Tepelné jevy v experimentech

Petr Kácovský
Katedra didaktiky fyziky MFF UK (Petr.Kacovsky@mff.cuni.cz)

Abstrakt

Příspěvek stručně popisuje čtyři experimenty, které byly inspirovány zjištěnými miskoncepcemi žáků středních škol. Tři experimenty jsou zaměřeny na tepelnou vodivost materiálů, jeden experiment pak na tepelnou bilanci při vypařování.

Tepelné jevy na našich školách

Kapitoly zabývající se tepelnými jevy jsou v učivu základní školy situovány nejčastěji do osmého, méně často do devátého ročníku, resp. do odpovídajících ročníků víceletých gymnázií. Učebnice [1] až [4] určené pro žáky těchto ročníků se více či méně obsáhle věnují těmto kapitolám:

Vnitřní energie tělesa
Teplo a kalorimetrická rovnice
Šíření tepla
Skupenské přeměny

Na úrovni gymnázií se pak studenti s tímto učivem setkávají ještě jednou, nejčastěji v prvním či druhém ročníku, přičemž kostra čtyř výše uvedených kapitol zůstává v nejpoužívaněji středoškolské učebnici [5] velice podobná (odhlédneme-li od rozsáhlejší matematizace úloh).

Miskoncepce žáků na gymnáziích

Problematika tepelných jevů spadá v rámci fyzikálního vzdělávání do tematického celku „Molekulová fyzika a termika“, který v sobě spojuje makroskopická pozorování a mikroskopická vysvětlení takto pozorovaných jevů. Tato kombinace dělá z oblasti tepelných jevů poměrně abstraktní učivo, které se pak snadno stává zdrojem mylných žákovských představ – miskoncepcí. Přehled těch nejčastějších je popsán například v [6] nebo [7].

Obecně jsou žákovské miskoncepce považovány za velice trvalé a odolné vůči změnám, což souvisí s přirozeností a spontaneitou jejich vzniku. I ve výuce tak žák často dává přednost „zažitému selskému rozumu“ oproti učitelem sdělovaným vysvětlením, která někdy odporují žákově intuitivní představě či zkušenosti.

Konceptuální test porozumění tepelným jevům

Pro získání lepšího přehledu o žákovských miskoncepcích v termodynamice se v současné době zabývám výzkumem, který by měl pomoci při odpovědi na otázku, které miskoncepce týkající se tepla a tepelných jevů jsou opravdu trvalé a které je naopak výuka schopna částečně odstranit nebo alespoň (byť třeba i jen dočasně, v době po probrání látky) redukovat.

Nástrojem pro tento výzkum se stal český překlad testu Thermal Concept Evaluation [8], v češtině nazvaný „Konceptuální test porozumění tepelným jevům“ (KTPTJ), který zkoumá, jak žáci dovedou poznatky z hodin fyziky použít při odpovídání na otázky motivované běžnými každodenními situacemi. Česká verze byla redukována na 19 uzavřených otázek s výběrem odpovědi a bude na vyšších stupních vybraných gymnázií zadána dvakrát, jako pretest předtím, než se začnou studenti zabývat problematikou

tepelných jevů, a jako posttest, tedy po probrání této látky. Cílem tohoto zadávání je zjistit přidanou hodnotu, posun v porozumění, které středoškolský kurz žákům dává.

Jakou roli ovšem může hrát výše uvedený test pro učitele fyziky na základní škole? V každém případě minimálně roli informativní. Protože studenti gymnázií prošli hodinami molekulové fyziky a termiky již na úrovni základní školy před nějakými dvěma či třemi lety, může nám dát samotný pretest určitou informaci o tom, co ve studentech po této době „zbylo“, jak s odstupem času dopadlo skloubení zcela intuitivních předškolních prekoncepcí s poznatky získanými na základoškolské úrovni.

Během září 2013 byl KTPTJ coby pretest zadán celkem 543 žákům ve 22 třídách čtyřletých i víceletých gymnázií. Vyhodnocení testů ukázalo, že pouze u sedmi otázek z devatenácti odpověděla správně alespoň polovina žáků; v případě nejproblematičtějších otázek se podíl správných odpovědí pohyboval pouze kolem 20 %.

