

1 Úvod

1.1 O této sbírce

1.1.1 Poděkování

Rád bych zde vyslovil dík a úctu památce zesnulého PaedDr. A. Vaňka, mého inspirátora a spoluautora sbírky úloh [9]. Tento text vznikl dodatečným přepracováním a rozšířením uvedené sbírky.

1.1.2 Komu je sbírka určena

Tato sbírka obsahuje 306 příkladů s podrobným řešením, většinou obecným i číselným. Je určena zejména budoucím učitelům fyziky na střední škole, ale snad dobře poslouží i jiným, zvláště pokud studují podle učebnice (lit. [4]), na kterou odkazujeme takto:

{Úvod 5.4.6} značí v ní kapitolu 5.4.6;

{Úvod r. 5.48} značí v ní rovnici 5.48.

Na ostatní literaturu (na konci knihy) odkazujeme obvykle, např. [ISO] nebo [1].

V dodatku **B Tabulky** jsou uvedeny všechny v textu vyžadované a použité hodnoty; čtenář tedy nepotřebuje jiné zdroje. Hodnoty fyzikálních veličin byly převzaty jednak z CODATA 2010, jednak z velmi rozšířených tabulek [FMt], s laskavým souhlasem jejich autorů, a dalších pramenů uvedených v literatuře.

Údaje z různých zdrojů se ovšem mohou mírně lišit; např. již materiálové konstanty bývají zadávány při 0 °C, 15 °C či 20 °C. Rozdíl však jednak nebývá významný, jednak může být snadno „vystopován“ v numerické části řešení.

1.1.3 O úlohách

Všechny úlohy jsou vyřešeny; řešení jsou uvedena s postupem nejprve obecným, poté s konkrétními hodnotami podle tabulek. Protože v době kalkulaček s pamětí (nemluvě o počítačích) není počet cifer technickou překážkou, byly všechny výpočty prováděny na 6 platných cifer; výsledek je zaokrouhlen s ohledem jednak na reálnou přesnost vstupních dat, jednak i na formulaci úlohy a zjednodušení zavedená při postupu. Značíme dle normy číselnou hodnotu $\{Q\}$ veličiny Q a její jednotku $[Q]$.

Některé úlohy, např. v odstavci **2.1 Definice, ilustrace** nejsou míněny ani tak pro úplné samostatné řešení, ale spíše ilustrují základní pojmy a poskytují číselné odhady termodynamických veličin v obvyklých situacích. Proto jejich řešení následují přímo za úlohou. Podobně je tomu s úlohami teoretického charakteru, např. v kap. 5.3, 6.2, 10.1 apod.

Ostatní úlohy jsou obvyklého typu; očekávám, že průměrný čtenář bude schopen řešit většinu úloh zcela samostatně. Jejich řešení jsou uvedena na konci sbírky v samostatné části **A Řešení**, a to v přeházeném pořadí, aby čtenář nebyl nucen při kontrole výsledku vidět hned i řešení následujícího příkladu. Příklady i řešení jsou pochopitelně oboustranně propojeny odkazy. Je to reminiscence na projekty z doby „předpočítačové“, jako byla „zmatená kniha“ s přeházenými stránkami a volbou postupu podle čtenářových odpovědí na kontrolní otázku, či „doplňovací text“ v příkl. 8.1.1 a dále, vybízející čtenáře k aktivní spolupráci.

Většina úloh ilustruje konkrétní problematiku, kterou rozebírá {Úvod} [4], některé doplňují to, co bylo řečeno jen obecně (vedení tepla), nebo uvádějí látku, kterou se {Úvod} nezabývá, ale která se v praxi vyskytuje, a proto byla vyložena zde na místě (modely atmosféry, problematika číselných výpočtů a aproximací). Další úlohy procvičují jistou potřebnou rutinu (vztahy mezi termodynamickými veličinami, totální diferenciály).

Úlohy byly původně koncipovány pro budoucí učitele SŠ, a proto se snažily předjímat, s čím vším by se mohl učitel opravdu ve své pedagogické praxi setkat, a to v celé šíři, včetně záměrné nepřesnosti zadání. Hleděl jsem se vyhnout návodným formulacím, kde jsou uvedeny číselné hodnoty a rozměry všech potřebných veličin (a žádných jiných!), takže je stačí jen bezmyšlenkovitě vynásobit či vydělit v takové kombinaci, která (jediná) dává výsledek se správným rozměrem; na úlohy tohoto typu však učitel ve své praxi opravdu nenarazí jinde než právě ve sbírkách úloh. Proto také až na výjimečné případy neuvádím materiálové konstanty v textu úlohy. Často dokonce neuvádím či neupřesňuji ani informace podstatné, ale z kontextu plynoucí (typu „za pokojové teploty a atmosférického tlaku“). Naopak v zadání podmínek jsou občas uvedeny i veličiny, na nichž konečný výsledek nezávisí. Mám za to, že nedílnou částí fyzikální erudice je také schopnost uvážít, co vše pro danou úlohu je třeba znát, odhadnout, které vlivy budou už vzhledem k formulaci úlohy zanedbatelné a které naopak rozhodující.

