

## Závěr

Experimenty demonstrující tepelnou a teplotní vodivost látek jsou velmi efektní při výuce fyziky a často dávají obecně nečekané a překvapivé výsledky. Přehled běžně provozovaných demonstrací tepelné vodivosti jsme doplnili o nový interaktivní exponát ukazující názorně na vlastní zkušenosti rozdílnost teplotní vodivosti dobře a špatně tepelně vodivých látek jako jsou kov, žula a dřevo, plasty.

## Poděkování

Autoři děkují za podporu grantu SGS FP-TUL 19/2012.

## Literatura

- [1] A. V. Bjalko: Těplo tvojich ruk, Kvant (1987) č. 4, s. 3-7 (rusky).

# Úlohy z termiky pro fyzikální olympioniky

PAVEL KABRHEL – IVO VOLF

ÚK FO, Univerzita Hradec Králové

Tematický celek Termika je součástí výuky fyziky jednak na základní škole, jednak na střední škole. V obou případech vychází z reálných představ žáků, ale výklad i následně řešení problémů je opřeno o dva základní pojmy, jejichž vysvětlení je poměrně nesnadné. Prvním pojmem je *teplota*. Patří mezi základní fyzikální veličiny v Mezinárodní soustavě jednotek (s jednotkou  $^{\circ}\text{C}$  zejména na základním stupni vzdělávání a s jednotkou K, popř.  $^{\circ}\text{C}$  na školách středních). Představu o veličině teplota vytváříme postupně od subjektivních vjemů až po vyjádření toho, že se změnami teploty dochází ke změně dalších fyzikálních veličin, jež jsou měřitelné a jež nám pomohou při měření teploty.

Dalším pojmem je *teplo*, které vystupovalo před 250 lety ve fyzikálních vědách jako „kalorikum“, tedy fluidum „bez tíhy, barvy a zápachu“, jehož zavedení však umožnilo vytvořit tzv. kalorimetrickou „směšovací“ rovnici, kterou používáme dodnes. Jako motivace i procvičení pak slouží základní úlohy, které vedou ke stanovení výsledné teploty  $t$  poté, co se dostanou do dokonalého tepelného kontaktu dvě tělesa, z nichž jedno o hmotnosti  $m_1$  a teplotě  $t_1$  je popsáno měrnou tepelnou kapacitou  $c_1$  a druhé těleso o hmotnosti  $m_2$  a teplotě  $t_2 > t_1$ , psáno měrnou tepelnou kapacitou  $c_2$ . Použitá forma kalorimetrické rovnice je

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

Odtud potom určíme výslednou teplotu  $t$

$$t = \frac{m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}.$$

Kromě toho nám kalorimetrická rovnice umožňuje stanovit jednak teplotu tělesa před procesem „směšování“, známe-li výchozí teplotu některého ze dvou těles a dosaženou výslednou teplotu, jednak určení měrné tepelné kapacity jedné z látek, dokonce i výpočet hmotnosti jednoho z uvedených těles, jejichž hmotnosti se vyskytují v kalorimetrické rovnici. Další možnost je v tom, že kromě výměny tepla můžeme v kalorimetrické rovnici najít i takové případy, kdy musíme vzít v úvahu i změny skupenství (tedy fázové přeměny). Tato problematika se spíše týká učiva středoškolského, kde uvádíme kvantitativní informace.

Fyzikální olympiáda na úrovni základního vzdělávání (tedy na základních školách a víceletých gymnáziích) vyžaduje, aby soutěžícím byly předkládány zajímavé, na základě jejich dosažených vědomostí a dovedností přiměřené, ale taky dostatečně náročné úlohy, kterými většinou nemohou být standardní úlohy z běžné výuky. Proto hledáme úlohy, jež těmto podmínkám vyhovují. U středoškolského vzdělávání pak úlohy tohoto typu a zaměření mohou uspokojit náročnější žáky, kteří se vyrovnají se základní úrovní a mají požadavky na řešení náročnějších problémů. V dalších odstavcích několik takových úloh předvedeme. Problémy v nich obsažené jsou takového rázu, že mohou naznačit: fyzika je opravdu kolem nás, jen ji musíme rozpoznat a zachytit.

