

Měrná tepelná kapacita pevných látek

Úkol: Určit měrné tepelné kapacity vybraných pevných látek pomocí kalorimetru.
Potřeby: Viz seznam v deskách u úlohy na pracovním stole.

Obecná část:

Pod pojmem **tepelná výměna** rozumíme takový fyzikální děj, při němž se mezi dvěma tělesy předává energie jiným způsobem než konáním práce nebo výměnou látky. Tento děj se uskutečňuje náhodnými srážkami částic (atomů, molekul obou látek) na rozhraní těchto dvou těles. K tepelné výměně však může docházet i u těles, jež nejsou v bezprostředním kontaktu (např. zářením).

Skalární fyzikální veličina určená energií E , kterou při tepelné výměně předá teplejší těleso tělesu chladnějšímu, je **teplo** Q . Jeho fyzikální jednotkou je **joule** (J).

Přijme-li látka při tepelné výměně teplo Q a nedojde-li ke změně skupenství, zvýší se teplota látky o určitou hodnotu Δt . Poměr dodaného tepla Q a odpovídajícího přírůstku teploty Δt pak definuje **tepelnou kapacitu tělesa**

$$C = \frac{Q}{\Delta t} \quad . \quad (1)$$

Jednotkou tepelné kapacity je J.K^{-1} . Tepelná kapacita tělesa vlastně číselně udává, jaké teplo těleso přijme (nebo vydá), když se jeho teplota zvýší (nebo sníží) právě o jeden teplotní stupeň.

U homogenních látek (dané hmotnosti m) lze pak definovat též jejich **měrnou tepelnou kapacitu** vztahem

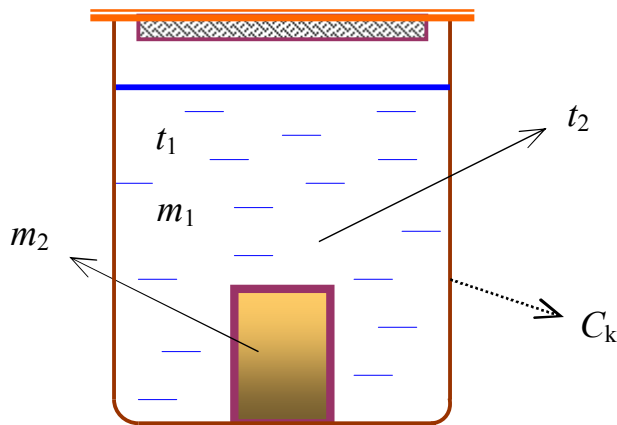
$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m\Delta t} \quad . \quad (2)$$

Jednotkou měrné tepelné kapacity je $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a je to hodnota, jež bývá tabelována. Číselně je rovna teplu, jež přijme 1 kg stejnorodé látky, když se jeho teplota zvýší právě o jeden teplotní stupeň (resp. vydá při snížení teploty o jeden teplotní stupeň). Měrná tepelná kapacita je fyzikální veličina charakteristická pro danou látku; pro různé látky a různá skupenství má měrná tepelná kapacita různou hodnotu. Není však konstantou, její hodnota se poněkud mění v závislosti na teplotě i na tlaku. Proto se v tabulkách udává hodnota měrné tepelné kapacity pro určitou teplotu (jako např. c_{18} , c_{20} , apod.). Obecně platí, že s klesající teplotou se měrná kapacita látky snižuje; přesto ji lze považovat v nepříliš širokém teplotním intervalu (jako je tomu např. i při měření této laboratorní úlohy) za hodnotu konstantní.

Ze vztahu (2) pro měrnou tepelnou kapacitu pak vyplývá, že teplo, jež přijme homogenní látka, je přímo úměrné hmotnosti látky m a nárůstu její teploty Δt

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad . \quad (3)$$

Stanovením měrných tepelných kapacit látek a měřením tepla při různých dějích spojených s tepelnou výměnou se zabývá **kalorimetrie**, jedna z částí experimentální fyziky. Při těchto měřeních se používá nástrojů nazývaných **kalorimetry**. Na obr. 1 je jeho jednoduché schéma.