Některé úlohy jsou záměrně zadány volně, „ze života“, některé i s jinými jednotkami než SI. Učitel si musí umět poradit jak s nejasně formulovanými dotazy žáků, tak i s tlakem krve udaným v mm Hg nebo s tlakem vzduchu vně letadla v psi a jeho teplotou ve stupních Fahrenheita. Tomu je také věnován poslední odstavec této úvodní kapitoly.

Snažil jsem se pečlivě dodržet terminologii a zvyklosti doporučené mezinárodními normami, viz [ISO] a [IEV].

Uvítám všechny kritické připomínky na své adrese

jan.obdrzalek@mff.cuni.cz

1.2 Označení

V celém textu užíváme v obvyklém smyslu následující značky (není-li zcela výjimečně uvedeno jinak):

C_p tepelná kapacita (za stálého tlaku)	μ chemický potenciál
$c_p = \frac{C_p}{m}$ měrná tepelná kapacita (za st. tlaku)	p tlak
C_V tepelná kapacita (za stálého objemu)	Q teplo dodané systému
$c_V = \frac{C_V}{m}$ měrná tepelná kapacita (za st. objemu)	$Q' = -Q$ teplo odebrané systému
F Helmholtzova energie (volná energie)	R plynová konstanta (molární)
G Gibbsova energie	S soustava
H entalpie	S stav soustavy
κ exponent adiabaty ideálního plynu ($pV^\kappa = \text{konst}$)	S entropie; rovněž
L litr	S plošný obsah
M molární hmotnost	T teplota
M_r relativní molekulová hmotnost, „molekulová váha“	U vnitřní energie
m hmotnost systému	V objem
$N = nN_A$ počet molekul	W práce dodaná systému
N_A Avogadrova konstanta	$W' = -W$ práce vykonaná systémem
n látkové množství, („počet molů“)	

Index $_m$ značí vždy příslušnou molární veličinu, např. V_m molární objem, tedy objem 1 mol látky. Podobně C_{V_m} , C_{p_m} jsou příslušné molární tepelné kapacity.

Molární plynová konstanta se značí jen R , bez indexu. Molární hmotnost se místo m_m značí M .

Relativní molekulová hmotnost M_r se dříve nazývala „molekulová váha“; např. $M_{rN_2} \approx 28$. Připomeňme, že starý název molu byl „grammolekula“, a byl tedy vztážen na gram, nikoli kilogram, a konečně že M_r je bezrozměrová veličina a s molární hmotností M je spjata vztahem

$$M = M_r \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

Otevřené a uzavřené intervaly značíme dle normy [ISO] tzv. „francouzským“ způsobem pomocí hranatých závorek, tedy

$[0, 1]$	pro	$0 \leq x \leq 1$,
$[0, 1[$	pro	$0 \leq x < 1$,
$]0, 1]$	pro	$0 < x \leq 1$,
$]0, 1[$	pro	$0 < x < 1$ apod.

1.3 Jednotky mimo SI

„Kapitolou samou pro sebe“ jsou jednotky mimo soustavu SI. V praxi jsou to hlavně míry a váhy z anglosaské oblasti, se kterými se běžně setkáme v cizích

učebnicích, návodech apod.: palec, unce, libra, °F. Zvláště půvabné jsou pak jejich kombinace, jako tlak v librách na čtvereční palec, případně roztažnosti vztažené na °F. Ale i u nás se užívají v lékařství mmHg, v technice atm; tu a tam zbyl i nějaký ten Torr, cal, bar, u aut někdy i HP. Učitel jich sice nebude zbytečně používat, ale poradit si s nimi musí umět. Snad pomůže několik rad a tabulek.

- Provádějme vždy výpočty nejprve obecně, bez dosazování konkrétních hodnot. Dost často se některé veličiny vykrátí či vyruší a ušetříme si zbytečné převody a zaokrouhlovací chyby.
- Rozdíl dvou teplot zadaných jednou v K a podruhé ve °C je týž. Není tedy nutno převádět °C na K tam, kde se vyskytuje pouze rozdíl teplot.
- Podobně při podílu dvou veličin ve stejných jednotkách (libry, palce, ...); můžeme pracovat bez převodu jednotek; podíl (bezrozměrový) bude týž.
- Toto pravidlo o podílu však *neplatí* pro teplotu – proč¹? Pozor zejména na °F, ty budeme převádět na °C nebo K asi vždy. Jedině podíl dvou údajů v °R (stupních Rankina, nikoli °Re stupních Réaumura!) by byl týž jako podíl v K, ale těžko se s ním v praxi setkáme.

