

FYZIKÁLNÍ SEKCE

Přírodovědecká fakulta Masarykovy university v Brně

SOUTĚŽNÍ KORESPONDENČNÍ SEMINÁŘ Z FYZIKY 1995/1996

Třetí série úloh — 1. kategorie

(25 bodů)

Velmi širokou kategorii jevů, které nás v každodenním životě obklopují tak bezprostředně, že je lze bez velké nadsázky mnohdy považovat pro náš způsob života za rozhodující, představují tzv. *jevy tepelné*. Umíme si je však vždy vysvětlit? K odpovědi na tuto otázku se můžete přiblížit vyřešením dnešní, třetí, série úloh letošního ročníku fyzikální korespondenční soutěže.

ÚLOHA č.1 (3 body)

Teplota a teplotní stupnice

- (a) Pojem *teploty* je pro nás díky každodennímu užívání tak běžný, že nikdo z nás jistě nemá pochybnost o vlastním správném pochopení jeho významu. Tento dojem je však poněkud ošidný. Definice teploty jako fyzikální veličiny patří totiž k nejobtížnějším a ani v rámci naší soutěže se o ni nebudeme pokoušet. Pokuste se však tuto fyzikální veličinu na základě vhodně zvolených jevů nebo experimentů alespoň charakterizovat, tj. popsat vlastnosti pro ni typické.
- (b) Pro kvantitativní vyjádření teploty v běžném životě používáme Celsiovy teplotní stupnice. Není však stupnicí jedinou. Například ve Spojených státech není Celsiova stupnice tak výrazně preferována, jako u nás. Také pro vyjádření řady fyzikálních zákonitostí z oblasti tepelných jevů není nejvhodnější. Jmenujte alespoň dvě další teplotní stupnice a porovnejte je se stupnicí Celsiovou. Zakreslete všechny stupnice jako části číselné osy a vyznačte na nich důležité teplotní údaje, z nichž jsou stupnice odvozeny. Pokud se vám podaří zjistit o teplotních stupnicích nějaké historické údaje, rovněž je uveďte.

ÚLOHA č.2 (7 bodů)

Teplotní roztažnost

Mnohým z vás jistě utkvěla v paměti jedna z "pouček", s nimiž jste se setkali na základní škole: "*Všechna tělesa se zahříváním roztahují a ochlazováním smršťují*". Toto tvrzení je, až na výjimky, pravdivé a platí nejen pro pevné látky, ale i pro kapaliny a plyny. Mechanismus tohoto jevu, zvaného *délková* či *objemová teplotní roztažnost*, je ovšem u každého skupenství jiný, neboť souvisí s mikroskopickou stavbou, tj. se způsobem, jakým je látka vytvořena ze základních stavebních částic — atomů a molekul.

- Podrobný kvantitativní výklad teplotní roztažnosti vycházející z mikroskopické představy o látce není jednoduchý. Pokuste se však vytipovat ty charakteristické vlastnosti stavby látek jednotlivých skupenství, které jsou pro výklad teplotní roztažnosti podstatné a kvalitativně ji vysvětlit.
- Uveďte alespoň dva příklady situací, v nichž lze teplotní roztažnosti využít k praktickým účelům a dva příklady situací, kdy může být teplotní roztažnost nežádoucím jevem.
- Uveďte příklad látky, která se vymyká základní poučce o "roztahování těles při zahřívání", tj. látky jejíž objem se (v určitém teplotním intervalu) při zvyšování teploty zmenšuje a při jejím poklesu roste.
- Za předpokladu, že změny teploty tělesa ΔT vůči dané základní teplotě T_0 (například pokojové) nejsou příliš velké, je možné délkovou a objemovou teplotní roztažnost popsat lineárními vztahy:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \Delta T \quad \text{resp.} \quad \frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta T$$

kde Δl resp. ΔV je změna délky resp. objemu vyvolaná změnou teploty ΔT , l_0 resp. V_0 je délka resp. objem tělesa při teplotě T_0 a α, β jsou konstanty, zvané *koefficient délkové* resp. *objemové teplotní roztažnosti*. (Tyto vztahy vyjadřují skutečnost, že relativní změna délky a objemu je přímo úměrná změně teploty tělesa.) Řešte následující úlohy:

- Vyjádřete závislost délky l a objemu V na teplotě $T = T_0 + \Delta T$. Jak velká může být změna teploty, aby změna délky resp. objemu nečinila více než 1 % původní délky či objemu? Ukažte, že v případě splnění této podmínky je přibližně $\beta = 3\alpha$ (tento vztah platí obecně pro těleso libovolného tvaru, můžete jej však dokázat například pro kvádr).
- Hliníkový a měděný pásek, které mají při teplotě $T_0 = 20^\circ\text{C}$ stejnou délku $l = 20\text{ cm}$, šířku $a = 1,0\text{ cm}$ a tloušťku $d = 1,8\text{ mm}$ jsou spojeny podél největší stěny a vytvářejí tzv. bimetalický proužek. Koefficient délkové teplotní roztažnosti hliníku je $2,4 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$ a mědi $1,8 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$. Při zvýšení teploty o $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ dojde vlivem rozdílné teplotní roztažnosti k zakřivení proužku do tvaru kruhového oblouku. Vypočtěte jeho poloměr křivosti R .

- Dva experimentátoři, A a B , provádějí pokus, při němž mají k dispozici kovový prstenec a kouli ze stejného materiálu, vyrobené tak, že při pokojové teplotě T_0 koule těsně projde otvorem v prstenci.

První experiment, který provedou, je nejjednodušší. Zahřejí při něm kouli nad plamenem na vysokou teplotu a zjistí, že zahřátá koule chladným prstencem neprojde. Při vysvětlení pokusu se samozřejmě shodnou na názoru, že výsledek je způsoben teplotní roztažností koule.

Druhý pokus spočívá naopak v zahřátí prstence, zatímco teplota koule zůstává na hodnotě T_0 . Jejich předpovědi výsledku pokusu jsou následující:

A : "Prstenec se zahřátím roztáhne, takže otvor v něm se zvětší a koule projde ještě s rezervou."

B : "Nemáš pravdu, neboť prstenec se roztáhne i do šířky a tím dojde naopak ke zmenšení otvoru, koule tedy neprojde."

Rozhodněte, kdo má pravdu a předpovězte a vysvětlete i výsledek třetího pokusu, při kterém experimentátoři zahřejí na stejnou teplotu jak kouli, tak prstenec. Svůj výklad podložte jednoduchým výpočtem.

ÚLOHA č.3 (7 bodů)

Tepelná kapacita, teplotní rovnováha a skupenské přeměny

Ze zkušenosti víme, že při dodání stejného množství tepla ΔQ dvěma tělesům stejné hmotnosti vyrobeným z různých materiálů jsou přírůstky jejich teplot ΔT_1 a ΔT_2 různé. Veličinou, charakterizující pro dané těleso "spotřebu tepla" při změnách jeho teploty je tzv. *tepelná kapacita*. Uvažujme nejjednodušší případ, kdy změny teploty nejsou příliš velké a teplo ΔQ , potřebné k tomu, aby teplota tělesa pevného, kapalného nebo plynného vzrostla z hodnoty T_0 na $T_0 + \Delta T$ je nezávislé na výchozí teplotě T_0 . Za tohoto předpokladu budou při dodání tepla $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots$ odpovídající změny teploty $\Delta T_1, \Delta T_2, \dots$ takové, že podíly $\frac{\Delta Q_1}{\Delta T_1}, \frac{\Delta Q_2}{\Delta T_2}, \dots$ mají stejnou hodnotu a definují *tepelnou kapacitu tělesa C* , tj. $C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$. Je-li m hmotnost tělesa, pak veličina $c = \frac{\Delta Q}{m \Delta T}$ představuje *měrnou tepelnou kapacitu tělesa*, která je charakteristikou látky, již je těleso tvořeno.