## Problém 1: Rychlovarná konvice



Při přípravě ranní kávy pro rodinu potřebujeme 1,2 litru vody o teplotě 95 °C. K ohřátí vody použijeme tzv. rychlovarnou konvici, na jejímž štítku je údaj o elektrickém příkonu (popř. o tepelném výkonu) konvice 1 800 W až 2 200 W. Protože dochází při zahřívání vody k tepelným ztrátám, odhadneme tepelnou účinnost konvice na 85 %. Když vodu nalijeme do konvice, ustálí se její teplota na hodnotě 15 °C. Stanovte, zda je možno horkou vodu získat do 5,0 min od zapnutí konvice.

*Poznámky k vytvoření modelové situace:* Při zahřívání vody v konvici o příslušný teplotní rozdíl využijeme vztahu pro výpočet tepla,  $Q = mc\Delta t$ . Teplo získáme na základě tepelných účinků elektrického proudu,  $Q = P\tau$ , kde  $\tau$  je doba, potřebná pro ohřátí vody na příslušnou teplotu. Na ohřívání vody však využijeme v rychlovarné konvici jen  $\eta = 85 \%$ .

*Řešení:* Napíšeme rovnici pro výměnu tepla:

$$P_0\eta\tau = mc\Delta t$$

Získaná hodnota po dosazení  $c = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a střední hodnoty možného výkonu (příkonu) 2 000 W je  $\tau = 237 \text{ s}$ , tedy o něco méně než 4 min.

## Problém 2: Ověření výpočtu

Situaci uvedenou v minulém problému si dovedeme nejen názorně představit, ale můžeme si ověřit, zda údaj, k němuž jsme došli, je reálný. Naplňte konvici vodou o objemu 1,2 litru, předpokládejme, že teplota vody tekoucí z vodovodu je opravdu 15 °C a že se rychlovarná konvice sama vypne při dosažení teploty o něco nižší než je teplota varu vody, tedy 95 °C. Určete potom, jaká je přibližně účinnost konvice.

*Poznámky k vytvoření modelové situace:* Stanovíme teoretickým výpočtem dobu, za níž by se voda na uvedenou teplotu ohřála bez ztrát tepla, a potom změříme reálnou dobu ohřívání vody, po níž se konvice sama vypne. Podíl těchto dvou údajů nás dovede k reálnější hodnotě účinnosti.

*Řešení:* Vyjdeme z údaje výkonu 2 000 W. Teoreticky zjištěná doba nutná ke zvýšení teploty vychází 202 s, naměřená doba nutná pro zahřátí je např. 250 s. Účinnost rychlovarné konvice nám poté vychází 81 %.

### **Problém 3:** Jak se vaří káva na starém vařiči na chalupě?



Stejnou situaci tentokrát promítneme na chalupu, která je v mnoha domácnostech jakýmsi „odkladištěm“ starých přístrojů, nábytku a.j. Tam můžeme najít i prastarý vařič, který obsahoval keramickou vložku, do níž byl umístěn drát, stočený do šroubovice, který se při průchodu proudem rozžhavlil a sáláním přenášel teplo na dno plechového hrnku, ovšem ztráty dosahované na tomto vařiči, představovaly až 55 % spotřebované elektrické práce. Za jak dlouho bylo možno ohřát vodu v tomto zahřívacím zařízení?

*Poznámky k vytvoření modelové situace:* Celý problém není v podstatě úplně jiný – změnily se pouze některé fyzikální charakteristiky, zejména účinnost přenosu tepla, která dosahuje nyní hodnoty jen 45 %. Jinak použijeme stejného přístupu i stejných fyzikálních rovnic.

*Řešení:* Na základě výpočtu nám vyšla doba zahřívání na starém vařiči 448 s, tedy asi 7,5 min, přičemž se také zvětšila elektrická práce, kterou popíšeme „spotřebu elektřiny“, a to asi na dvojnásobek.

### **Problém 4:** Vadná konvice se sama nevypnula

Stalo se jednou, že rychlovarná konvice z problému 1 se sama automaticky nevypnula a maminka ji musela vypnout ručně, a to až po 10 minutách. Popište kvalitativně i kvantitativně děje, k nimž mohlo dojít.