Platí následující vztahy: jsou-li T_F , T_C , T_K číselné hodnoty téže teploty $\{T\}$, to jest, jestliže $T = T_F \text{ °F} = T_C \text{ °C} = T_K \text{ K}$, pak

$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32) \quad ; \quad T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 \quad ; \quad T_K = T_C + 273,15 \quad .$$

Při častější práci s Fahrenheitovou stupnicí se vyplatí zapamatovat si následující hodnoty teplot:

$$-40 \text{ °C} = -40 \text{ °F} \quad ; \quad 0 \text{ °C} = 32 \text{ °F} \quad ; \quad 100 \text{ °C} = 212 \text{ °F} \quad .$$

Jména a hodnoty nejčastějších jednotek mimo SI

britské:

čes.	angl.	značka	definice (hodnota)	obrácený převod
libra	pound	lb	1 lb = 0,4536 kg	1 kg \approx 2,2046 lb
unce	ounce	oz	1 oz = $\frac{1}{16}$ lb \approx 28,35 g	1 kg \approx 35,273 oz
palec, coul	inch	in;”	1 in = 25,4 mm	1 m \approx 39,37”

technické:

kilopond	kp	1 kp = 9,80665 N (tedy tíha 1 kg závaží)
----------	----	--

¹Různé teplotní stupnice nemají společnou nulu, takže údaje v nich jsou sice lineárně závislé, nikoli však přímou úměrou.

Poznamenejme, že neohledně na historii jsou nyní i v anglofonním světě britské jednotky definovány nikoli přímo, ale odvozeny z jednotek SI převodem s dohodnutým činitelem převodu.

Tlak V anglosaském systému se tlak udává v psi (pound per squared inch). Převodní vztah je $1 \text{ psi} \approx 6894,757 \text{ Pa}$. Je zcela běžný např. mezi piloty v aeronavigaci.

Řada historických jednotek je vázána na atmosférický tlak. Tzv. normální atmosférický tlak odpovídá hydrostatickému tlaku rtuťového² sloupce výšky 760 mm v Torricelliho trubici. Dříve se nazýval též „fyzikální atmosféra“ atm. Pro stručnost ho užíváme často i v zadání běžných úloh. Užívalo se i následujících označení a jednotek:

$$1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa} = 1,013\,25 \text{ bar} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ Torr} \approx 1,033\,23 \text{ at} .$$

Názvy (a značky) uvedených jednotek:

- fyzikální atmosféra (atm);
- pascal (Pa)
- bar (bar) – zpravidla milibar (mbar),
- milimetr rtuťového sloupce (mmHg)
- torr (Torr), podle Torricelliho
- technická atmosféra (at);

Tzv. technická atmosféra, at, byla rovna tlaku tíhy 1 kg závaží na 1 cm^2 při normálním zrychlení $g = 9,806\,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Pro ni platí

$$1 \text{ at} = 98\,066,5 \text{ Pa} \approx 0,967\,84 \text{ atm} \approx 735,559 \text{ mmHg} .$$

Rozdíl tří procent byl v praxi často zanedbatelný a hovořilo se pak prostě o atmosféře.

Zkratka atü označuje přetlak (Überdruck) oproti standardnímu atmosférickému tlaku, např. v pneumatikách.

²Podle toho také byla (z hustoty rtuti a dohodnutého tíhového zrychlení $g = 9,806\,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) stanovena hodnota normálního tlaku ($101\,325 \text{ Pa}$).

Energie Pro měření tepla se dlouho užívaly jednotky (a značky)

- kalorie (cal), odvozená z tepelných vlastností vody, a
- velká kalorie (Cal), kde $1 \text{ Cal} = 1000 \text{ cal} = 1 \text{ kcal}$.

Kvůli teplotní závislosti $C_p(T)$ u vody vzniklo časem více jednotek:

- Patnáctistupňová kalorie: cal_{15} byla množstvím tepla, potřebným k zahřátí 1 g vody z $14,5^\circ\text{C}$ na $15,5^\circ\text{C}$; převádíme ji vztahem $1 \text{ cal}_{15} = 4,1855 \text{ J}$.
- Mezinárodní kalorie: $1 \text{ cal}_{\text{IT}} = 4,1868 \text{ J} = 3,9683 \cdot 10^{-3} \text{ BTU}$
- Termochemická kalorie: $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$.

Pro běžnou práci s tepelnou kapacitou vody se dobře pamatují vztahy

$$1 \text{ cal} \approx 4,2 \text{ J}; \quad 1 \text{ J} \approx 0,24 \text{ cal.}$$

V anglosaském systému se užívá BTU (British Thermal Unit) o velikosti

$$1 \text{ BTU} \approx 1055,056 \text{ J.}$$

(Zhruba tedy $1 \text{ BTU} \approx 1 \text{ kJ}$.)

Další jednotky pro energii a výkon byly

- $1 \text{ cm}^3 \cdot \text{atm} = 0,101325 \text{ J}$;
- litr-atmosféra, $1 \text{ L} \cdot \text{at} = 98,0665 \text{ J}$;
- koňská síla (horse power), $1 \text{ HP} = 745,700 \text{ W}$.