Experimenty vycházející z miskoncepcí žáků

Právě některé pro žáky problematické otázky se staly námětem ke čtyřem experimentům, které jsou popsány v dalším textu a jejichž smyslem je nabídnout srozumitelný způsob, jak postavit intuitivní představy žáků do přímého rozporu s výsledkem pokusu.

Vedení tepla

Z testových otázek týkajících se vedení tepla vybírám dvě, které byly pro studenty nejobtížnější. Tabulka 1 obsahuje statistiku žákovských odpovědí.

Tabulka 1: Žákovské odpovědi na dvě otázky KTPTJ týkající se vedení tepla. Správné odpovědi jsou zvýrazněny tučně. Výzkum proběhl na vzorku 543 studentů.

Otázka č. 12: Jana vzala z penálu kovové a dřevěné pravítko. Řekla, že kovové ji studí víc než dřevěné. Jak to nejlépe vysvětlíte?	
a. Kov odvádí energii z její ruky rychleji než dřevo.	**40,1 %**
b. Dřevo je přirozeně teplejší látka než kov.	27,3 %
c. Dřevěné pravítko obsahuje více tepla než pravítko kovové.	11,0 %
d. Kovy lépe vyzařují teplo než dřevo.	12,0 %
e. Chlad odchází rychleji z kovu.	7,9 %
Neodpověděli	1,7 %
Otázka č. 18: Filip vyndal z mrazáku nanuk, který tam včera uložil, a říká, že dřevěná tyčka, kterou právě uchopil, je teplejší než vlastní nanuk. S kterým z následujících tvrzení nejvíce souhlasíte?	
a. Radek říká: „Máš pravdu, dřevěná tyčka se nikdy neochladí tak jako nanuk.“	37,2 %
b. Luboš říká: „Máš pravdu, nanuk obsahuje více chladu než dřevo.“	13,1 %
c. Viktor říká: „Naopak, dřevěná tyčka se nám zdá teplejší, protože obsahuje více tepla.“	14,2 %
d. Štěpán říká: „Já bych řekl, že nanuk i tyčka mají stejnou teplotu, protože byly v mrazáku spolu.“	**35,0 %**
Neodpověděli	0,6 %

Otázka č. 18 se sice zaměřuje také na koncept termodynamické rovnováhy, ale fakt, že žáci inklinují k odpovědi a, svědčí i zde o nedostatečném pochopení přenosu tepla vedením. Pro demonstraci tohoto jevu je nutné zvolit dostatečně názorný způsob. Ve ško-

lách se často vyskytuje pomůcka tvořená dvěma tyčemi z různých kovů (např. mosaz a ocel), které se ve společném místě zahřívají a odpadávající kousky vosku signalizují postupný nárůst teploty tyčí (například v [1], [2], [4]). V praxi se setkáváme s vedením tepla mnohem častěji v případě větších ploch (okna, střechy, plášť termosky). Potřebovali bychom tedy měřit teplotu na různých místech plochy. Tabulka 2 shrnuje možnosti, která pro taková měření můžeme ve školním prostředí využít, a jejich experimentálně ověřené výhody a nevýhody.

Tabulka 2: Možnosti měření teploty povrchů ve školním prostředí

	Výhody	nevýhody
povrchové teplotní čidlo	typicky součástí experimentálních systémů (Vernier, PASCO apod.)	je nutný velmi dobrý kontakt s měřeným povrchem
termocitlivé fólie	názorné; cenově přijatelné	ne vždy je lze upevnit tam, kam chceme; omezený teplotní rozsah
infračervený bezdotykový teploměr	cenově přijatelný; žáci si ho mohou sami přinést, pokud ho doma mají pro medicínské použití	nelze snímat lesklé kovové povrchy; v případě čistě lékařských teploměrů malý rozsah
termokamera	názornost, jednoduchost vlastního měření	nelze snímat lesklé kovové povrchy; finanční náročnost

