d)



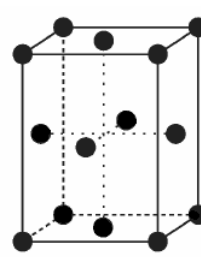
e)



f)



g)



h)

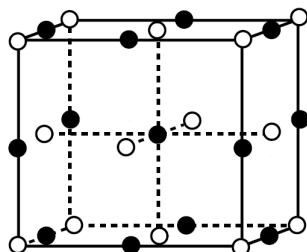


3. ⌚ 2 min.

Dle obrázku elementární buňky NaCl viz níže zjistěte:

- koordinační čísla  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  v NaCl,
- odvod'te, jaká mřížka by vznikla, kdyby z mřížky NaCl byly odstraněny všechny kationty  $\text{Na}^+$ .

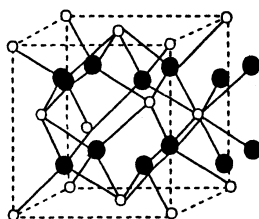
Kationty jsou na obrázku označeny symbolem ● a anionty ○.



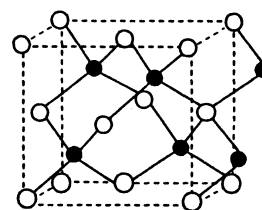
4. ⌚ 1 min

Zjistěte koordinační číslo kationtu (●) a aniontu (○) v látkách, jejichž krystalové struktury jsou na následujících obrázcích

a)



b)



5. ⌚ 1 min.

Zdůvodněte rozdílnost fyzikálních vlastností grafitu a diamantu.

6. ⌚ 2 min.

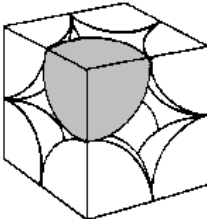
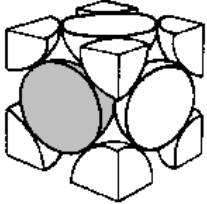
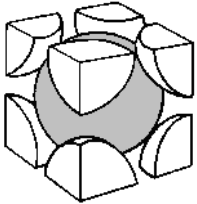
Rozhodněte, zda je za uvedených podmínek možný vznik směsných krystalů. Svoje odpovědi zdůvodněte.

- Jedna látka krystaluje v krychlové soustavě a druhá v šesterečné. Obě látky mají podobný objem částic vázaných stejným typem chemických vazeb.
- Obě látky krystalují v krychlové soustavě, mají podobný objem částic a jedna látka tvoří molekulové krystaly zatím co druhá atomové.
- Obě látky krystalují v kosočtverečné soustavě a tvoří atomové krystaly, částice jedné látky jsou třikrát menší než částice látky druhé.
- Obě látky krystalují v jednoklonné soustavě, mají přibližně stejný objem částic, obě tvoří iontové krystaly.

## C

**Potřebné vztahy****Počet atomů v elementární buňce**

Při určování počtu atomů, které náležejí 1 elementární buňce se bude vycházet z dílčích poznatků uvedených v následující tabulce.

Umístění částice	Obrázek (řešená částice označena šedě)	Část šedě vyznačeného atomu náležejícího dané elementární buňce	
ve vrcholu buňky		$\frac{1}{8}$	(22-1)
ve středu stěny buňky		$\frac{1}{2}$	(22-2)
střed buňky		1	(22-3)

**Objem 1 mol krystalické látky = molární objem**

Vztah vychází z definice hustoty

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{V_m} \Rightarrow V_m = \frac{M}{\rho}, \quad (22-4)$$

kde

$V_m$ ..... molární objem (krystalické) látky (např.  $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$ )

$M$ ..... molární hmotnost látky ( $\text{g mol}^{-1}$ )

$\rho$ ..... hustota látky, jednotky musí být v souladu s jednotkami  $V_m, M$  (např.  $\text{g cm}^3$ )

### **Braggova rovnice**

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (22-5)$$

kde

$d$ ..... mřížková konstanta, tj. vzdálenost krystalových rovin (m)

$\theta$ ..... úhel, který svírají dopadající paprsky s krystalovou plochou, na níž dopadají (°)

$\lambda$ ..... vlnová délka rentgenového záření (m)

$n$ ..... řád maxima

### **Výpočet objemu elementární buňky** (22-6)

Objem buňky vypočteme jako objem rovnoběžnostěnu z velikosti jeho hran a úhlů, které hrany svírají. V soustavách s úhly 90° jde o výpočet objemu krychle či kvádrů. V ostatních soustavách vypočítáme nejprve plochu základny a tu vynásobíme výškou rovnoběžnostěnu.

---

**Řešené příklady****1. C3a**

Určete, kolik atomů obsahuje jedna elementární buňka prvku netvořícího polyatomické molekuly v případě, že tato buňka je

- |                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| a) jednoduchá krychlová,            | d) jednoduchá trojklonná,            |
| b) krychlová tělesně centrovaná,    | e) jednoduchá klencová,              |
| c) jednodklonná bazálně centrovaná, | f) kosočtverečná tělesně centrovaná? |

Poznámka: atomy leží ve všech případech pouze na uzlových bodech mřížky

Řešení:

a) jednoduchá krychlová dle (22-1) obsahuje

- 8 částic ve vrcholech buňky

$$8 \cdot \frac{1}{8} = \underline{1}$$

b) krychlová tělesně centrovaná dle (22-1) a (22-3) obsahuje

- 8 částic ve vrcholech buňky
- 1 částice ve středu buňky

$$8 \cdot \frac{1}{8} + 1 = \underline{2}$$

c) jednodklonná bazálně centrovaná dle (22-1) a (22-2) obsahuje

- 8 částic ve vrcholech buňky
- 2 částice ve středech stěn buňky

$$8 \cdot \frac{1}{8} + 2 \cdot \frac{1}{2} = \underline{2}$$

d) kosočtverečná tělesně centrovaná dle (22-1) a (22-2) obsahuje

- 8 částic ve vrcholech buňky
- 6 částic ve všech středech stěn buňky

$$8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = \underline{4}$$

e) jednoduchá trojklonná dle (22-1), analogicky jako v a)

$$8 \cdot \frac{1}{8} = \underline{1}$$

f) jednoduchá klencová dle (22-1), analogicky jako v a)

$$8 \cdot \frac{1}{8} = \underline{1}$$

Elementární buňka obsahuje za a) 1 atom; b) 2 atomy; c) 2 atom; d) 4 atomy; e) 1 atom; f) 1 atomy tohoto prvku.

## 2. C2c

Železo krystaluje v krychlové soustavě s délkou hrany elementární buňky  $a = 0,286 \text{ nm}$  a hustotou  $7,86 \text{ g cm}^{-3}$ . Určete typ jeho elementární buňky.

Řešení:

Abychom zjistili typ elementární buňky železa, potřebujeme zjistit, kolik atomů elementární buňka železa obsahuje. Nejprve vypočítáme molární objem železa, pak objem elementární buňky Fe a nakonec tyto vypočtené hodnoty dosadíme do trojčlenky. Pomocí trojčlenky vypočítáme počet atomů obsažený v elementární buňce železa a stanovíme tak typ elementární buňky.

$$M_{Fe} = 55,847 \text{ g mol}^{-1}$$

Pro vypočet molárního objemu lithia využijeme vztah (B6):

$$\rho = \frac{M}{V_m} \Rightarrow V_m = \frac{M}{\rho}$$

Číselně:

$$V_m = \frac{55,847 \text{ g mol}^{-1}}{7,86 \text{ g cm}^{-3}} \doteq \underline{\underline{7,105 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}}}$$

Vypočítáme objem elementární buňky za pomoci vztahu (B7):

$$V_{krychle} = a^3 ,$$

Dosadíme:

$$V_{krychle} = (0,286 \cdot 10^{-7})^3 = 2,339 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3$$

Za využití trojčlenky vypočítáme počet atomů CsCl, abychom zjistili jaký typ elementární buňky CsCl vytváří.

1 mol element. buňky $7,105 \text{ cm}^3$ .....	$6,023 \cdot 10^{23}$ atomů Li
$2,339 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3$ .....	x atomů Li

---

$$x = \frac{2,339 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1} \cdot 6,023 \cdot 10^{23}}{7,105 \text{ cm}^3} \doteq \underline{\underline{2,0 \text{ atomy Fe}}}$$

Elementární buňka železa obsahuje 2 atomy, jedná se tedy o krychlovou tělesně centrovanou buňku – viz řešený příklad 1. b).