Ze zkušenosti rovněž vyplývá, že nezbytnou podmínkou změny skupenství látky je dodání nebo odebrání jistého množství tepla L . Podíl $l = \frac{L}{m}$ se nazývá *měrné skupenské teplo tání a tuhnutí* resp. *vypařování a kondenzace*. Víme, že změna skupenství dané látky probíhá při daném tlaku za zcela určité teploty, při níž mohou existovat obě skupenství (fáze) současně. Tato teplota se během změny skupenství (*fázového přechodu*) nemění, přestože dochází k výměně tepla mezi látkou a jejím okolím.

Řešte následující úkoly:

- (a) Skleněnou nádobu hmotnosti 0,2 kg obsahující 0,8 kg ledové tříště, jsme vyjmuli z mrazničky, kde byla teplota $T_1 = -20^\circ\text{C}$. Od tohoto okamžiku soustava *nádoba + led* přijímá každou sekundu teplo $Q = 140$ J. Nakreslete graf závislosti teploty soustavy na čase od začátku zahřívání do okamžiku, kdy bude nádoba prázdná. Jak by se změnil vzhled grafu, kdyby hmotnost nádoby byla zanedbatelná vzhledem k hmotnosti jejího obsahu? Lze tento předpoklad splnit v průběhu celého pokusu?
- (b) Skleněná nádoba o hmotnosti M_1 obsahuje ledovou tříšť o hmotnosti m_1 , rovnovážná teplota soustavy je T_1 . Jiná skleněná nádobka, jejíž hmotnost je M_2 , je naplněna vodou o hmotnosti m_2 a zahřáta na teplotu T_2 . Nádobku s vodou uložíme do ledové tříště a takto vzniklou soustavu ponecháme jejímu osudu. S ohledem na hodnoty $M_1, M_2, m_1, m_2, T_1, T_2$ diskutujte všechny možnosti výsledného rovnovážného stavu. Číselně vyřešte úlohu pro hodnoty $M_1 = 0,2$ kg, $M_2 = 0,1$ kg, $m_1 = 1,5$ kg, $m_2 = 0,8$ kg, $T_1 = -20^\circ\text{C}$, $T_2 = 90^\circ\text{C}$. Hodnoty měrných tepelných kapacit a měrných skupenských tepel potřebné při řešení úloh (a) a (b) vyhledejte v tabulkách. Budou-li tabelované údaje závislé na teplotě, nahraďte je vhodně zvolenými středními hodnotami.
- (c) V úloze (a) jsme rozebírali případ, kdy soustavě bylo za každou časovou jednotku dodáváno totéž množství tepla. Uvažme nyní situaci, kdy těleso zahřáté na vysokou teplotu je vloženo do prostředí s teplotou nižší (např. do místnosti, v níž je pokojová teplota). Těleso chladne tak dlouho, dokud se jeho teplota nevyrovná s teplotou okolí.
- Je v této situaci rovněž realistický předpoklad, že těleso odevzdává svému okolí každou sekundu stejné množství tepla? Zdůvodněte.

- Jeden z modelů, vystihující chladnutí tělesa v průběhu času alespoň přibližně, je popsán tzv. *Newtonovým ochlazovacím zákonem*: Změna rozdílu mezi teplotou tělesa a okolí za jednotku času je úměrná okamžité hodnotě tohoto rozdílu. Označte T teplotu tělesa v čase t , $T(0)$ její hodnotu na počátku experimentu, tj. v čase $t = 0$, T_0 teplotu okolí, kterou považujeme za stálou (je to možné?), $\Theta = T - T_0$ okamžitou hodnotu rozdílu teplot mezi tělesem a okolím, $\Delta\Theta$ změnu tohoto rozdílu za dobu Δt . Zapište Newtonův ochlazovací zákon matematicky a určete znaménko konstanty úměrnosti K a její jednotku v soustavě SI.
- *Předpokládejte, že $T_0 = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $T(0) = 160\text{ }^\circ\text{C}$, $|K| = 2 \cdot 10^{-3}[\text{SI}]$. Mimo soutěž se pokuste navrhnout numerický postup, jak zjistit závislost okamžité teploty tělesa T na čase. Nakreslete graf této závislosti a určete, za jak dlouho klesne teplotní rozdíl mezi tělesem a okolím na polovinu původní hodnoty a za jak dlouho dojde k poklesu teploty tělesa na teplotu okolí. Je výsledek realistický? Zdůvodněte odpověď a v případě, že je záporná, se pokuste odhalit příčinu nedostatku.*

ÚLOHA č.4 (8 bodů)

Tepelné jevy kolem nás

Podejte vysvětlení následujících jevů, s nimiž se setkáváme nebo můžeme setkat v praktických situacích.