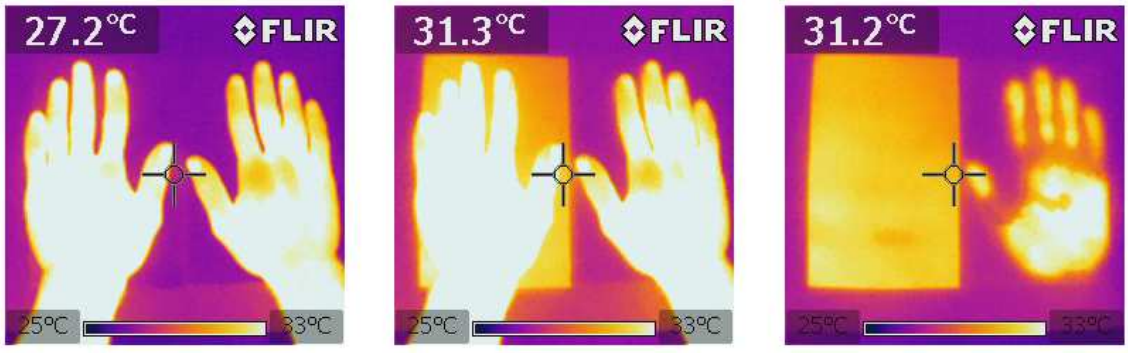
V dalších experimentech jsou pro názornost přiloženy snímky z termokamery, samozřejmě lze ale experimenty provést i s jinými měřidly. Na snímcích z termokamery představují světlejší barvy místa s vyšší teplotou, tmavé barvy místa s teplotou nižší.

Experiment 1 – Hřejivý lidský dotek

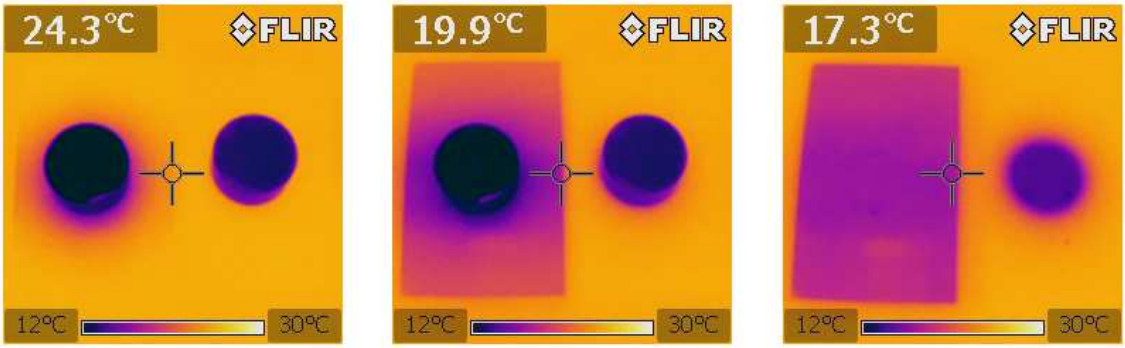
Pomůcky: kovová a plastová destička přibližně stejné tloušťky, obojí o rozměrech cca 10 cm x 20 cm (kovovou destičku může představovat například hliníkový plíšek, plastová destička byla vyříznuta z kancelářských desek).

Provedení: Žák položí současně jednu dlaň na kovovou a druhou na plastovou destičku a nechá je 20 sekund bez hnutí.

Výsledek a vysvětlení: Zatímco kovová destička se prohřeje díky dobré tepelné vodivosti téměř rovnoměrně, plastová folie zůstane zahřátá pouze v místě styku s rukou – díky tomu je na ní na snímcích z termokamery patrný tepelný obrys dlaně, který v případě kovové destičky nenajdeme (obr. 1). Experiment dává názornou odpověď na oblíbenou otázku (v různé podobě uvedenou v [1], [2] či [4]), proč se nám kov zdá chladnější než plast, přestože oba předměty byly před naším dotykem v tepelné rovnováze s okolím.



Obrázek 1: Levá dlaň položena na kovové a pravá na plastové destičce. Vlevo: začátek experimentu. Uprostřed: stav po 15 sekundách. Vpravo: po zvednutí dlaní.



Obrázek 2: Levé závaží na kovové a pravé na plastové destičce. Vlevo: začátek experimentu. Uprostřed: stav po 15 sekundách. Vpravo: po zvednutí závaží.

Experiment 2 – Dobrý tepelný vodič se také ochotně prochlazuje…

Pomůcky: stejné destičky jako v experimentu 1, dva stejné kovové předměty (v tomto experimentu byly použita dvoukilogramová závaží z činky, v „mokré“ variantě experimentu lze použít namísto kovu i větší kostky ledu)

Provedení: Oba kovové předměty umístíme s dostatečným předstihem do ledničky a necháme je prochladit. Potom položíme jeden z nich na kovovou a druhý současně na plastovou destičku a opět necháme 20 sekund bez hnutí.