**3. C1b**

Na vzájemně rovnoběžné roviny krystalu, vzdálené od sebe 0,2 nm, dopadá svazek monochromatického rentgenového záření o vlnové délce 0,14 nm pod úhlem

a) 17,3 °    b) 20,5 °    c) 44,5 °    d) 55,3 °

Při kterém z těchto úhlu dopadu dojde k difrakci rentgenového záření?

Řešení:

Úhel dopadu vypočítáme pomocí Braggovy rovnice (22-5):

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

Vyjádříme sinus úhlu dopadu rentgenového záření:

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{2d}$$

Dosadíme:

$$\sin \theta = \frac{0,14 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-9} \text{ m}} \doteq 0,35 \cdot 10^{-9} \text{ m} \Rightarrow \theta \doteq \underline{\underline{20,5^\circ}}$$

Úhel dopadu rentgenového záření, při kterém dochází k difrakci rentgenového záření, je 20,5°.

## PŘÍKLADY K SAMOSTATNÉMU ŘEŠENÍ

## 1. ⌚ 3 min; C1b

Difrakce rentgenového záření o vlnové délce 0,229 nm na krystalu barya nastává při úhlu dopadu  $\theta = 27^{\circ}8'$ . Vypočítejte mezirovinnou vzdálenost difraktujících krystalových rovin.

## 2. ⌚ 3 min; C1b

Vypočítejte vzdálenost krystalových rovin v krystalu, na kterých dojde k difrakci vlivem rentgenového záření o vlnové délce 0,071 nm, dopadá-li záření na tyto roviny pod úhlem  $26,42^{\circ}$ .

## 3. ⌚ 6 min; C1b

K difrakci rentgenového záření o vlnové délce 0,1936 nm na krystalu  $\alpha$ -křemene dochází, dopadá-li toto záření na rovinný povrch krystalu pod úhlem  $44,75^{\circ}$ .

Vypočítejte:

- vzdálenost rovin v krystalu  $\alpha$ -křemene difraktujícího záření,
- vlnovou délku záření, je-li Braggův úhel pro difrakci tohoto záření na stejném systému rovin  $\alpha$ -křemene  $44,86^{\circ}$ .

## 4. ⌚ 7 min; C2c

Lithium krystaluje v krychlové soustavě s mřížkovým parametrem 0,3509 nm a má hustotu  $0,534 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Určete typ elementární buňky lithia.

## 5. ⌚ 7 min; C2c

Titan krystaluje při teplotě nižší než  $885^{\circ}\text{C}$  v šesterečné soustavě, nad touto teplotou přechází v krychlovou modifikaci. Délka hrany elementární tělesně centrované buňky krychlové modifikace je 0,32 nm. Vypočítejte hustotu krychlové modifikace titanu.

## 6. ⌚ 9 min; C2c

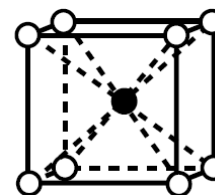
Wolfram, jehož hustota při  $25^{\circ}\text{C}$  je  $19,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , krystaluje v krychlové tělesně centrované elementární buňce. Zjistěte

- kolik atomů W je obsaženo v elementární buňce
- jaké je koordinační číslo W v krystalové mřížce wolframu
- molární objem wolframu
- objem jedné elementární buňky wolframu

## 7. ⌚ 9 min; C2c

CsCl krystaluje v krychlové mřížce. Délka hrany elementární buňky CsCl je 0,4123 nm, hustota CsCl  $\rho = 3,99 \text{ g cm}^{-3}$ . Zjistěte za pomoci obrázku:

- typ elementární buňky CsCl
- koordinační číslo  $\text{Cs}^+$
- koordinační číslo  $\text{Cl}^-$
- typ mřížky vzniklé odstraněním všech kationtů  $\text{Cs}^+$
- typ mřížky vzniklé nahrazením  $\text{Cs}^+$  i  $\text{Cl}^-$  stejnou částicí



## Výsledky

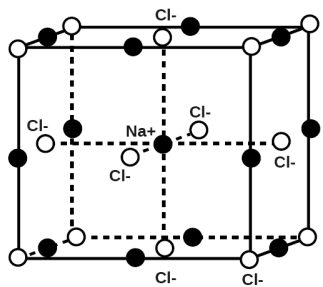
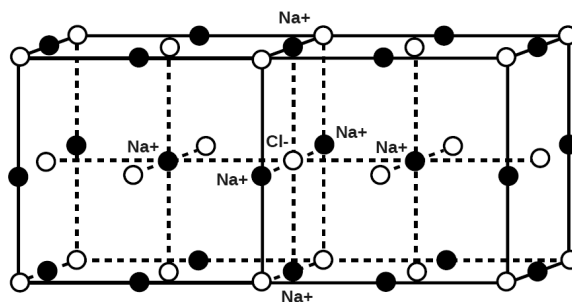
### A

- kap. 22; 22; teplota, při níž se krystalická látka v kapalně fázi vlivem prudkého ochlazení stane látkou amorfni; kap. 22; 22.1.1; 22.1.1; 22.1.1; 22.1.1; 22.1.1; Krystaly, v nichž se jednotlivé složky zastupují v libovolném poměru, musí být splněny podmínky vzniku směsných krystalů.; kap.22.1.1 a 22.1.2; 22.1.1 a 22.1.2; 22.1.2; 22.1.4; Počet aniontů v bezprostřední blízkosti kationtů, resp.poččet kationtů v bezprostřední blízkosti aniontů.
- kap. 22.1.3; 22.1.5; 22.1.2
- kap. 22.1.3
- kap. 22 .1.1

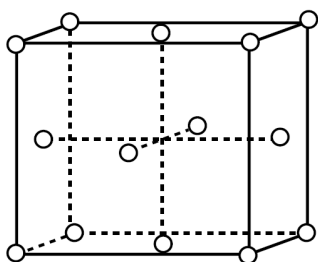
### B

- elementární buňka
- jednoduchá
  - tělesně centrovaná
  - bazálně centrovaná
  - tělesně centrovaná
  - bazálně centrovaná
  - plošně centrovaná
  - jednoduchá
  - plošně centrovaná
- Z obrázku je zřejmé, že kation sodíku se váže s 6 anionty chloru ( např. kation sodíku ve středu buňky se váže na 6 chloridových aniontů umístěných ve středech stěn buňky). Koordinační číslo  $\text{Na}^+$  je tedy 6.  
Anion chloru se opět váže s 6 kationty sodíku - anion chloru umístěný ve středu stěny buňky se váže se čtyřmi  $\text{Na}^+$  umístěnými ve středech hran buňky a se dvěma  $\text{Na}^+$  umístěnými ve středu dvou sousedících buněk. Koordinační číslo anionu chloru je tedy také 6.



koordinace číslo  $\text{Na}^+$ koordinace číslo  $\text{Cl}^-$ 

b) plošně centrovaná buňka



Odstraněním všech kationtů sodíku z mřížky NaCl by vznikla plošně centrovaná buňka.

4. a) koordinace číslo kationu = 4, Koordinace číslo anionu = 8  
b) koordinace číslo kationu = 4, Koordinace číslo anionu = 4
5. Rozdílnost je způsobena různým uspořádáním atomů uhlíku v grafitu (krystaluje v soustavě šesterečné) a v diamantu (v soustavě krychlové). V grafitu jsou atomy uhlíku uspořádány do vrstviček, které jsou mezi sebou spojeny poměrně slabou vazbou, díky tomu je grafit velmi měkký a velmi snadno se otírá o jiné předměty. Krystal diamantu tvoří makromolekuly, v němž jsou atomy uhlíku navzájem spojeny kovalentní vazbou (pevná), proto je diamant vůbec nejtvrdějším existujícím přírodním materiálem.
6. a) ne – různé krystalové soustavy  
b) ne – různé typy krystalů  
c) ne – různá velikost částic  
d) ano- splňuje všechny podmínky vzniku směsných krystalů

## C

1.  $d = 0,251 \text{ nm}$
2.  $d = 0,0798 \text{ nm}$
3. a)  $d = 0,1375 \text{ nm}$   
b)  $\lambda = 0,194 \text{ nm}$
4. krychlová tělesně centrovaná elementární buňka obsahuje 2 atomy
5.  $\rho = 4,85 \text{ g cm}^{-3}$
6. a) 2 atomů  
b) 8  
c)  $V_m = 9,53 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$

- d)  $V = 0,03163 \text{ nm}^3$
7. a) jednoduchá krychlová  
b) 8  
c) 8  
d) jednoduchá krychlová  
e) krychlová tělesně centrovaná