Obr. 1

Předpokládejme, že v nádobě na vedlejším obrázku jsou dvě látky, jejichž hmotnosti jsou m_1 a m_2 . Měrné tepelné kapacity obou látek jsou c_1 a c_2 . Nechť původní teplota první látky t_1 je nižší než teplota t_2 látky druhé ($t_1 < t_2$). Mezi oběma látkami bude proto docházet tepelné výměně. Pro jednoduchost předpokládejme, že je tato tepelná výměna ideální (tedy bez jakéhokoli předávání tepla do okolí). Výměna bude probíhat tak dlouho, než nastane rovnovážný stav, při němž se teploty obou látek vyrovnají na výsledné teplotě t . Pro tuto teplotu musí logicky platit nerovnost $t_1 < t < t_2$.

V souladu se zákonem zachování energie musí platit, že teplo $Q_2 = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t)$, jež vydá látka mající původně vyšší teplotu, se musí rovnat teplu $Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot (t - t_1)$, jež naopak přijme látka, jež měla původně teplotu nižší. Tuto skutečnost vyjadřuje **kalorimetrická rovnice** ve tvaru

$$m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t) = m_1 \cdot c_1 \cdot (t - t_1) \quad . \quad (4)$$

Látkou v kalorimetru, jež má původně nižší teplotu, bývá obvykle voda (její měrná tepelná kapacita c_1 je dobře známa a má hodnotu přibližně $4\,186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

Při tepelné výměně se však neohřívá jen studená voda samotná, ale současně vzrůstá i teplota kalorimetru (stejně jako u vody z teploty t_1 na výslednou teplotu t). Je-li C_k kapacita kalorimetru, přejde kalorimetrická rovnice (4) do přesnějšího tvaru

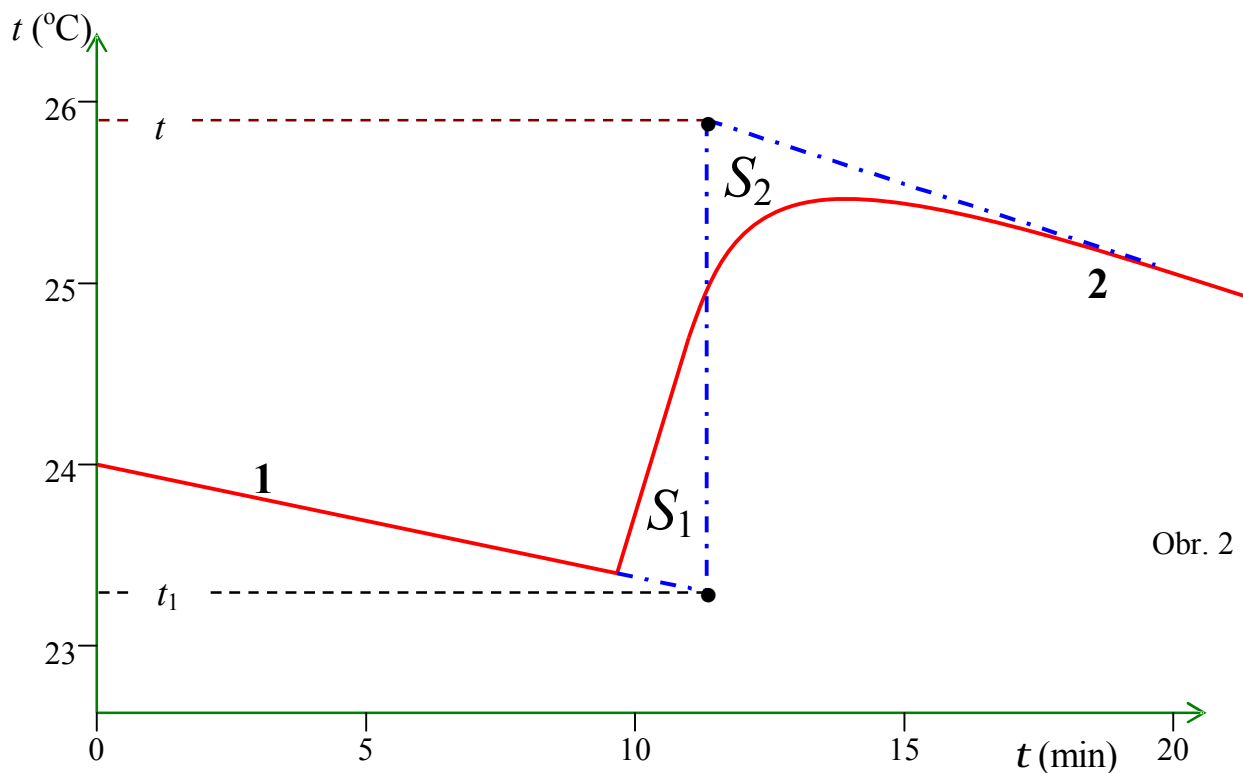
$$m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t) = m_1 \cdot c_1 \cdot (t - t_1) + C_k \cdot (t - t_1) \quad . \quad (5)$$