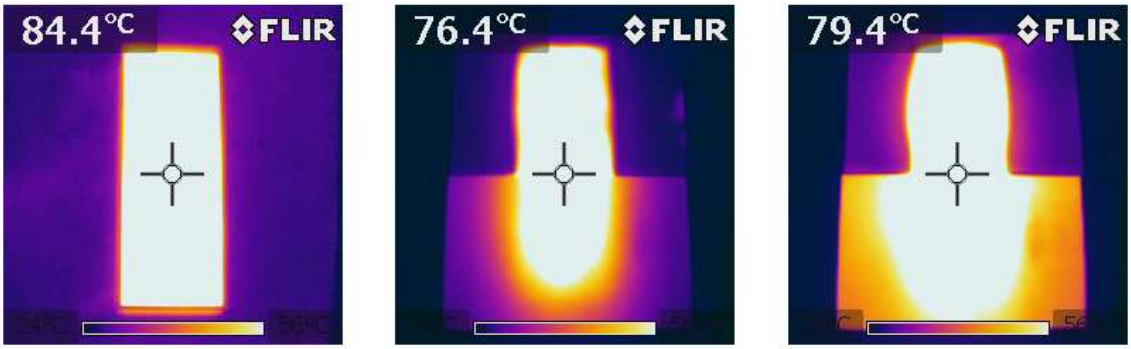
Výsledek a vysvětlení: Kovová destička se díky dobré tepelné vodivosti prochladí téměř rovnoměrně, plastová folie zůstane chladná pouze v místě styku s chladným předmětem (obr. 2). Experimentem lze vyvrátit častou miskoncepci žáků, totiž že kovy „drží“ teplo, tepelně izolují (např. [7]; miskoncepce může být podporována například tím, že horké nápoje uchováváme v kovových termoskách).

Experiment 3 – Rovnoměrné prohřívání

Pomůcky: stejné destičky jako v experimentu 1, skleněná vanička, rychlovarná konvice

Provedení: Do skleněné vaničky nalejeme horkou vodu a překryjeme ji z jedné poloviny kovovou a z druhé plastovou destičkou; necháme 20 sekund bez hnutí.

Výsledek a vysvětlení: Horká voda ve vaničce velmi dobře zajišťuje rovnoměrné ohřívání předmětů nad sebou. Kovová destička se pohřeje téměř celá, zatímco plastová pouze v místě nad vodní hladinou (obr. 3). Tato variace na experiment 1 má tu výhodu, že lze po celou dobu experimentu sledovat prohřívanou plochu (nepřekáží nám dlaně).



Obrázek 3: Vlevo: pohled termokamerou na vaničku s horkou vodou. Uprostřed: po 2 sekundách experimentu. Vpravo: po 15 sekundách experimentu.

Poznámka k experimentům 1 až 3

Kovovou destičku (zejména pokud je lesklá) nelze kvůli jejich velké odrazivosti snímat termokamerou a infračerveným teploměrem – získali bychom nesmyslné údaje. Problém lze snadno vyřešit natřením destičky nejlépe matnou barvou.

Skupenské přeměny

Vůbec nejhůře ze všech 19 položek KTPTJ dopadla otázka, ve které si měli studenti uvědomit, jaký význam má skupenské teplo (viz tabulka 3).

Tabulka 3: Žákovské odpovědi na otázku č. 11 v KTPTJ. Správná odpověď je zvýrazněna tučně. Výzkum proběhl na vzorku 543 studentů.