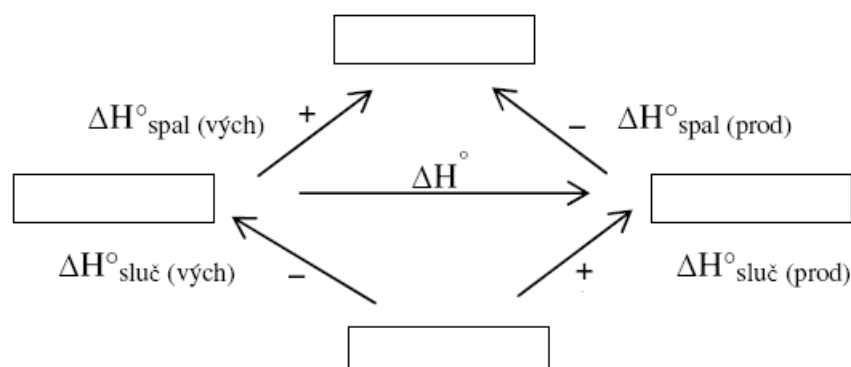
## 23. Základy termodynamiky

---

### A

1. Definuňte nebo vysvětlete následující pojmy:
  - termodynamická soustava (systém)
  - okolí
  - stavová veličina
  - stavové funkce
  - entropie
  - Gibbsova energie
  - termodynamický děj
  - termodynamická rovnováha
  - vnitřní energie soustavy
  - enthalpie
  - reakční enthalpie
  - tepelné zabarvení reakce
  - vazebná energie
  - disociační energie
  - uskutečnitelnost chemické reakce
  - výchozí látky
  - produkty
  - termodynamika
  - termochemie
  - termika
2. Uveďte minimálně 5 příkladů stavových veličin.
3. Uveďte minimálně 3 příklady stavových funkcí.
4. Vysvětlete rozdíl mezi následujícími pojmy:
  - stavové veličiny intenzivní  $\times$  extenzivní
  - vratný děj  $\times$  nevratný děj
  - izolovaný systém  $\times$  uzavřený systém  $\times$  otevřený systém
  - práce vykonaná soustavou  $\times$  vnějšími silami
  - objemová práce  $\times$  neobjemová práce
  - exotermická reakce  $\times$  endotermická reakce
  - standardní slučovací enthalpie  $\times$  standardní spalná enthalpie
5. Formulujte následující zákony slovně popř. i pomocí vzorců:
  - nultá věta termodynamická
  - první věta termodynamická včetně jejího matematického vyjádření
  - první termochemický zákon
  - druhý termochemický zákon

6. Schéma znázorňuje odvozovací trojúhelníky pro výpočet reakčních enthalpií ze spalných nebo slučovacích enthalpií. Doplňte do volných rámečků chybějící popisky. Čárkovaně doplňte chybějící šipky.

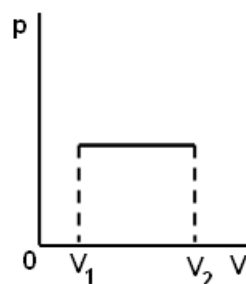
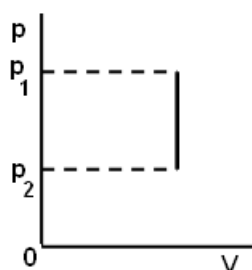


7. Pro které sloučeniny se používá Born-Habernův cyklus?

## B

1. ⌚ 1 min

Na obrázcích jsou znázorněny  $p - V$  diagramy, z nichž lze odvodit velikost práce vykonané soustavou. Určete, které tvrzení správně popisuje děj zobrazený v jednotlivých grafech.



- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| a) objemová práce se koná              | a) objem je konstantní      |
| b) objemová práce se nekoná            | b) objemová práce se nekoná |
| c) objem se mění v závislosti na tlaku | c) objemová práce se koná   |

2. ⌚ 1 min

Určete, které z následujících reakcí jsou exotermické a které endotermické:

- |   |  |
|---|--|
| a) $2 \text{ C (s)} + \text{ H}_2 \text{ (g)} \rightarrow \text{ C}_2\text{H}_2 \text{ (g)}$  | $\Delta H = 226,92 \text{ kJ mol}^{-1}$    |
| b) $\text{ H}_2 \text{ (g)} + \frac{1}{2} \text{ O}_2 \text{ (g)} \rightarrow \text{ H}_2\text{O (l)}$                              | $\Delta H = -285,96 \text{ kJ mol}^{-1}$   |
| c) $\text{ C}_2\text{H}_5\text{OH (l)} + 3\text{ O}_2 \text{ (g)} \rightarrow 2\text{ CO}_2 \text{ (g)} + 3\text{ H}_2\text{O (l)}$ | $\Delta H = -1368,539 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| d) $\text{ Fe}_3\text{O}_4 \text{ (s)} + \text{ CO (g)} \rightarrow 3\text{ FeO (s)} + \text{ CO}_2 \text{ (g)}$                    | $\Delta H = 38,10 \text{ kJ mol}^{-1}$     |
| e) $\text{ C}_{\text{diamant}} + \text{ O}_2 \text{ (g)} \rightarrow \text{ CO}_2 \text{ (g)}$                                      | $\Delta H = -395,65 \text{ kJ mol}^{-1}$   |

3.  1 min

Pro samovolné reakce je typické

- a) jsou vždy exotermní
- b) pro ně je  $\Delta G < 0$
- c) jsou velmi rychlé
- d) pro ně je  $\Delta H < 0$

4.  1 min

Změna Gibbsovy energie  $\Delta G$  je rovna nule, když

- a) je systém v rovnováze
- b) jsou všechny aktivity jednotkové
- c) teplo není soustavou ani přijímáno ani vydáváno
- d) změna entropie je nulová

5.  3 min

Chemické reakce lze charakterizovat znaménky změn  $\Delta H$  a  $\Delta S$  tak, jak je uvedeno v následující tabulce:

reakce	$\Delta H$	$\Delta S$
a	–	+
b	+	–
c	–	–
d	+	+

Rozhodněte, které z procesů (a – d) probíhají za konstantního tlaku a teploty určitě samovolně, které samovolně určitě neprobíhají a o kterých nelze rozhodnout.

## C

**Potřebné vztahy****První věta termodynamická**

$$\Delta U = Q + W \quad \text{resp.} \quad \Delta U = Q - \bar{W}, \quad (23-1)$$

kde

$\Delta U$  ..... zvýšení vnitřní energie soustavy (J)

$Q$  ..... teplo soustavě dodané (J)

$W$  ..... práce soustavě dodaná - vykonaná vnějšími silami (J)

$\bar{W}$  ..... objemová práce - soustavou vykonaná (J)

**Vztahy pro výpočet objemové práce****Izobarický děj**

$$\bar{W} = p(V_2 - V_1), \quad (23-2)$$

**Izotermický děj**

$$\bar{W} = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad \text{resp.} \quad \bar{W} = nRT, \quad (23-3)$$

kde

$\bar{W}$  ..... objemová práce vykonaná soustavou (např. J)

$p$  ..... tlak (např. Pa)

$V_2$  ..... konečný objem (např. dm<sup>3</sup>)

$V_1$  ..... počáteční objem (např. dm<sup>3</sup>)

**Izochorický děj**

$$\bar{W} = 0, \quad (23-4)$$

**První termochemický zákon**

$$\Delta H_1 = -\Delta H_2, \quad (23-5)$$

kde

$\Delta H_1$  .... reakční enthalpie dané reakce směřující k produktům (např. kJ mol<sup>-1</sup>)

$\Delta H_2$  ... reakční enthalpie stejné reakce směřující k výchozím látkám (např. kJ mol<sup>-1</sup>)

**Druhý termochemický zákon**

$$\Delta H_1 = \Delta H_2 = \Delta H_3 = \dots, \quad (23-6)$$

kde

$\Delta H_1$  ..... enthalpie dané reakce směřující od výchozích látek k produktům (např. J)  
 $\Delta H_2, \Delta H_3, \dots$  ..... enthalpie stejné reakce směřující od výchozích látek přes meziprodukty k produktům (např. J)

**Výpočet reakčního tepla (reakčních enthalpií)****Standardních spalných enthalpií**

$$\Delta H_r^\circ = \Delta H_{\text{spal (vých)}}^\circ - \Delta H_{\text{spal (prod)}}^\circ, \quad (23-7)$$

kde

$\Delta H_r^\circ$  ..... standardní reakční enthalpie ( $\text{J mol}^{-1}$ , častěji  $\text{kJ mol}^{-1}$ )  
 $\Delta H_{\text{spal (vých)}}^\circ$  ..... standardní spalná enthalpie výchozích látek enthalpie (stejně jednotky jako  $\Delta H_r^\circ$ )  
 $\Delta H_{\text{spal (prod)}}^\circ$  ..... standardní spalná enthalpie produktů (stejně jednotky jako  $\Delta H_r^\circ$ )

