

# Určení měrné tepelné kapacity tělesa

K čemu potřebujeme kalorimetr?

## Obsah

Úvod .....	2	Příprava úlohy (praktická příprava) .....	9
Cíle .....	2	Postup práce .....	9
Teoretický úvod .....	3	Příprava měření .....	9
Motivace studentů .....	4	Nastavení HW a SW .....	9
Doporučený postup .....	4	Vlastní měření (záznam dat) .....	9
Příprava úlohy .....	4	Analýza naměřených dat .....	10
Materiály pro studenty .....	5	Pracovní list učitele .....	11
Záznam dat .....	5	Slovníček pojmů .....	11
Analýza dat .....	5	Teoretická příprava úlohy .....	12
Syntéza a závěr .....	5	Vizualizace naměřených dat .....	12
Hodnocení .....	5	Vyhodnocení naměřených dat .....	13
Internetové odkazy a další zdroje .....	6	Závěr .....	13
Pracovní návod .....	7	Pracovní list studenta .....	15
Zadání úlohy .....	7	Slovníček pojmů .....	15
Pomůcky .....	7	Teoretická příprava úlohy .....	16
Bezpečnost práce .....	8	Vizualizace naměřených dat .....	16
Teoretický úvod .....	8	Vyhodnocení naměřených dat .....	17
		Závěr .....	18

**Zařazení do výuky**

Experiment je vhodné zařadit v rámci učiva o molekulové fyzice a termice. Vnitřní energie a teplo.

**Časová náročnost**

Dvě hodiny (2 × 45 minut)

**Tepelná výměna**

Tepelná výměna je termodynamický děj, při kterém dochází k výměně tepla mezi dvěma tělesy s různou teplotou.

Tepelná výměna vždy probíhá tak, že teplejší těleso předává část své vnitřní energie chladnějším tělesu.

Výměna tepla může probíhat vedením (kondukcí), sáláním (radiací) nebo prouděním (konvekce).

**První termodynamický zákon**

Celkové množství energie (všech druhů) izolované soustavy zůstává zachováno.

Existují však i jiné formulace, např.:

Nelze sestavit stroj, který by trvale dodával mechanickou energii, aniž by spotřeboval odpovídající množství energie jiného druhu.

Tato formulace říká, že neexistuje tepelný stroj, který by porušoval zákon zachování energie tím, že by cyklicky vykonával mechanickou práci bez přísunu energie. Takový stroj se označuje jako perpetuum mobile prvního druhu.

**Druhý termodynamický zákon****Clausiusova formulace**

Teplo nemůže při styku dvou těles různých teplot samovolně přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší.

Teplo tedy nepřechází samovolně z prostředí o nižší teplotě

# Úvod

V tomto laboratorním cvičení studenti určí měrnou tepelnou kapacitu tělesa z kalorimetrické rovnice. Na základě dané hodnoty vyhledá v tabulkách materiál, ze kterého je těleso vyrobeno.

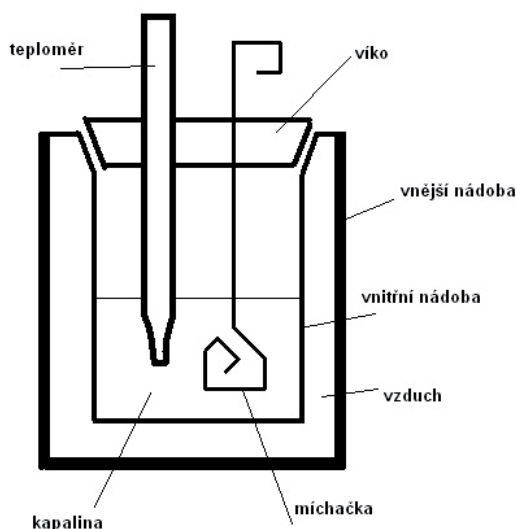
# Cíle

Studenti by měli zvládnout:

- používat rychlou teplotní sondu,
- číst a analyzovat data z grafů,
- určit počáteční a konečnou teplotu,
- určit hmotnost kapaliny, kalorimetru,
- vyjádřit měrnou tepelnou kapacitu z kalorimetrické rovnice,
- nalézt v tabulkách látku, které odpovídá určená měrná tepelná kapacita.