Otázka č. 11: Roman se ptá kamarádů: „Dám do mrazáku 100 gramů ledu o teplotě 0 °C a 100 gramů vody o teplotě 0 °C. Která z látek odevzdá mrazáku více tepla?“ Se kterým z Romanových kamarádů nejvíce souhlasíte?	
a. Honza říká: „100 g ledu.“	1,8 %
b. Marek říká: „100 g vody.“	**21,4 %**
c. Milan říká: „Led i voda stejně, protože obsahují stejné množství tepla.“	28,4 %
d. Patrik říká: „Nelze odpovědět, protože led žádné teplo neobsahuje.“	5,3 %
e. Aleš říká: „Nelze odpovědět, protože vůbec nelze získat vodu o teplotě 0 °C.“	42,2 %
Neodpověděli	0,9 %

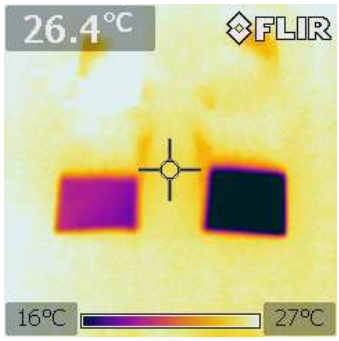
Níže uvedený experiment má tedy za cíl vizualizovat pokles teploty při odpařování vody a lihu a tedy poukázat na teplo, které je při změně skupenství potřebné.

Experiment 4 – Odpařování vody a lihu

Pomůcky: voda, líh, dvě nádoby, dva stejné proužky papíru

Provedení: Do jedné nádobky (stačí plastový kelímek) nalijeme vodu, do druhé líh. Do každé z nádobek ponoříme proužek papíru a současně pak oba proužky vyjmeme.

Výsledek a vysvětlení: Teplota obou ponořených proužků klesne pod pokojovou teplotu, protože papíru je odnímáno skupenské teplo vypařování. Bystřejší studenty lze upozornit na to, že přestože na odpaření vody je potřeba více tepla než na odpaření stejného množství lihu, více se ochladí proužek namočený do lihu (obr. 4) – tak se lze dostat k žákům známému poznatku, že líh se odpařuje rychleji než voda a pokles teploty je díky tomu výraznější.



Obrázek 4: Vypařování pohledem termokamery. Vlevo proužek papíru namočený zčásti do vody, vpravo proužek namočený zčásti do lihu.

Závěr

V příspěvku byly představeny čtyři experimenty inspirované miskoncepcemi středoškolských studentů, kteří již prošli kapitolou o molekulové fyzice a termice na základní škole (resp. nižším gymnáziu) a nyní je čeká toto téma na středoškolské úrovni. Kromě toho byl stručně popsán konceptuální test „Porozumění tepelným jevům“, který byl použit pro diagnostiku žákovských miskoncepcí.

Experimenty budou v následujících měsících podrobněji rozpracovány v podobě pracovních listů a společně s dalšími pokusy si je studenti budou moci vyzkoušet v Interaktivní fyzikální laboratoři [9] v areálu Matematicko-fyzikální fakulty UK v Tróji.

Literatura a další zdroje

[1] KOLÁŘOVÁ, R., BOHUNĚK, J.: *Fyzika pro 8. ročník základní školy*. Dotisk 1. vyd. Praha: Prometheus, 2006, 227 s.

[2] MACHÁČEK, M.: *Fyzika pro 8. ročník základní školy, 1. díl*. 2. vyd. Praha: SPN, 1994, 95 s.

[3] RAUNER, K., PETŘÍK, J., PROKŠOVÁ, J., RANDA, M.: *Fyzika 8 (učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia).* 1. vyd. Plzeň: Fraus, 2006, 128 s.

[4] JÁCHIM, F., TESAŘ, J.: *Fyzika pro 9. ročník základní školy*. Dotisk 1. vyd. Praha: SPN, 2005, 160 s.

[5] BARTUŠKA, K.; EMANUEL, S.: *Fyzika pro gymnázia – Molekulová fyzika a termika*. Dotisk 4. vyd. Praha: Prometheus, 2006, 243 s.

[6] MANDÍKOVÁ, D., TRNA, J.: *Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky*. Brno: Paido, 2011, 244 s.

[7] CHU H.-E., TREAGUST, D. F., ZADNIK, M., YEO, S.: *Evaluation of Students' Understanding of Thermal Concepts in Everyday Contexts*. International Journal of Science Education, 34:10, 1509-1534, 2012.

[8] ZADNIK, M., YEO, S.: *Introductory Thermal Concept Evaluation: Assessing Students' Understanding.* The Physics Teacher, 39, 496-504, 2001.

[9] Webová stránka Interaktivní fyzikální laboratoře. [on-line] [cit. 12. října 2013] Dostupné z: <http://kdf.mff.cuni.cz/ifl/>