**Standardních slučovacích enthalpií**

$$\Delta H_r^\circ = \Delta H_{\text{sluč (prod)}}^\circ - \Delta H_{\text{sluč (vých)}}^\circ, \quad (23-8)$$

kde

$\Delta H_r^\circ$  ..... standardní reakční enthalpie ( $\text{J mol}^{-1}$ , častěji  $\text{kJ mol}^{-1}$ )  
 $\Delta H_{\text{sluč (prod)}}^\circ$  ..... standardní slučovací enthalpie výchozích látek (stejně jednotky jako  $\Delta H_r^\circ$ )  
 $\Delta H_{\text{sluč (vých)}}^\circ$  ..... standardní slučovací enthalpie produktů (stejně jednotky jako  $\Delta H_r^\circ$ )

**Změna Gibbsovy energie**

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad \text{resp.} \quad \Delta G_m = \Delta H_m - T\Delta S_m, \quad (23-9)$$

kde

$\Delta G$  ..... přírůstek Gibbsovy energie (J), resp.  $\Delta G$  ( $\text{J mol}^{-1}$ )  
 $\Delta H$  ..... přírůstek enthalpie (stejně jednotky jako  $\Delta G$ , resp.  $\Delta G_m$  ( $\text{J mol}^{-1}$ )  
 $T$  ..... termodynamická teplota (K)  
 $\Delta S$  ..... přírůstek entropie (např.  $\text{J K}^{-1}$ ), resp.  $\Delta S_m$ , resp.  $\Delta S_m$  ( $\text{J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ )



**Entropie**

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \quad \text{resp.} \quad \Delta S = \frac{\Delta H}{T}, \quad (23-10)$$

kde

$\Delta S$  ..... přírůstek entropie (např.  $\text{J K}^{-1}$ )

$T$  ..... teplota, při níž soustava teplo přijímá (K)

$Q$  ..... teplo přijaté soustavou při izotermickém ději (např. J)

**Změna entropie resp. Gibbsovy energie**

$$\Delta S^\circ = S^\circ_{(prod)} - S^\circ_{(vých)}, \quad \text{resp.} \quad \Delta G^\circ = G^\circ_{(prod)} - G^\circ_{(vých)} \quad (23-11)$$

kde

$\Delta S^\circ, \Delta G^\circ$  ..... přírůstek entropie resp. Gibbsovy energie (např.  $\text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

$\Delta S^\circ_{(prod)}, \Delta G^\circ_{(prod)}$  ..... slučovací entropie resp. Gibbsova energie výchozích látek (stejně jednotky jako  $\Delta S^\circ$ )

$\Delta S^\circ_{(vých)}, \Delta G^\circ_{(vých)}$  ..... slučovací entropie resp. Gibbsova energie produktů (stejně jednotky jako  $\Delta S^\circ$ )

**Vztah pro výpočet skupenského tepla:**

$$Q = m \cdot l, \quad (23-12)$$

kde

$Q$  ..... skupenské teplo (libovolné skupenské přeměny) (J)

$m$  ..... hmotnost (kg)

$l$  ..... měrné skupenské teplo (libovolné skupenské přeměny) ( $\text{J kg}^{-1}$ )

**Řešené příklady****1. C1c**

Při endotermické reakci přijala soustava za konstantního tlaku teplo o hodnotě 30 kJ. Produkty zaujímaly menší objem než výchozí látky, proto vnější síly vykonaly práci 40 kJ, aby došlo k odpovídající kompresi.

- Jaká byla reakční entalpie?
- O kolik vzrostla vnitřní energie soustavy?

Řešení:

- Teplo přijaté soustavou při izobarickém ději ( tj. za konstantního tlaku) je podle definice rovno entalpii.

$$\text{Proto } \underline{\underline{\Delta H = 30 \text{ kJ}}}$$

- Přírůstek vnitřní energie vypočítáme dle první věty termodynamické (23-1):

$$\Delta U = Q + W$$

Dosadíme

$$\Delta U = 30 \text{ kJ} + 40 \text{ kJ} = \underline{\underline{70 \text{ kJ}}}$$

Reakční enthalpie byla 30 kJ a přírůstek vnitřní energie byl 70 kJ.

**2. C1a**

Plyn expanduje za konstantního tlaku 60,8 kPa z objemu 2,25 dm<sup>3</sup> na objem 7,50 dm<sup>3</sup>. Jakou práci přitom vykoná?

Řešení:

K řešení využijeme vztah pro výpočet objemové práce při izobarickém ději (23-2):

$$\bar{W} = p(V_2 - V_1)$$

Číselně:

$$\bar{W} = 60800 \text{ Pa} \cdot (0,00750 \text{ m}^3 - 0,00225 \text{ m}^3) = 319,2 \text{ J} \doteq \underline{\underline{319 \text{ J}}}$$

Plyn vykoná práci 319 J.

**3. C2c**

Molární výparné teplo vody při 25 °C a konstantního tlaku je 44 kJ mol<sup>-1</sup>. Vypočítejte:

- absorbované teplo
- objemovou práci
- změnu vnitřní energie při vypaření 1 mol vody.

Řešení:

V soustavě dochází ke změně skupenství z kapalného na plynné, které doprovází zvětšení objemu soustavy. Soustava tedy vykonává objemovou práci. Nejprve si vypočítáme objemovou práci dle vztahu (23-3). Pak tento výpočet dosadíme do vztahu (23-1), abychom vypočítali změnu vnitřní energie soustavy. Nakonec vypočítáme absorbované teplo dle (23-1) za využití obou předchozích výpočtů.

a) Teplo absorbované vodou při vypaření je rovno jejímu výparnému teplu, proto

$$\underline{Q = 44 \text{ kJ}}$$

b) Při změně vody z kapalného skupenství na plynné dojde k nultému zvětšení soustavy. Děj je izotermický, proto práce vykonaná soustavou je  $\bar{W} = p(V_2 - V_1)$ . Protože změna objemu je velká, můžeme zanedbat objem kapalné vody  $V_1$  oproti objemu vzniklé vodní páry  $V_2$ . Proto  $\bar{W} = pV_2$ . Součin  $pV_2$  určíme ze stavové rovnice ideálního plynu (B3).

$$pV = nRT \Rightarrow \bar{W} = nRT$$

Dosadíme:

$$\bar{W} = 1 \cdot 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 298,15 \text{ K} \doteq 2478,81 \text{ J} \doteq \underline{2,5 \text{ kJ}}$$

c) Změnu vnitřní energie určíme pomocí první věty termodynamické (23-1):

$$\Delta U = Q + \bar{W}, \text{ kde } W = -\bar{W}$$

Číselně:

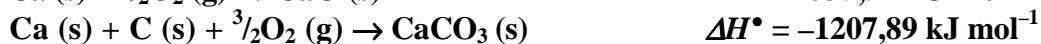
$$\Delta U = 44 \text{ kJ} - 2,5 \text{ kJ} = \underline{41,5 \text{ kJ}}$$

Soustava absorbovala teplo  $44 \text{ kJ mol}^{-1}$ , vykonala práci o velikosti  $2,5 \text{ kJ}$  a její vnitřní energie se zvýšila o  $41,5 \text{ kJ}$ .

**4. C1c**

**Vypočítejte reakční teplo reakce**

**CaO (s) + CO<sub>2</sub> (g) → CaCO<sub>3</sub> (s) z následujících rovnic.**

Řešení:

Pohledem na dílčí reakce v zadání zjistíme, že všechny popisují slučování reaktantů nebo produktů zadané reakce z prvků. Zadané enthalpie jsou proto slučovacími enthalpiemi a pro výpočet použijeme vztah (23-7).

$$\Delta H^\circ = \Delta H^\circ_{\text{sluč (prod)}} - \Delta H^\circ_{\text{sluč (vých)}}$$

Číselně:

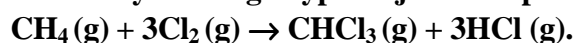
$$\Delta H^\circ = -1207,89 \text{ kJ mol}^{-1} - [(-393,97 \text{ kJ mol}^{-1}) + (-635,97 \text{ kJ mol}^{-1})]$$

$$\Delta H^\circ = \underline{\underline{-177,95 \text{ kJ mol}^{-1}}}$$

Reakční teplo dané reakce je  $-177,95 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

### 5. C1c

Z vazebných energií vypočítejte entalpii reakce přípravy chloroformu:



Vazba	Energie vazby
C-H	416,17 kJ mol <sup>-1</sup>
Cl-Cl	242,83 kJ mol <sup>-1</sup>
C-Cl	326,57 kJ mol <sup>-1</sup>
H-Cl	431,24 kJ mol <sup>-1</sup>

Řešení:

Nejprve odděleně zjistíme energii potřebnou na rozštěpení vazeb ve výchozích látkách a energii uvolněnou při vzniku produktů. Odečtením pak zjistíme reakční entalpii dané reakce.