## Teoretický úvod

K experimentálnímu určení tepla  $Q$ , tepelné kapacity  $C$ , resp. měrné tepelné kapacity  $c$  slouží **kalorimetr**. Směšovací kalorimetr je tepelně izolovaná nádoba s míchačkou a teploměrem (v našem případě rychlou teplotní sondou), která je naplněna vodou.



Obrázek 1

Do směšovacího kalorimetru s kapalinou vložíme těleso, jehož teplota je větší než teplota kapaliny. Předpokládejme, že látka, z níž je těleso zhotoveno, nereaguje chemicky s kapalinou a že při tepelné výměně mezi kapalinou a tělesem nenastává změna skupenství. Hmotnost teplejšího tělesa označme  $m_1$ , jeho počáteční teplotu  $t_1$  a měrnou tepelnou kapacitu látky, z níž je těleso zhotoveno  $c_1$ . Kapalina nechť má hmotnost  $m_2$ , počáteční teplotu  $t_2$  ( $t_2 < t_1$ ), měrnou tepelnou kapacitu  $c_2$ . Tepelná výměna bude probíhat tak dlouho, až nastane rovnovážný stav, přičemž se teploty tělesa a kapaliny vyrovnají na výslednou teplotu  $t$  ( $t_2 < t < t_1$ ). Je-li  $C_K$  tepelná kapacita kalorimetru, můžeme vyjádřit:

teplo  $Q_1 = m_1 c_1 (t_1 - t)$ , které odevzdá těleso;

teplo  $Q_2 = m_2 c_2 (t - t_2)$ , které přijme kapalina;

teplo  $Q_K = C_K (t - t_2)$ , které přijme soustava kalorimetru.

Ze zákona zachování energie vyplývá, že  $Q_1 = Q_2 + Q_K$ , neboli platí tzv. kalorimetrická rovnice:

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

do prostředí s vyšší teplotou. Tento přechod se v praxi nepotvrdil, ale není vyloučený.

### W. Thomsonova a Planckova formulace

Nelze sestavit periodicky pracující tepelný stroj, který by trvale konal práci pouze tím, že by ochlazoval jedno těleso, a k žádné další změně v okolí by nedocházelo.

Z praxe víme, že všechny druhy energií lze přeměnit na teplo. Obrácený přechod bez zbytku je z hlediska pravděpodobnosti nerealizovatelný a v praxi jej nepozorujeme.

### W. Thomsonova a Ostwaldova formulace

Nelze sestavit perpetuum mobile druhého druhu.

Není možné sestavit periodicky pracující stroj, který by jen přijímal teplo od určitého tělesa (ohřívače) a vykonával stejně velkou práci. Každý takový stroj pracuje, tak že přijímá od ohřívače teplo  $Q_1$  a chladiči odevzdá teplo  $Q_2$  ( $Q_2 < Q_1$ ), přičemž vykoná práci  $W = Q_1 - Q_2$ .

### Carnotova formulace

Žádný tepelný stroj pracující mezi dvěma teplotami nemůže mít vyšší účinnost než Carnotův stroj pracující mezi stejnými teplotami.

### Dewarova nádoba

Termoska (též termoláhev) je speciálně vyrobená láhev, která slouží k uchování teploty obsahu. Například teplého nebo studeného nápoje (pokrmu). V roce 1892 ji vynalezl pracovník Oxfordské univerzity Sir James Dewar, který potřeboval pro účely laboratorních pokusů nádobu, která by po dlouhou dobu udržela velmi chladné tekutiny. V laboratorním a průmyslovém použití se používá název Dewarova nádoba nebo i dewarka. Používá se například k uchování kapalného dusíku.

Základem termosky je dvojitá vnitřní nádoba s lesklými dvo-

jitými stěnami, z mezery mezi stěnami obou nádob je vyčerpán vzduch. Přes toto vakuum nemůže teplo pronikat vedením, tepelné záření se odráží zpět od lesklých stěn, u nádoby uzavřené zátkou je omezen i přenos prouděním.

