

Gymnázium, Soběslav, Dr. Edvarda Beneše 449/II



Laboratorní cvičení z fyziky

Kalorimetrická měření

Autor: Mgr. Ivana Stefanová
Jméno souboru: Kalorimetr
Poslední úprava: 23. srpna 2016

Kalorimetrická měření

Obsah

Pracovní úkoly.....	1
Teorie.....	1
Protokol o měření.....	1
Popis kalorimetru.....	2
Příprava pracoviště.....	2
Pokyny k provádění měření.....	3
Určení tepelné kapacity kalorimetru.....	3
Měření měrné tepelné kapacity materiálů.....	4
Upozornění.....	4
Soupiska pomůcek a materiálu.....	5
Příloha.....	5

Kalorimetrická měření

Úkolem laboratorního cvičení je měření pomocí směšovacího kalorimetru a určování měrné tepelné kapacity látek.

Pracovní úkoly

1. Na základě vytvořené představy (modelu) kalorimetru proveďte hrubý odhad toho, jakou hodnotu tepelné kapacity kalorimetru lze očekávat. **Odhad vypracujte** písemnou formou již **během domácí přípravy** a v průběhu cvičení s ním seznamte vyučujícího.
2. Připravte si pracoviště a měřicí aparaturu dle pokynů níže.
3. Pomocí mísení studené a horké vody určete tepelnou kapacitu kalorimetru, měření proveďte celkem třikrát.
4. Určete měrnou tepelnou kapacitu čtyř různých pevných látek (využijte zjištěnou tepelnou kapacitu kalorimetru z předchozího bodu), naměřené hodnoty porovnejte s tabulkami.

Teorie

Výklad problematiky tepla a jeho výměny naleznete v učebnici *Fyzika pro gymnázia*, díl *Molekulová fyzika a termika* od K. Bartušky a E. Svobody (kapitola 2 *Vnitřní energie, práce a teplo*, tohoto cvičení se konkrétně týkají oddíly 2.4 a 2.5). Alternativou je Svobodův *Přehled středoškolské fyziky* (kapitola 3 *Molekulová fyzika a termika*, měrné tepelné kapacity a kalorimetrické rovnici se autor věnuje na str. 140 až 142). Hodnoty měrných tepelných kapacit naleznete v tabulkách (např. Mikulčákovy *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*) nebo na internetu.

Protokol o měření

Skupina odevzdá jako výsledek své práce protokol o měření, může být zpracován (i odevzdán) elektronicky nebo ručně, volba je jenom na vás. U dokumentu nebude hodnocena jeho délka, ale správnost, jasnost a fyzikální argumentace. Protokol z tohoto cvičení by měl obsahovat:

- popis modelu kalorimetru a vyčíslení jeho odhadované tepelné kapacity¹,
- naměřené hodnoty pro určení tepelné kapacity kalorimetru, zpracování naměřených hodnot (v jednom případě vypočtete i hodnoty tepla odevzdaného horkou vodou, tepla přijatého studenou vodou a tepla odevzdaného kalorimetrem jako jejich rozdíl²),

1 V tomto bodu nebude primárně hodnocena shoda předběžného odhadu s následně naměřenými hodnotami, ale přístup k úkolu a invence. Jde o to, abyste si na základě dostupných (a neúplných) informací o materiálu, rozměrech atd. vytvořili alespoň nějakou velmi hrubou představu o tom, jaký výsledek je možné očekávat. V praxi jsou takové předběžné kvalifikované odhady velmi důležité, neboť mohou ovlivňovat již samotné budování experimentálního pracoviště, výběr metody měření atd. To, že se mohou někdy i zásadně mýlit, je věc jiná, která bohužel (či bohudík) k fyzice jako experimentální vědě také patří.

2 Jejich vzájemný poměr vás možná dovede k zamyšlení se nad důvody, proč přesnost určení tepelné kapacity kalorimetru může být v porovnání s jinými měřeními, která jste v rámci tohoto i předchozích cvičení viděli, relativně menší.

- naměřené hodnoty pro určení měrné tepelné kapacity jednotlivých látek, jejich vyhodnocení a porovnání s tabulkovými hodnotami (v tomto i předchozím bodu musí být zřejmé, jaký tvar kalorimetrické rovnice jste použili a jaké hodnoty jste pro výpočty použili),
- závěr obsahující celkové shrnutí získaných výsledků (zamyšlení nad tím, co jsme v průběhu experimentu zanedbali, kde můžeme hledat hlavní příčiny nepřesnosti měření apod.).

Popis kalorimetru

Jako kalorimetr budete používat termosku firmy Primus (určenou původně hlavně k přechovávání teplých i studených nápojů i stravy). Její vnitřní objem je cca 0,35 l, hmotnost bez víčka cca 250 g,



hmotnost samotného víčka pak asi 45 g. Vnitřek nádoby je vyroben z nerezového plechu a od okolí je vakuově izolován. Nerezová část je vložena do plastového obalu, plastové je i víčko, které se k nádobě připevňuje šroubovým spojem. Izolace víčka je tvořena vzduchovou vrstvou uzavřenou mezi jeho čela (tloušťka plastu cca 1 mm). Přibližné vnější rozměry jsou:

průměr 85 mm, výška nádoby 125 mm, výška víčka 25 mm. Celková výška v uzavřeném stavu je přibližně 130 mm. Vnitřní průměr nerezové nádoby je 72 mm, výška asi 95 mm (byť ji nelze plně využít pro uložení obsahu).