Výchozí látky – energie potřebná na rozštěpení vazeb	
$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	v této látce je vazby C-H zastoupena 4×: $\Rightarrow 4 \cdot 416,17 \text{ kJ mol}^{-1} = 1664,68 \text{ kJ mol}^{-1}$
$\text{Cl}-\text{Cl}$	v reakci jsou 3 molekuly chloru, vazba Cl-Cl je zastoupena 3×: $\Rightarrow 3 \cdot 242,83 \text{ kJ mol}^{-1} = 728,49 \text{ kJ mol}^{-1}$

Na rozštěpení vazeb v reaktantech je celkem potřeba energie  $2393,17 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

Produkty – energie uvolněná při vzniku vazeb	
$\begin{array}{c} \text{Cl} \\   \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{Cl} \\   \\ \text{H} \end{array}$	v této látce je 1 vazba C-H a 3 vazby H-Cl: $\Rightarrow 416,17 \text{ kJ mol}^{-1} + 3 \cdot 326,57 \text{ kJ mol}^{-1} = 1395,88 \text{ kJ mol}^{-1}$
$\text{H}-\text{Cl}$	v reakci jsou 3 molekuly HCl vazba H-Cl je zastoupena 3×: $\Rightarrow 3 \cdot 431,24 \text{ kJ mol}^{-1} = 1293,72 \text{ kJ mol}^{-1}$

Při vzniku produktů se celkem uvolní teplo  $2689,6 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

Reakční entalpie je teplo přijaté soustavou při izobaricky uskutečněné reakci, proto platí:

$$\Delta H^{\circ}_r = 2393,17 \text{ kJ mol}^{-1} - 2689,43 \text{ kJ mol}^{-1} = \underline{\underline{-296,43 \text{ kJ mol}^{-1}}}$$

Enthalpie reakce přípravy chloroformu je  $-296,43 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

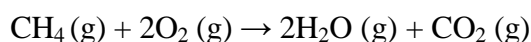
### 6. C3b

Z údajů v tabulce vypočítejte množství tepla, které se uvolní spálením  $1,00 \text{ m}^3$  methanu (měřeno při  $0^{\circ}\text{C}$  a  $101,325 \text{ kPa}$ ).

Sloučenina	Slučovací teplo
$\text{CH}_4$	$-76,37 \text{ kJ mol}^{-1}$
$\text{CO}_2$	$-393,97 \text{ kJ mol}^{-1}$
$\text{H}_2\text{O}$	$-242,00 \text{ kJ mol}^{-1}$

Řešení:

Nejdříve napíšeme reakci spalování methanu a vyčíslíme ji. Na základě reakce a jednotlivých slučovacích tepel vypočítáme dle vztahu (23-7) reakční teplo, které vznikne spálením 1 mol methanu. Pomocí vztahu (21-3) zjistíme, jaké látkové množství  $\text{CH}_4$  je obsaženo v objemu  $1 \text{ m}^3$ . Nakonec vypočítáme množství energie, která se uvolní spálením  $1 \text{ m}^3$  methanu.



$$\Delta H^{\circ}_r = \Delta H^{\circ}_{\text{sluč}}(\text{prod}) - \Delta H^{\circ}_{\text{sluč}}(\text{vých})$$

Dosadíme:

Slučovací teplo pro kyslík je rovno 0 - jde o prvek.

$$\Delta H = [2 \cdot (-242,00) + (-393,97)] - [(-76,37\text{kJ}) + (2 \cdot 0)] = -801,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Pomocí vztahu (21-3) vypočítáme látkové množství  $\text{CH}_4$  v objemu  $1 \text{ m}^3$ :

$$pV = nRT \Rightarrow n = \frac{pV}{RT}$$

Číselně:

$$n = \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 1 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1} \cdot 273,15 \text{ K}} \doteq 44,61 \text{ mol}$$

Reakční teplo vzniklé spálením 1 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> vypočteme z úměry:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mol CH}_4 \dots\dots\dots -801,6 \text{ kJ} \\ 44,61 \text{ mol} \dots\dots\dots x \\ \hline x = \frac{-801,6 \text{ kJ} \cdot 44,61 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} = 35759,376 \text{ kJ} \doteq \underline{\underline{35,8 \text{ MJ}}} \end{array}$$

Spálením 1 m<sup>3</sup> methanu se uvolní teplo o velikosti 35,8 MJ.

### 7. C1a

Bude reakce  $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$  probíhat za standardních podmínek samovolně, je-li  $\Delta G^\circ(\text{N}_2\text{O}_4) = 98,326 \text{ kJ mol}^{-1}$  a  $\Delta G^\circ(\text{NO}_2) = 51,724 \text{ kJ mol}^{-1}$ ?

Řešení:

Reakce probíhá samovolně, pokud je reakční Gibbsova energie menší než nula. Reakční Gibbsovu energii vypočítáme analogicky dle vztahu (23-7):

$$\Delta G^\circ = \Delta G^\circ_{\text{spal (prod)}} - \Delta G^\circ_{\text{spal (vých)}}$$

Číselně:

$$\Delta G = 98,326 \text{ kJ mol}^{-1} - 2 \cdot 51,724 \text{ kJ mol}^{-1} = \underline{\underline{-5,122 \text{ kJ mol}^{-1}}}$$

Reakce bude probíhat samovolně, protože  $\Delta G < 0$ .

### 8. C1a

Sublimační teplo suchého ledu  $\Delta H_{\text{subl}}$  za standardního tlaku a teploty  $-78,00 \text{ }^\circ\text{C}$  je  $565,22 \text{ J g}^{-1}$ . Vypočítejte změnu entropie při sublimaci 500,0 g CO<sub>2</sub> a uveďte, jaká je změna Gibbsovy energie tohoto vratného procesu (pro 500,0 g CO<sub>2</sub>).

Řešení:

Nejdříve vypočítáme změnu entropie při sublimaci dle (23-10). Pak určíme změnu Gibbsovy energie pomocí vztahu (23-9).

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{565,22 \text{ J g}^{-1}}{(-78 + 273,15) \text{ K}} \doteq 2,896 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

Tato změna entropie je vztažena na 1 g CO<sub>2</sub>. V zadání bylo 500 g CO<sub>2</sub>. Proto:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ g CO}_2 \dots\dots\dots 2,896 \text{ J K}^{-1} \\ 500 \text{ g CO}_2 \dots\dots\dots x \\ \hline x = \frac{2,896 \text{ J K}^{-1} \cdot 500 \text{ g}}{1 \text{ g}} = \underline{\underline{1448 \text{ J K}^{-1}}} \end{array}$$

Kombinací vztahů (23-9) a (23-10):

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \text{ resp. } \Delta G = Q - T\Delta S \text{ (tlak byl podle zadání konstantní)}$$

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

Dostaneme:

$$\Delta G = Q - T \frac{Q}{T}$$

Pokrácím:

$$\Delta G = Q - T \frac{Q}{T} \Rightarrow \Delta G = Q - Q \Rightarrow \Delta G = \underline{\underline{0}}$$

Změna entropie při sublimaci daného 500 g CO<sub>2</sub> za daných podmínek je 1448 kJ. Děj je vratný, proto  $\Delta G = 0$ , což bylo potvrzeno i výpočtem.

## PŘÍKLADY K SAMOSTATNÉMU ŘEŠENÍ

## 1. ⌚ 1 min; C1a

Jak se změní vnitřní energie plynu, přijme-li teplo o velikosti 10 J a nevykoná přitom žádnou práci?

## 2. ⌚ 2 min; C1a

Pro reakci  $\text{NO (g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{NO}_2\text{(g)}$  probíhající při 298,15 K je  $\Delta G^\circ = -34,88 \text{ kJ mol}^{-1}$  a  $\Delta H^\circ = -56,56 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Vypočítejte změnu entropie.

## 3. ⌚ 3 min; C1a

Vypočítejte standardní Gibbsovu energii  $\Delta G^\circ$  oxidace glukózy ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), která probíhá podle rovnice  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6\text{(s)} + 6\text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 6\text{CO}_2\text{(g)} + 6\text{H}_2\text{O(l)}$ . Hodnoty standardní slučovací Gibbsovy energie jsou uvedeny v tabulce.