- Proč snášíme mráz za bezvětří mnohem lépe než při větrném počasí, je-li teplota vzduchu v obou případech stejná? Proč je nám v parném létě příjemněji, vane-li alespoň vánek?
- Za jakých okolností může vanoucí vítr pocit horka naopak zvyšovat? Jak je možné tomuto nepříjemnému pocitu zabránit?
- Pokusy ukázaly, že lidský organismus je schopen udržet si tělesnou teplotu $37\text{ }^\circ\text{C}$ i při velmi vysokých teplotách okolí (při pozvolném zahřívání sneseme i vyšší teplotu než je bod varu vody). Jak je to možné a jaké podmínky při tom musí být splněny? Je jedno, zda jsme vystaveni téže vysoké teplotě v našich klimatických podmínkách, na poušti nebo v tropickém pralese (v parní lázni nebo v sauně)?
- Mohl by barometr sloužit i jako teploměr?
- Je známo, že při hoření vzniká kysličník uhličitý a volná pára, tj. látky, které jsou nehořlavé a ani hoření nepodporují. Jak je možné, že tyto látky nezpůsobí okamžité uhašení každého plamene?
- Proč lze vodou uhasit oheň?
- Do nádoby s vodou, která je udržována ve varu, vložíme další nádobu s vodou tak, aby se její stěny nikde nedotýkaly vnější nádoby. Podaří se tímto způsobem uvést do varu vodu také ve vnitřní nádobě? Zdůvodněte. Pokus můžete i provést.

- Uvažujte o následujícím pokusu: Zkumavku, do poloviny naplněnou vroucí vodou, zazátkujeme a obrátíme dnem vzhůru. Jakmile var ustane, prudce zkumavku zchladíme např. proudem studené vody. Co budeme pozorovat? Vysvětlete.
- Může se stát, že se syrové slepičí vejce vložené do vroucí vody ani po sebedelší době neuvaří? Pokud ano, za jakých podmínek?
- Potřebujeme co nejrychleji ochladit obsah nádoby. K dispozici máme led. Postavíme nádobu na led nebo položíme led na pokličku? Proč?

ÚLOHA č.5 — prémiová

Záhadný mlýnek

”Záhadný mlýnek”, o němž bude řeč, je znám pod názvem *Crookesův radiometr* a mohl by být nazván ”kolem na světelný pohon”. Jedná se o skleněnou baňku, z níž je odčerpán vzduch tak, že se zbytkový tlak pohybuje kolem hodnoty pouhého 1 Pa. Na dobře vycentrované osce vedené středem baňky je umístěna malá ”vrtulka” se čtyřmi lopatkami, která se může otáčet díky silnému zředění okolního plynu prakticky bez odporu. Miniaturní lopatkové kolo je zvláštní tím, že jedna strana lopatek je zrcadlově lesklá a druhá matná (začerněná). Provedeme následující pokus, složený ze dvou fází:

- (1) V blízkosti baňky radiometru rozsvítíme silnou žárovku. Pozorujeme roztočení vrtulky. Při posunutí žárovky do větší blízkosti radiometru se úhlová rychlost vrtulky zvyšuje, při oddálení klesá.
- (2) Žárovku vypneme. I když díky malému odporu prostředí rotuje vrtulka setrvačností ještě poměrně dlouho, přece jen se po čase zastaví. Poté však následuje nečekaný úkaz. Vrtulka se znovu roztočí, tentokrát opačným směrem, i když zdaleka ne tak rychle jako vlivem osvětlení v první části pokusu.

Rozhodněte, kterým směrem se začne vrtulka stáčet v první části pokusu a obě fáze daného jevu vysvětlete.