Pomocí této rovnice obvykle při experimentech nejprve určíme neznámou kapacitu C_k kalorimetru, a pak teprve můžeme přistoupit ke zjišťování hodnot měrných tepelných kapacit různých látek (jež v kalorimetrické rovnici vystupují jako jako veličina c_2).

Obecný průběh teploty v kalorimetru je znázorněn na obr. 2 - plná **červená** čára). Ideální tepelnou výměnu, jež by proběhla nekonečně rychle a v dokonale izolujícím kalorimetru, znázorňuje v témž grafu čerchovaná **modrá** lomená čára. Tu lze snadno zkonstruovat tak, že nejprve prodloužíme (extrapolujeme) lineární úseky 1 a 2 skutečného průběhu teploty (úsek 1 „doprava“, úsek 2 „doleva“) a spojíme je svislicí. Tato svislice musí být vedena tak, aby dvě plochy S_1 a S_2 vymezené skutečnou a ideální závislostí byly stejně velké a aby míra kompenzace provedené na straně teploty t_1 i na straně teploty t byla stejná. Hodnoty y-ových souřadnic koncových bodů čerchované svislice pak udávají jaké by byly teploty t_1 studené vody v kalorimetru a výsledná teplota t , kdyby tepelná výměna proběhla teoreticky nekonečně rychle. **Teprve tímto grafickým vyhodnocením získané hodnoty se dosazují do vztahu pro výpočet kapacity kalorimetru C_k , získaný úpravou rovnice (5). Platí, že**

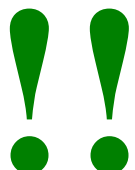
$$C_k = \left(m_2 \times \frac{t_2 - t}{t - t_1} - m_1 \right) 5c \quad (6)$$

Pozn.: V případě, že mícháme stejné kapaliny, např. teplou vodu se studenou, platí s dostatečnou přesností $c_1 = c_2 = c = 4186 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.



Obr. 2

Pozn.: Je třeba mít na paměti, že v reálných případech vždy dochází při tepelných výměnách mezi tělesy k určitým ztrátám tepla do okolí, a proto kalorimetrická rovnice (5) platí jen přibližně. Přesto, jak se sami budete moci přesvědčit, lze při správném měření dosáhnout velmi dobré shody mezi vámi zjištěnými údaji a tabulkovými hodnotami.



Měrnou tepelnou kapacitu měřeného tělesa pak vypočítáme z upravené kalorimetrické rovnice (5)

$$c = \frac{(m_1 c_1 + C_k) \times (t - t_1)}{m_2 \times (t_2 - t)} \quad (7)$$

Postup měření :

1) Přípravné práce:

Za účelem omezení prostožů během měření připravíme vybraná tělesa jejichž měrná tepelná kapacita má být změřena.

- a) Vážením na laboratorních vahách zjistíme s přesností na 0,1 g hmotnost tělesa m_2 .
- b) Těleso ponoříme do vodní lázně vyhřívané na teplotu t_2 (v rozmezí 80 až 90 °C) a ponecháme ho tam až do zahájení vlastního měření měrné tepelné kapacity c .