Sloučenina	Standardní slučovací Gibbsova energie
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6\text{(s)}$	$-912,72 \text{ kJ mol}^{-1}$
$\text{CO}_2\text{(g)}$	$-394,83 \text{ kJ mol}^{-1}$
$\text{H}_2\text{O(l)}$	$-238,65 \text{ kJ mol}^{-1}$

## 4. ⌚ 2 min; C1a

Vypočítejte reakční teplo vzniku jodovodíku z prvků dle rovnice  $\text{H}_2\text{(g)} + \text{I}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{HI(g)}$ , pokud znáte velikost energie vazeb H-H ( $435 \text{ kJ mol}^{-1}$ ), I-I ( $150 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) a H-I ( $299 \text{ kJ mol}^{-1}$ ).

## 5. ⌚ 3 min; C1b

Množství 7,00 g kovového hořčíku bylo rozpuštěno v nadbytku HCl při 25,0 °C a tlaku 101,325 kPa. Vypočítejte práci vykonanou při vzniku vodíku.

## 6. ⌚ 5 min; C1b

Pro proces přeměny  $\text{H}_2\text{O(s)} \rightarrow \text{H}_2\text{O(l)}$  je  $\Delta H^\circ = 6012,2 \text{ J mol}^{-1}$  a  $\Delta S^\circ = 22,0 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . Vypočítejte:

- $\Delta G$  tohoto procesu při  $-10,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Která forma led nebo voda je stabilní při této teplotě?
- $\Delta G$  při  $10,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Která forma vody bude stabilní při této teplotě?
- Teplotu, při níž je  $\Delta G = 0$ . Jaký je fyzikální význam této teploty?

## 7. ⌚ 3 min; C1c

V exotermické reakci, probíhající za konstantního tlaku, vydala soustava do okolí teplo 50 kJ. Při vzniku produktů vzrostl objem soustavy, přičemž odpovídající velikost práce vykonané soustavou při této expanzi byla 20 kJ. Jaké jsou hodnoty

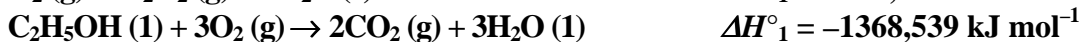
- $\Delta H$ ,
- $\Delta U$  pro tento proces?



## 8. ⌚ 3 min; C1c

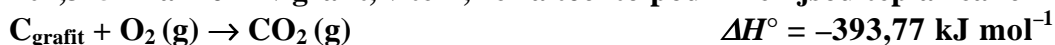
Vypočítejte tepelné zabarvení reakce

$2\text{CO}(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ , znáte-li spalovací tepla reakcí



## 9. ⌚ 2 min; C1c

Vypočítejte teplo reakce, při níž by se diamant za teploty 298,15 K a tlaku 101,325 kPa měnil v grafit, víte-li, že za těchto podmínek jsou tepla reakcí



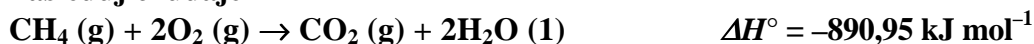
## 10. ⌚ 2 min; C1c

Vypočítejte  $\Delta H^\circ$  reakce  $\text{C}(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g})$ , jsou-li známa tepelná zabarvení reakcí



## 11. ⌚ 3 min; C1c

Vypočítejte enthalpii reakce  $\text{C}_{\text{grafit}} + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_4(\text{g})$ , jsou-li známy následující údaje



## 12. ⌚ 3 min; C1c

Vypočítejte  $\Delta H^\circ$  reakce  $\text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightarrow \text{Fe}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$  s využitím termochemických rovnic



## 13. ⌚ 2 min; C1c

Posud'te, zda je reakce  $2\text{HI}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCl}(\text{g}) + \text{I}_2(\text{s})$  uskutečnitelná za standardních podmínek. Standardní slučovací Gibbsovy energie při nich jsou pro HCl  $-95,46 \text{ kJ mol}^{-1}$  a pro HI  $1,30 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

## 14. ⌚ 2 min; C1c

Je reakce  $\text{CO}(\text{g}) + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{COCl}_2(\text{g})$  uskutečnitelná za standardních podmínek? Gibbsova energie CO (g) je  $-137,37 \text{ kJ mol}^{-1}$  a  $\text{COCl}_2(\text{g})$   $-210,64 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

15. ⌚ 2 min; C1c

Bude reakce  $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$  probíhat za standardních podmínek samovolně, jsou-li slučovací Gibbsovy energie  $\Delta G^\circ(\text{N}_2\text{O}_4) = 98,326 \text{ kJ mol}^{-1}$  a  $\Delta G^\circ(\text{NO}_2) = 51,724 \text{ kJ mol}^{-1}$ ?

16. ⌚ 3 min; C1c

Vypočítejte teplo reakce  $\text{CH}_4(\text{g}) + 4\text{F}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CF}_4(\text{g}) + 4\text{HF}(\text{g})$ , znáte-li velikost energie vazeb C-H ( $416,17 \text{ kJ mol}^{-1}$ ), C-F ( $489,86 \text{ kJ mol}^{-1}$ ), H-F ( $569,40 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) a F-F ( $158,26 \text{ kJ mol}^{-1}$ ).

17. ⌚ 5 min; C1c

$\text{CCl}_4$  se připravuje reakcí  $\text{CS}_2(\text{g}) + 3\text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CCl}_4(\text{g}) + \text{S}_2\text{Cl}_2(\text{g})$ . Vypočítejte její enthalpii, víte-li, že energie vazby C=S je  $481,48 \text{ kJ mol}^{-1}$ , Cl-Cl  $242,83 \text{ kJ mol}^{-1}$ , C-Cl  $326,57 \text{ kJ mol}^{-1}$ , S-S  $205,15 \text{ kJ mol}^{-1}$  a S-Cl  $255,39 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

18. ⌚ 7 min; C2a

Určete  $\Delta H^\circ$  reakce  $2\text{Na}_2\text{O}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 4\text{NaOH}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g})$ . Slučovací teplo  $\text{Na}_2\text{O}_2(\text{s})$  je  $-504,93 \text{ kJ mol}^{-1}$ , pro  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$   $-285,96 \text{ kJ mol}^{-1}$  a pro  $\text{NaOH}(\text{s})$  je  $-427,05 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Kolik tepla se uvolní rozkladem  $25,00 \text{ g}$  peroxidu sodného?

19. ⌚ 4 min; C2c

Pro vznik  $\text{N}_2\text{O}$  reakcí  $2\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{N}_2\text{O}(\text{g})$  je  $\Delta H = 163,3 \text{ kJ}$ . Vypočítejte teplo absorbované při vzniku  $6,5 \text{ g}$   $\text{N}_2\text{O}$  a teplo uvolněné při rozkladu  $3,0 \text{ g}$   $\text{N}_2\text{O}$ .

20. ⌚ 7 min; C3b

Výparné teplo benzenu při bodu varu ( $80,1^\circ\text{C}$ ) a atmosférického tlaku je  $394,15 \text{ J g}^{-1}$ . Vypočítejte:

- objemovou práci,
- absorbované teplo,
- změnu enthalpie,
- změnu vnitřní energie,

při vypaření  $100 \text{ g}$  benzenu uzavřeného v nádobě s pohyblivým pístem při teplotě  $80,1^\circ\text{C}$ . Předpokládejte, že se benzen v plynném skupenství chová jako ideální plyn. Pro zjednodušení počítejte, že objem kapaliny je zanedbatelný vůči objemu páry.

21. ⌚ 5 min; C3b

Reakcí  $2,00 \text{ mol}$  vodíku s  $1,00 \text{ mol}$  kyslíku při  $100^\circ\text{C}$  za standardního tlaku vznikají dva mol vodní páry a uvolní se teplo  $484,83 \text{ kJ}$ . Vypočítejte změnu enthalpie  $\Delta H$  a vnitřní energie  $\Delta U$  při této reakci.