*Poznámky k vytvoření modelové situace:* Jestliže konvice zahřívala vodu po dobu 10 minut, voda v konvici se ohřála na 100 °C a potom se začala při této teplotě vypařovat. Určíme tedy objem vypařené vody.

*Řešení:* Práce po dobu 10 min, kterou vykonal elektrický proud, o hodnotě  $W = P_0 \tau$ , se projevila tepelnými účinky, takže vzniklo teplo  $Q = P_0 \eta \tau$ , číselně 1,02 MJ. Teplo potřebné k ohřátí vody z teploty 15 °C na 100 °C vychází 428,4 kJ, takže zbývá do uvedené hodnoty ještě 591,6 kJ. Měrné teplo varu (vypařování při teplotě varu) pro vodu činí 2,3 MJ · kg<sup>-1</sup>, takže

podíl nám dává 0,257 kg, tedy z rychlovarné konvice se mohlo vypařit přibližně 0,257 litru vody a v konvici zbyl ještě skoro 1 litr vody o teplotě 100 °C.

### Problém 5: Voda přitéká do vany



Do koupelnové vany může přitékat studená voda o teplotě 15 °C objemovým tokem 9,0 litrů za minutu a teplá voda o teplotě 75 °C objemovým tokem 6,0 litrů za minutu. Jaká bude teplota vody po ustálení výměny tepla, když voda přitékala 7,5 min?

*Poznámky k vytvoření modelové situace:* Úlohu budeme řešit tak, jakoby nedocházelo průběžně k výměně tepla či jakoby ve směšovacím ventilu nedocházelo k tepelným dějům, ale v našem modelu necháme odtéci zvlášť teplou vodu a potom zvlášť studenou. Teplé vody o teplotě 75 °C bude 45 litrů, studené vody o teplotě 15 °C bude 67,5 litru. Dále budeme pokračovat podle kalorimetrické rovnice.

*Řešení:* Výslednou teplotu určíme z kalorimetrické rovnice,  $t = 39$  °C; nepředpokládáme tedy, že vana byla kovová a část tepla byla využita na ohřátí vany.

### Problém 6: Voda přitéká do vany a v obýváku zvoní telefon

Do koupelnové vany přitéká vody stejně jako v minulém případě, ale poté, co uplynula doba 5,0 min, zaznělo zvonění pevné linky. Linda nechala vodu do vany natékat, ale odběhla si zavolat a zpátky se vrátila až po 12,0 minutách od začátku natékání. Jak se změnila teplota vody ve vaně?

*Poznámky k vytvoření modelové situace:* Voda přitékala kratší dobu do okamžiku, než Linda odběhla, ale delší dobu, než se zase vrátila zpět. Celkem nateklo do vany 72 litrů teplé vody a 108 litrů studené vody. Dále pokračujeme obdobně jako v předcházejícím případě.

*Řešení:* Použijeme stejného vztahu a získáme výslednou teplotu opět 39 °C. Důvodem jsou vstupní data (stejně teploty obou proudů vody, teplého i studeného), přičemž poměr minutových objemů vody zůstává stejný. Napíšeme-li podíl  $m_1 : m_2$ , potom tento poměr nezávisí na době přitékání. Horší situace je s celkovým objemem vody, který se zvýšil na hodnotu 180 litrů. Délka běžné vany je asi 1,6 m, šířka vany asi 60 cm, odtud

nám vychází, že ve vaně je hladina vody ve výšce necelých 2 dm (přesněji 18,75 cm). Ve vaně se může vykoupat i Linda (předpokládejme, že její hmotnost je 60 kg, objem asi 60 litrů, tedy hladina stoupne při ponoření celého jejího těla o 6,25 cm). Hladina vody bude asi 25 cm nade dnem vany.

### Problém 7: Průtokový ohříváč



Do elektrického průtokového ohříváče v koupelně vstupuje voda o teplotě 15 °C a teplota vody vytékající z ventilu pro teplou vodu má teplotu 65 °C. Předpokládáme-li, že účinnost zahřívacího zařízení je 100 %, jaký minimální výkon musí mít ohříváč, jestliže z něj vytéká voda o minutovém objemu 0,6 litru/min.