2) Měření tepelné kapacity kalorimetru C_k :

Úkol provedeme na základě definované tepelné výměny mezi dvěma stejnými látkami (teplou a studenou vodou), jejichž hmotnosti, teploty před výměnou i po výměně a měrné tepelné kapacity známe, a kalorimetrem, jehož kapacitu potřebujeme pro další měření určit.

K měření teploty a jejího časového průběhu využijeme teplotní čidlo **Pasport Temperature Sensor** jehož signal vedeme přes interface **Pasport USB Link** do notebooku a zaznamenáváme pomocí programu **DataStudio**.

- a) Nalijeme do kalorimetru 3 litry vody z vodovodu ($m_1 = 3$ kg) mající přibližně pokojovou teplotu a spustíme míchadlo (páčkový vypínač vpravo dole).
- b) Změříme teplotu vody – t_s digitálním teploměrem.
- c) Zkontrolujte, je-li připojen interface do USB portu počítače; pokud není, připojte ho.
- d) Zapneme notebook a v dialogovém okně PASPortal spustíme kliknutím na ikonu „**Launch DataStudio**“ program DataStudio.
 - Ⓡ zvětšíme velikost grafu;
 - Ⓡ kliknutím na osu y otevřeme okno „**Graph Settings**“; v něm nastavíme rozsah od teploty $(t_s - 1)$ °C do teploty $(t_s + 8)$ °C;
na ose x nastavíme čas: time minimum = 0 ; time maximum = 20 min.
Volbu potvrdíme OK.
 - Ⓡ dvojkliknutím na „**Temperature**“ (v okénku Data vlevo nahoře) otevřeme okno „**Data properties**“, ve kterém nastavíme v záložce „**numeric**“ počet desetinných míst (digits to right of decimal) na hodnotu 2 ; volbu potvrdíme OK.
V datovém řádku vybereme „**Time**“ a nastavíme počet desetinných míst na hodnotu 1.


- Ⓡ kliknutím na tlačítko „Setup“ otevřeme okno „Experiment Setup“ a v okénku „Sample rate“ nastavíme časový interval mezi jednotlivými body (např. 5 s).
 - Ⓡ okno Setup minimalizujeme nebo zavřeme (v pravém horním rohu) a v případě potřeby znovu upravíme velikost grafu.
- e) Vložíme teplotní čidlo do kalorimetru a kalorimetr uzavřeme.
- f) Spustíme program kliknutím na ikonu „start“

Protože vyrovnávání teplot uvnitř kalorimetru po nalití studené vody neprobíhá okamžitě, je třeba sledovat teplotu t_1 po jistou dobu, cca **8 minut**. Teprve na konci osmé minuty do kalorimetru nalijeme přesně odměřenou hmotnost m_2 horké vody (doporučujeme zhruba v rozmezí 0,3 kg až 0,4 kg), jejíž teplotu t_2 v rozmezí od 80 do 90 °C máme změřenou laboratorním teploměrem s přesností na 0,5 °C. V měření (teď už výsledné) teploty t v kalorimetru pak pokračujeme ještě **dalších cca 8 minut** po nalití horké vody.

Dbejte na to, aby měření probíhalo bez přerušení v jednom sledu !!!

- g) Kliknutím na ikonu „stop“ měření zastavíme.
- h) Výsledek uložíme (FILE, Save Activity as...) na adresu Dokumenty/Kalorimetrie pod svým jménem a následně exportujeme na vlastní Flashdisc ve formátu txt (FILE, Export Data..., Uložit jako typ).

V menu FILE otevřeme okno Export Data, zvolíme příslušnou sadu měření (Run) a potvrdíme OK. Tím se otevře okno Uložit jako. V něm Uložit do: zvolíme cílovou adresu (flashdisc); uložit jako typ: Text File (*.txt) a uložíme pod zvoleným názvem.