22. ⌚ 5 min; C3b

Vypočítejte výparné teplo 1 g vody při 25 °C. Slučovací teplo kapalné vody je  $-285,96 \text{ kJ mol}^{-1}$ , plynné vody  $-242,0 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

---

### Výsledky

---

#### A

5. kap. 23.1.1; 23.1.1; 23.1.1; 23.1.1; 23.2.3; 23.2.3; 23.1.1; 23.1.1; 23.1.2; 23.2.; 23.2.; zda je reakce exotermická či endotermická; kap. 23.2.2.1; 23.2.2.1; 23.2.4; látky do reakce vstupující; látky z reakce vystupující; kap. 23.1; 23.2; věda, která se zabývá měřením teploty a tepla a tepelnými ději
  6. teplota, tlak, objem, vnitřní energie, hmotnost, koncentrace
  7. vnitřní energie, enthalpie, Gibbsova energie
  8. kap. 23.1.1; 23.1.1; 23.1.1; 23.1.2; 23.1.2.1; 23.2; 23.2.2
  9. kap. 23.1.2; 23.1.2; 23.2.1.1; 23.2.1.2
  10. kap. 23.2.2
  11. kap. 23.2.2.1
- 

#### B

12. a), c)
  13. endotermická: a, d; exotermická: b, c, e
  14. b)
  15. a)
  16. a – vždy samovolně, c – proběhne samovolně pokud  $|T\Delta S| < |\Delta H|$ , d – proběhne samovolně pokud  $|T\Delta S| > |\Delta H|$
- 

#### C

1. vzroste o 10 J
2.  $\Delta S = -72,72 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$
3.  $\Delta G^\circ = -2888,2 \text{ kJ mol}^{-1}$
4.  $\Delta H_r^\circ = -13,0 \text{ kJ mol}^{-1}$
5.  $W = 714 \text{ J}$
6. a)  $\Delta G = 223 \text{ J mol}^{-1}$ , led;  
b)  $\Delta G = -217 \text{ J mol}^{-1}$ , voda;  
c)  $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ , voda i led koexistují
7. a)  $\Delta H = -50 \text{ kJ}$ ; b)  $\Delta U = -70 \text{ kJ}$
8.  $\Delta H_r^\circ = -341, 691 \text{ kJ mol}^{-1}$
9.  $\Delta H = -1,88 \text{ kJ mol}^{-1}$
10.  $\Delta H = -110,78 \text{ kJ mol}^{-1}$
11.  $\Delta H = -74,94 \text{ kJ mol}^{-1}$

12.  $\Delta H = -16,74 \text{ kJ mol}^{-1}$
13. je uskutečnitelná
14.  $\Delta G^\circ = -73,27 \text{ kJ mol}^{-1}$ ; ano
15.  $\Delta G^\circ = -5,122 \text{ kJ mol}^{-1}$ ; bude
16.  $\Delta H_r^\circ = -1939,3 \text{ kJ mol}^{-1}$
17.  $\Delta H^\circ = -330,76 \text{ kJ mol}^{-1}$
18.  $\Delta H^0 = -126,4 \text{ kJ}$ ;  $Q = 20,26 \text{ kJ}$
19.  $\Delta H = 12 \text{ kJ}$ ;  $\Delta H 5,6 \text{ kJ}$
20. a)  $\bar{W} = 3770 \text{ J}$   
b)  $Q = 39,4 \text{ kJ}$   
c)  $\Delta H = 39,4 \text{ kJ mol}^{-1}$   
d)  $\Delta U = 35,6 \text{ kJ}$
21.  $\Delta H = -485 \text{ kJ}$ ;  $\Delta U = -482 \text{ kJ}$
22.  $Q = 2,4 \text{ kJ g}^{-1}$







## 26 Koligativní vlastnosti

### A

1. Popište jevy:
  - ebullioskopický efekt
  - kryoskopický efekt
  - osmotický tlak

### B

1.  1 min  
Ke každému z uvedených jevů vymyslete alespoň jeden příklad, kde je v běžném životě možné se s tímto jevem setkat:
  - ebullioskopický efekt
  - kryoskopický efekt
  - osmotický tlak
2.  1 min  
Posuďte, zda je výrok správný. Svou odpověď zdůvodněte: Kryoskopické a ebullioskopické konstanty nabývají pro všechny látky stejných hodnot.
3.  1 min  
K čemu se používají následující metody?
  - ebullioskopie
  - kryoskopie
  - osmometrie
4.  2 min  
Srovnajte ebullioskopii a kryoskopii z hlediska citlivosti, finanční náročnosti a bezpečnosti použití.

HLEDISKO	METODA	
	Kryoskopie (K)	Ebullioskope (E)
citlivost		
finanční náročnost na vybavení		
zdravotní hledisko		

## C

**Potřebné vztahy****Velikost ebullioskopického efektu**

$$\Delta T_v = c_m K_E, \quad (26-1)$$

kde

$\Delta T_v$ ..... rozdíl teploty varu roztoku a teploty varu čistého rozpouštědla, kde  $\Delta T_v = T_v - T_v^*$

( $T_v$  – teplota varu roztoku a  $T_v^*$  – teplota varu čistého rozpouštědla)

$c_m$ ..... molální koncentrace rozpuštěné (netěkavé) látky v roztoku

$K_E$ ..... ebullioskopická konstanta (konstanta úměrnosti)

**Velikost kryoskopického efektu**

- vztah platný pro nedisociující látky

$$\Delta T_t = c_m K_K, \quad (26-2)$$

kde

$\Delta T_t$ ..... rozdíl teplot tuhnutí čistého rozpouštědla a roztoku, kde  $\Delta T_t = T_t^* - T_t$

( $T_t^*$  – teplota tuhnutí čistého rozpouštědla,  $T_t$  – teplota tuhnutí roztoku  
rozpuštěné (netěkavé) látky)

$K_K$ ..... kryoskopická konstanta (konstanta úměrnosti)

$c_m$ ..... molální koncentrace (rozpuštěné) netěkavé látky v roztoku

**Osmotický tlak - van't Hoffova rovnice**

Takto uvedený vztah platí pro nedisociující látky

$$\pi = RTc, \quad (26-3)$$

kde

$\pi$ ..... osmotický tlak (Pa)

$R$ ..... univerzální plynová konstanta ( $R = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ )

$T$ ..... termodynamická teplota roztoku (K)

$c$ ..... látková koncentrace všech složek roztoku, které neprocházejí polopropustnou membránou ( $\text{mol m}^{-3}$ )

**Řešené příklady:****1. C3b**

Přídavek 3,20 g síry do 1000 g sirouhlíku ( $K_E = 2,50 \text{ K kg mol}^{-1}$ ) měl za následek zvýšení bodu varu sirouhlíku o  $\Delta T = 0,031 \text{ K}$ .

- a) Určete molární hmotnost rozpuštěné síry,  
b) kterou modifikaci  $S_x$  se jedná?

Řešení:

- a) Kombinací vztahů (26-1) a (B8):

$$\Delta T_v = c_m K_E$$

$$c_m = \frac{n_i}{m}, \text{ vztaženo na 1 kg}$$

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow n_i = \frac{m_i}{M_i}$$

dostaneme vztah:  $\Delta T_v = \frac{m_i}{M_i m} K_E$ , indexem  $i$  je označena zkoumaná látka, tj. síra

$$\text{Ze vzorce vyjádříme molární hmotnost síry: } M(S_x) = \frac{m(S)}{m \Delta T_v} K_E$$

Dosadíme:

$$M(S_x) = \frac{3,2 \text{ g}}{1 \text{ kg} \cdot 0,031 \text{ K}} \cdot 2,5 \text{ K g mol}^{-1} \doteq \underline{\underline{258,064 \text{ g mol}^{-1}}}$$

Molární hmotnost rozpuštěné síry v sirouhlíku má hodnotu  $258,064 \text{ g mol}^{-1}$ .

- b) Pro molární hmotnost dané modifikace síry  $S_x$  platí:

$$M(S_x) = x \cdot M(S) \Rightarrow x = \frac{M(S_x)}{M(S)}$$

Číselně:

$$x = \frac{258,064 \text{ g mol}^{-1}}{32,06 \text{ g mol}^{-1}} \doteq 8$$

Jedná se o modifikaci  $S_8$ .



2. **C3b**

Jaký osmotický tlak bude mít roztok 4,00 g NaCl v 1,00 litru vody při teplotě 27,0 °C, je-li průměrná relativní molekulová hmotnost kuchyňské soli 58,443 g mol<sup>-1</sup>?

Řešení:

Kombinací vztahů (26-3), (B7) a (B3)

$$\pi = RTc$$

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

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

dostaneme vztah:


$$\pi = RT \frac{m}{MV}$$

Dosadíme:

$$\pi = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot (273,15 + 27) \text{ K} \cdot \frac{4 \text{ g}}{58,443 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,001 \text{ m}^3}$$

$$\pi \doteq 171000 \text{ Pa} \doteq \underline{\underline{171 \text{ kPa}}}$$

Roztok bude mít osmotický tlak 171 kPa.


**PŘÍKLADY K SAMOSTATNÉMU ŘEŠENÍ**1.  13 min; C3b

Roztok obsahuje 30,0 g sacharózy ve 200 g vody. Ebulioskopická konstanta vody je  $K_E(\text{H}_2\text{O}) = 0,52 \text{ }^\circ\text{C kg mol}^{-1}$  a kryoskopická konstanta vody má hodnotu  $K_K(\text{H}_2\text{O}) = 1,86 \text{ }^\circ\text{C kg mol}^{-1}$ .


- Vypočítejte bod tání roztoku.
- Vypočítejte bod varu roztoku.