*Poznámky k vytvoření modelové situace:* Při řešení tohoto problému na základní i na střední škole se objevuje potíže – jak úlohu zjednodušit pro případ, že do ohříváče vstupuje voda o počáteční teplotě 15 °C a vystupuje voda o teplotě 65 °C, takže se voda v průběhu průtoku ohřeje postupně o 50 °C. Úlohu zjednodušíme tak, že z kontinuálního průběhu uděláme děj diskrétní. Vodu necháme po dobu 1 min natéci do ohříváče, potom 1 min necháme ohřívát a nakonec voda při získané teplotě vyteče, aby se na její místo dostala voda studená. Teplo, jež získá voda při ohřátí, nám potom umožní stanovit výkon.

*Řešení:* Teplo  $Q = mc\Delta t = 126 \text{ kJ}$ , doba trvání ohřevu je 60 s, výkon zahřívání 2,1 kW při stoprocentní účinnosti. Ve skutečnosti bude muset být výkon ohříváče větší.

### Problém 8: Jak zvětšit přítok teplé vody?

V domácnosti bylo třeba zvýšit dodávku teplé vody z průtokového ohříváče v koupelně (tzv. bojleru), a tak byl dosavadní ohříváč nahrazen novým s tepelným výkonem 3,6 kW, ale současně byla snížena teplota vytékající teplé vody z bojleru na 60 °C. Jak se zvýšil průtok teplé vody při plně otevřeném ventilu?

*Poznámky k vytvoření modelové situace:* Byl zvýšen tepelný výkon o 75 %, při snížené výstupní teplotě (ohřívání jen o 45 °C namísto 50 °C) se musí projevit o 10 %. Potřebný objemový tok určíme výpočtem.

*Řešení:* Hmotnost protékající vody za 1 min označíme  $m = V\rho$ , kde  $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , teplo potřebné za minutu k ohřátí vody  $Q = mc\Delta t = V\rho c\Delta t$ , když  $Q = P\tau$ . Po dosazení a po příslušných výpočtech je průtočný objem (objemový tok, minutový objem)  $1,14 \text{ litru} \cdot \text{min}^{-1}$ .

### **Problém 9:** Radiátor ústředního topení



Přívodní trubka k radiátoru ústředního (etážového) topení v bytě má teplotu  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , z tohoto radiátoru odchází voda o teplotě  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Odhadněme, že nuceným oběhem protéká radiátorem teplá voda s objemovým tokem  $1,0 \text{ litru} \cdot \text{min}^{-1}$ . Jaký je tepelný výkon radiátoru?

*Poznámky k vytvoření modelové situace:* Problém budeme řešit obdobně jako ohřívání vody, ale jde o ochlazování teplé vody procházející radiátorem. Opět přistoupíme k pulzačnímu uvažování – vodu necháme po dobu 1 min ochlazovat v radiátoru z teploty  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  na  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Řešení:* Při průtoku 1 litru vody radiátorem za minutu musí být za tuto dobu odebráno teplo, které vyjádříme pomocí vztahu  $Q = mc\Delta t = V\rho c\Delta t$ , tedy  $210 \text{ kJ}$ , proces chladnutí trvá  $60 \text{ s}$ , tedy tepelný výkon  $P = Q/\tau = 3\,500 \text{ W} = 3,5 \text{ kW}$ .

### **Problém 10:** Na podzim se začíná topit

Je třeba stanovit, jaké situace při zahájení topné sezóny mohou v soustavě ústředního topení nastat a jak se postarat o to, aby všechny radiátory topily tak, jak to po nich požadujeme.

*Poznámky k vytvoření modelové situace:* Jedná se především o uvedení kotle do chodu, dále o tzv. odvzdušnění topného systému. Vysvětlíte, čemu všemu lze odvzdušněním zabránit. *Řešení:* Navštivte školníka ve vaší škole, popř. majitele některého rodinného domku, aby vás poučil o problematice ústředního nebo etážového topení.

Jestliže se vám naše úlohy zalíbily, můžete se těšit na pokračování, které máme pro vás již přichystáno.