S pomocí funkce Smart (ikona ) odečteme teploty t a t_1 a vypočteme měrnou tepelnou kapacitu kalorimetru C_k podle rovnice (6). Průsečíkem záměrného kříže pohybujeme pomocí šipkových kláves ▲ a ►.

- i) S vypnutím programu počkáme na učitele.

3) Měření měrné tepelné kapacity c vybraných pevných látek

Úkol provádíme v podstatě téměř stejným postupem jako při určování tepelné kapacity kalorimetru.

Nejprve do kalorimetru nalijeme znova 2 litry (t.j. $m_1 = 2$ kg) vody z vodovodu mající přibližně pokojovou teplotu, spustíme míchadlo (páčkový vypínač vpravo dole) a po dobu osmi minut tuto teplotu zaznamenáváme jako u předchozího úkolu.

Na konci osmé minuty co nejpřesněji stanovíme teplotu t_2 a ohřáté těleso **rychle** vložíme do kalorimetru. Dalších osm minut pak sledujeme průběh výsledné teploty t v kalorimetru.

Stejným postupem jako v předchozím úkole odečteme hodnoty teplot t_1 a t odpovídající ideální nekonečně rychlé tepelné výměně. Měrnou tepelnou kapacitu měřeného tělesa pak vypočítáme z upravené kalorimetrické rovnice (7)

Měření opakujeme s tělesem z jiného materiálu.

- 4) Vypočítané hodnoty měrných tepelných kapacit vámi měřených těles **porovnejte s hodnotami uvedenými ve fyzikálních tabulkách** a případné rozdíly **vysvětlete !!!**

Poznámka

Měření výchozí teploty v programu DataStudio

Použitím klávesové zkratky **Alt + m** spustíme záznam teploty a na ose x odečteme její hodnotu, kterou zaznamenáme jako t_s

Po odečtení zastavíme záznam použitím klávesové zkratky **Alt + .**

Kliknutím na plochu grafu vymažeme body.

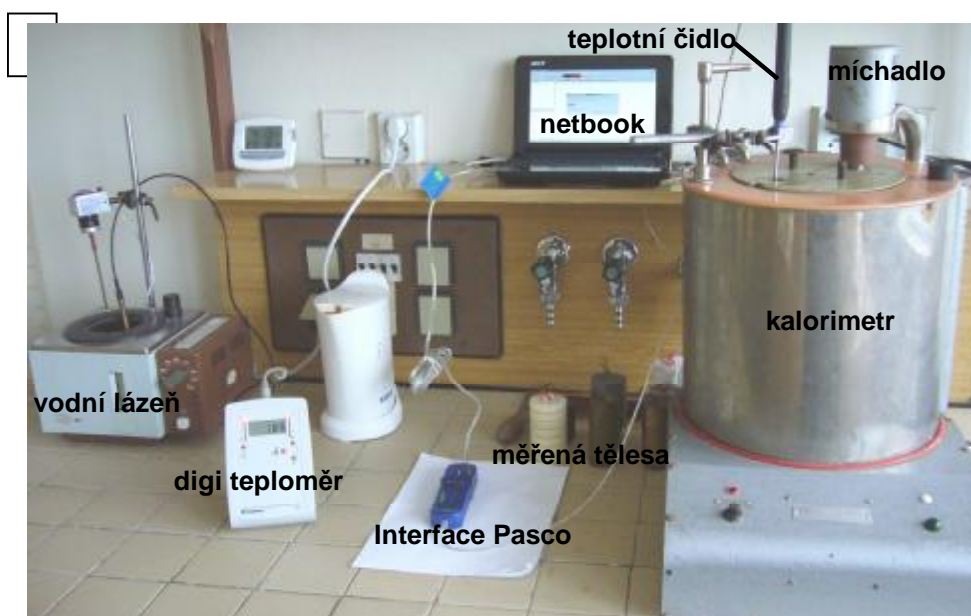
V menu zvolíme kliknutím Experiment

Monitor Data

Stop Data

Na ose y odečíst teplotu

Kliknutím na plochu grafu vymazat body



Zařízení pro měření měrné tepelné kapacity