Pro účely měření teploty je do vyvrtaného otvoru ve víčku vložena teflonová trubička o vnitřním průměru 8 mm. Ten je dostatečný pro použití jak klasických rtuťových či lihových teploměrů, tak různých polovodičových snímačů, odporových (např. platinových) elementů či termočlánků. Otvor lze dle potřeby uzavřít ucpávkou, stejně tak je možné utěsnit použitý teploměr či teplotní sondu.

Příprava pracoviště

Celé pracoviště se skládá ze tří částí: místo vážení, prostor pro manipulaci s termoskami a vodou, prostor pro počítač a další elektronická zařízení. Vhodně si pracoviště uspořádejte, snažte se elektroniku umístit co nejdále od místa manipulace s vodou, aby při případném rozlití vody nedošlo k jejímu poškození. Průběh měření vám dává dostatečný prostor k výměně svých pozic v průběhu práce.

Pro vážení použijte [elektronické váhy Kern](#). Měření teploty budete provádět pomocí teplotního snímače ze soupravy Pasco. K tomu budete potřebovat počítač s [programem Capstone](#) a modul [rozhraní PowerLink](#). Propojte je navzájem USB kabelem, obě zařízení jsou napájena síťovými adaptéry.

Na ocelovou tyčku teplotní sondy PS-2153 navlékněte plastovou trubičku jako tepelnou izolaci³ chránící část mimo termosku a poté i ucpávku s otvorem, jejíž polohu upravte tak, aby sonda po nasunutí na víčko zasahovala co nejlouběji do nádoby, ale nedotýkala se jejího dna. Ke [snímači teploty PS-2125](#) připojte teplotní sondu pomocí kablíku a snímač zastrčte do konektoru rozhraní PowerLink. Zapněte počítač a po spuštění operačního systému spusťte pomocí zástupce na ploše program Capstone.

Pokyny k provádění měření

V programu Capstone otevřete soubor `kalorimetr.cap`, který je připraven pro tento experiment. To se provede pomocí položky v podmenu *Soubor* nebo pomocí standardního tlačítka na horní liště.

Na úvodní stránce vyplňte údaje o vaší skupině a datu měření a uložte si její kopii do laboratorního deníku.

Přepněte pracovní sešit na stránku *Měření teploty*. Tím je zajištěno následující nastavení:

- teplota je měřena⁴ v °C, hodnota je aktualizována dvakrát za vteřinu,
- zobrazení teploty probíhá v číslicové podobě s rozlišením 0,1°C, pro případné sledování tendence je zároveň vykreslován pomocný graf.

Základní principy práce s programem Capstone již znáte z předchozích cvičení, proto zde postačuje základní připomenutí. Měření se spustí tlačítkem *Zaznamenat data* na panelu *Ovládací prvky* a dle potřeby se tlačítkem *Ukončit* ukončí. Data ani grafy není potřeba ukládat, pro účely dalšího zpracování potřebujete vždy pouze jednotlivé hodnoty teploty⁵. Tyto si průběžně zapisujte (společně s hmotnostmi) do tabulky na stránce *Tabulka hodnot* (poslední stránka pracovního sešitu).

Určení tepelné kapacity kalorimetru

Začínáte se dvěma prázdnými termoskami. Do jedné nalijte cca 140 g studené vody⁶ (s teplotou blízké pokojové teplotě), druhou vám vyučující naplní přibližně stejným množstvím horké vody (o teplotě zhruba 60 až 80°C), víčko uzavřete ucpávkou. Budete měřit parametry termosky s horkou vodou. Do zásobníku studené vody vložte teplotní čidlo a spusťte měření. Vodu v obou termoskách **opatrně** zamíchejte krouživými pohyby. Vyčkejte (dle zkušeností by měla stačit cca 1 minuta) na ustálení teploty studené vody a hodnotu si zaznamenejte. Přendejte teploměr do horké vody, opět počkejte na ustálení teploty a zaznamenejte výsledek. Nyní ve spolupráci dvou žáků rychle (nikoliv však zbrkle) otevřete víčka obou termosek, veškerý objem studené vody přelijte do horké, víčko termosky s vodou uzavřete a vložte do něj teploměr. Můžete opět opatrně zamíchat a sledujte průběh teploty. Po ustálení odečtěte výslednou teplotu, čímž byste měli mít vše potřebné k výpočtu (měrnou tepelnou kapacitu vody si vyhledejte v tabulkách). Měření v programu lze nyní ukončit.