2.  7 min; C3b

Kafr má kryoskopickou konstantu  $K_K(\text{kafr}) = 40,0 \text{ }^\circ\text{C kg mol}^{-1}$  a bod tání  $178,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Roztok 1,50 g netěkavé látky A v 35,0 g kafru taje při teplotě  $164,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vypočítejte relativní molekulovou hmotnost látky A.

3.  7 min; C3b

Kryoskopická konstanta vody je přibližně  $K_K = 2 \text{ K kg mol}^{-1}$ . Jaké látkové množství methanolu musíme minimálně přidat k 1 kg vody, aby se nevyloučil led při teplotách větších než  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ ?

4.  12 min; C3b

Vodný roztok obsahující v 1 litru 1,00 g insulinu má při teplotě  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  osmotický tlak 413,1 Pa.

- Vypočítejte relativní molekulovou hmotnost insulinu
- Vypočítejte bod tání tohoto roztoku [ $K(\text{H}_2\text{O}) = 1,86 \text{ }^\circ\text{C kg mol}^{-1}$ ]

**Výsledky****A**

1. kap. 26.1.1; 26.1.2; 26.1.3

**B**

- ebulioskopický efekt – solení polévky  
kryoskopický efekt – solení silnic v zimě  
osmotický tlak – bobtnání semen
- nesprávné – zjištěno z tabulek
- Všechny tři metody se používají ke stanovování molární hmotnosti rozpuštěné látky.

4.

HLEDISKO	METODA	
	Kryoskopie (K)	Ebulioskope (E)
citlivost	citlivější než (E)	méně citlivá než (K): - větší vliv atmosférického tlaku - větší nebezpečí tepelného poškození - častěji dochází k chemickým reakcím mezi rozpouštědlem a rozpuštěnou látkou
finanční náročnost na vybavení	dražší technické vybavení než u (E)	méně náročná než (K)
zdravotní hledisko	bezpečnější než (E)	nebezpečí vzniku škodlivých výparů

## C

- $T_t = -0,815 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $T_v = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $M_r = 125 \text{ g mol}^{-1}$
- $n = 5 \text{ mol}$
- $M_r = 6,0 \cdot 10^3$
  - $T_t = -3,1 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$

## Seznam použité literatury

- ATKINS, Peter; JONES, Loretta. *Chemical principles*. New York : Freeman, 2002. ISBN 0-7167-3923-2.
- BARTOVSKÁ, L., ŠIŠKOVÁ, M. *Co je co v povrchové a koloidní chemii*. [online]. 2005 [cit. 2009-02-21]. Dostupné z World Wide Web: <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/vant\\_hoffova\\_rovnice.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/vant_hoffova_rovnice.html)>.
- BROŽ, J., ROSKOVEC, V., VALOUCH, M. *Fyzikální a matematické tabulky*. Praha : SNTL. 1980.
- BYDŽOVSKÁ, J., MARINKOVÁ, H., SOUČKOVÁ, J. *Tvoříme vzdělávací program vyšší odborné školy* [online]. 17. října 2002 [cit. 2006-01-22]. Dostupné z World Wide Web: <[https://www.eco.cz/kraj/heslo\\_file/projekt\\_VOS.doc](https://www.eco.cz/kraj/heslo_file/projekt_VOS.doc)>.
- CÍDLOVÁ, H., MOKRÁ, Z., VALOVÁ B. *Obecná chemie*. 2006. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.is.muni.cz>>. Viz Studijní materiály předmětu PedF: CH2BP\_1P3P.
- HÁLA, Jiří. *Pomůcka ke studiu obecné chemie*. Brno : MU, 1991. ISBN 80-210-2175-6.
- CHRÁSKA, Miroslav. *Didaktické testy. Příručka pro učitele a studenty učitelství*. 1. vyd. Brno : Paido, 1999. ISBN 80-85931-68-0.
- Kapalina. *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. 7. ledna 2009 [cit. 2009-01-9]. Dostupné z World Wide Web: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kapalina>>.
- KLIKORKA, J., HÁJEK, B., VOTINSKÝ, J. *Obecná a anorganická chemie*. Praha : SNTL/ALFA, 1985.
- KLIMEŠOVÁ, Věra. *Základy obecné chemie pro farmaceuty*. 1. vyd. Praha : Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 2001. 164 s. ISBN 80-246-0393-4.
- KRÄTSMÁR-ŠMORVIČ, J. a kol. *Všeobecná chemia*. Bratislava : Univerzita Komenského v Bratislavě, 1990. 196 s. ISBN 80-223-0148-5.
- KUČERA, František. *Chemie pro FSI : 2. část* [online]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.fch.vutbr.cz/home/kucera-f/CH-FSI-II-04.pdf>>.
- LABÍK, S., BUREŠ, M., CHUCHVALEC, P., KOFOLA, J., NOVÁK, J., ŘEHÁK, K. *Příklady z fyzikální chemie online* [online]. [2006-11-15]. Dostupný z World Wide Web: <<http://www.vscht.cz/fch/prikladnik/prikladnik/p.html>>.
- LABÍK, S., BUREŠ, M., CHUCHVALEC, P., KOLAFKA, J., NOVÁK, J., ŘEHÁK, K. *Příklady z fyzikální chemie online* [online]. 10. prosince 2008 [cit. 2009-03-26]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.vscht.cz/fch/prikladnik/zkhtml/p.1.2.7.html#avpr>>.
- MARKO, M., HORVÁT, S., KANDRÁČ, J. *Příklady a úlohy z chemie*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1978. 317 s.
- MUSILOVÁ, E., PEŇÁZOVÁ, H. *Chemické názvosloví anorganických sloučenin*. 1. vyd. Brno : MU, 2000. 157 s. ISBN 80-210-2392-9.
- NEČASOVÁ, Marie. *Didaktické testy a jejich tvorba*. [online]. 10. března 2005 [cit. 2009-02-16]. Dostupné z World Wide Web: <<http://atrey.karlin.mff.cuni.cz/~teka/skola/didakticky+test.pdf>>.
- NOVOTNÝ, Petr. *Změny skupenství látek*. [online]. c2004-2009 [cit. 2009-03-26]. Dostupné z World Wide Web: <<http://fyzika.smoula.net/?show=mtf08>>.

- PASCHOVÁ, Kateřina. Diplomová práce. Brno. 2009.
- PIETROVITO, A., DAVIES, P. *Structures of Metals: Close Packing*. [online]. 2007 [cit. 2009-01-16]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.seas.upenn.edu/~chem101/sschem/metallicsolids.html>>.
- POLÁČEK, Miroslav. *Molekulová fyzika a termika*. [online]. 18 února 2001 [cit. 2009-03-10]. Dostupné z World Wide Web: <<http://radek.jandora.sweb.cz/f08.htm>>.
- PRACHAŘ, Jan a kol.: *Fyzikální korespondenční seminář XIX. ročník* [online]. [2005/2006]. Dostupný z WWW: <<http://fykos.troja.mff.cuni.cz/rocenky/rocenka19.pdf>>.
- REICHL, J., VŠETIČKA, M. *Anomálie vody*. [online]. c2006-2009 [cit. 2009-03-26]. Dostupné z World Wide Web: <<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=645>>.
- REICHL, J., VŠETIČKA, M. *Anomálie vody*. [online]. c2006-2009 [cit. 2009-03-26]. Dostupné z World Wide Web: <<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=655>>.
- Rotíci : 24. *Fázové rovnováhy*. [online]. [cit. 2009-03-26]. Dostupné z World Wide Web: <<http://dvpp.wz.cz/materialy/fazoverovnovahy.doc>>.
- RŮŽIČKA, A., TOUŽÍN, J.: *Problémy a příklady z obecné chemie. Názvosloví anorganických sloučenin*. 8. vyd., MU, Brno 2007. 150 stran, ISBN 978-80-210-4273-5.
- RŮŽIČKA, A., MEZNÍK, L., TOUŽÍN, J. *Problémy a příklady z obecné chemie, Názvosloví anorganických sloučenin*. 6. vyd., Brno : MU, 1998. ISBN 80-210-1389-3.
- ŠVEC, V., FILOVÁ, H., ŠIMONÍK, O. *Praktikum didaktických dovedností*. 1. vyd. Brno : Masarykova univerzita, 1996. ISBN 80-210-1365-6.
- ŠVIHELOVÁ, Petra. Bakalářská práce. Brno. 2007.
- VACÍK, Jiří. *Obecná chemie*. Praha : SPN, 1986.
- VACÍK, J., BARTHOVÁ, J., PACÁK, J., aj. *Přehled středoškolské chemie*. 2. vyd. Praha : SPN-pedagogické nakladatelství, 1999. ISBN 80-7235-108-7.