3 Půjde to snadněji, pokud ocelovou tyčku před nasunutím navlhčíte.

4 U kalorimetrických měření jde vždy o rozdíly teplot, proto je lhostejné, zda teploty uvádíme v K nebo °C.

5 Důvodem použití systému Pasco v tomto případě není nutnost zpracování většího množství naměřených dat či jejich rychlé vzorkování, ale hlavně větší rozlišení a přesnost měření teploty, rychlejší odezva teplotního snímače na změny teploty a v porovnání se skleněným teploměrem i snazší a bezpečnější manipulace.

6 Můžeme s výhodou využít funkce dovažování, kterou použité váhy disponují.

Obsah termosky pak můžete vylít do umyvadla, případně ji můžete „vychladit“ pomocí tekoucí vody na teplotu blízkou pokojové.

Toto měření proveďte celkem třikrát, abyste získali představu o opakovatelnosti určení tepelné kapacity kalorimetru. V další části použijte aritmetický průměr získaných hodnot.

Měření měrné tepelné kapacity materiálů

Měření budete provádět pro čtyři druhy materiálů: hliník, měď, olovo a železo (či ocel blíže nespecifikovaného složení). Ve fyzikálním kabinetu máme celkem tři sady válcových závaží z uvedených materiálů, každé z nich má asi 50 g. Měření provádějte vždy pro tři stejná závaží najednou, proto se mezi skupinami musíte vždy domluvit a závaží si navzájem vypůjčit.

Budete potřebovat jen jednu termosku, tu, jejíž tepelnou kapacitou jste určili v první části. Do termosky nalijte studenou vodu, její hmotnost je přibližně 210 g pro měření hliníku, 70 až 75 g pro měření olova a okolo 100 g pro měď a železo. Uzavřete víčkem, vložte teploměr a známým způsobem zamíchejte, v programu spustíte měření. Zvažte si trojici závaží (nominální hodnota je 150 g) a požádejte vyučujícího o vložení do vroucí vody. Po vyzvání si poznamenejte aktuální teplotu studené vody, vyndejte teploměr a víčko uzavřete ucpávkou. Vyučující vám na svém pracovišti vloží horká závaží do termosky, kterou neprodleně uzavřete víčkem s ucpávkou. Zároveň vám sdělí jejich teplotu. Zpátky na své lavici vložte do víčka teploměr, můžete opatrně zamíchat a vyčkejte na ustálení teploty (to obvykle vyžaduje několik desítek sekund). Po odečtení výsledné teploty byste měli mít veškeré údaje k vyhodnocení, měření lze v programu ukončit. U umyvadla naplňte termosku studenou vodou a vyjměte závaží (pozor na rozbití keramického umyvadla!). Po vyprázdnění termosky máte vše připraveno k měření dalšího materiálu.

Na závěr si uložte soubor s provedeným experimentem (který budete odevzdávat jako doklad o provedeném měření) a také nezapomeňte na export laboratorního deníku s podklady pro zpracování protokolu o měření.

Upozornění



Žáci jsou povinni dodržovat veškerá bezpečnostní pravidla, se kterými byli seznámeni v úvodní hodině. Při práci dbají pokynů vyučujícího a chovají se tak, aby zabránili jakémukoli újmě na zdraví i na svěřeném materiálu. Zvýšenou pozornost věnujte manipulaci s horkou vodou a předměty! Uvědomte si prosím, že zvláště počítače a elektronická zařízení jsou z hlediska rozpočtu školy poměrně nákladné položky, které by měly sloužit jako učební pomůcky i pro vaše spolužáky a následovníky.

Soupiska pomůcek a materiálu

Pro každou skupinu:

- počítač (netbook) s programem Capstone, napájecí adaptér,
- rozhraní PowerLink PS-2001, napájecí adaptér, USB kabel,
- snímač teploty PS-2125 a teplotní sonda PS-2153 (+ tepelná izolace hadičkou),
- kalorimetr (termoska) 2 ks, ucpávky,
- sada závaží z různých materiálů,
- digitální váhy.

Pro pracoviště vyučujícího:

- počítač (netbook) s programem Capstone, napájecí adaptér,
- rozhraní SparkLink PS-2009, USB kabel,
- teplotní sonda PS-2153 (+ tepelná izolace hadičkou),
- vaříč, nádoba, plastové kleště na vyndávání závaží z vroucí vody,
- digitální váhy.

Příloha

V běžných fyzikálních tabulkách se pro měrnou tepelnou kapacitu železa většinou uvádí hodnota pro „čisté“ železo. S tím se však v praxi setkáváme málokdy, většinou jde o různě silně legované materiály (oceli, případně litiny). Obsah příměsí (ale také např. způsob tepelného zpracování aj.) přitom má poměrně velký vliv na různé fyzikální vlastnosti počínaje mechanickými, přes elektrické a magnetické, akustické atd. Tepelné vlastnosti v tomto ohledu nejsou výjimkou.

V různých zdrojích se (v námi uvažovaném teplotním rozsahu) pro běžně užívané uhlíkaté oceli objevují hodnoty měrné tepelné kapacity okolo 460 až 490 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, pro nerezové oceli pak hodnoty okolo 500 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, u litiny pak cca 540 až 550 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Viz např. [tato tabulka](#) na internetu.