### Slovníček pojmů

VNITŘNÍ ENERGIE

TERMODYNAMICKÁ TEPLOTA

TEPLO

TEPELNÁ KAPACITA

MĚRNÁ TEPELNÁ KAPACITA

TEPELNÁ VÝMĚNA

KALORIMETRICKÁ ROVNICE

PRVNÍ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

DRUHÝ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

### Přehled pomůcek

- PASPORT Xplorer
- rychlá tepelná sonda
- kalorimetr
- voda
- digitální váha
- těleso z neznámé látky
- vaříč nebo rychlovarná konvice
- pracovní návod
- pracovní list
- ochranné pracovní pomůcky

### Seznámení s úlohou

Studentům je potřeba zdůraznit, aby těleso zahřáté na teplotu varu nebylo dlouho mimo nádobu s vroucí vodou a přenesení proběhlo za co možná nejkratší dobu.

Kalorimetrická rovnice vyjadřuje energetickou bilanci při tepelné výměně mezi tělesy v kalorimetru. Můžeme z ní vypočítat např. měrnou tepelnou kapacitu  $c_1$  látky, známe-li měrnou tepelnou kapacitu  $c_2$  druhé látky a změříme-li ostatní veličiny:

$$c_1 = \frac{m_2 c_2 (t - t_2) + c_K (t - t_2)}{m_1 (t_1 - t)}$$

## Motivace studentů

Se studenty rozebereme tepelnou výměnu a její uplatnění v běžném životě.

Objasníme pojmy perpetuum mobile I. a II. typu. Zopakujeme veličiny vyskytující se v kalorimetrické rovnici.

Objasníme postup, který použijeme při určení měrné tepelné kapacity v našem experimentu.

## Doporučený postup

1. Každá pracovní skupina obdrží „pracovní návod“ a každý student dostane „pracovní list“. Studenti si nejprve přečtou návod a teprve pak začnou s přípravou vlastního experimentu.
2. Dopoučujeme, aby každý člen pracovní skupiny dostal svůj specifický úkol. Pro čtyřčlennou skupinu například:
  - *student 1* – vedoucí týmu – ručí za to, že skupina bude při práci postupovat podle pracovního návodu,
  - *student 2* – koordinuje vyplňování pracovních listů a vyplněné pracovní listy vybírá (každý student si vyplní svůj pracovní list),
  - *student 3, 4* – mají na starosti sestavení/nastavení a obsluhu použitých přístrojů.

## Příprava úlohy

Nechte studenty vyplnit (za domácí úkol nebo na začátku práce) slovníček v „pracovním listě“. Je nezbytné,

aby studenti tyto části vypracovali před vlastní experimentální činností.

Zjistěte, jak studenti přípravnou část úlohy vypracovali.

## Materiály pro studenty

„Pracovní návod“ postupně provede studenty („krok za krokem“) celou úlohou.

„Pracovní list“ slouží studentům k zaznamenání získaných dat, jejich analýze a pochopení.

## Záznam dat

Postup při zaznamenávání dat je popsán v „pracovním listu“. Upozorněte studenty na to, že před vlastním započítáním měření je třeba úloze opravdu porozumět.

## Analýza dat

Naměřená data použijí studenti k zodpovězení otázek v „pracovním listu“.

V učitelské verzi pracovního listu jsou uvedeny typické odpovědi studentů.

## Syntéza a závěr

Poté, co studenti vyplní své „pracovní listy“, společně shrneme získané poznatky a v tabulkách určíme neznámou látku, pro kterou jsme experimentálně určili měrnou tepelnou kapacitu. Porovnáme zjištěné výsledky se skutečností a provedeme diskusi.

## Hodnocení

- Sestavili a použili studenti laboratorní zařízení správně?
- Postupovali korektně podle pracovního postupu?
- Vypracovali studenti správně své „pracovní listy“?
- Stanovili výslednou měrnou tepelnou kapacitu správně?
- Jsou studenti schopni zdůvodnit případné rozpory ve výsledku?



### **Pasco zdroje**

Na stránkách [www.pasco.com](http://www.pasco.com) a [www.pasco.cz](http://www.pasco.cz) naleznete řadu dalších zdrojů.

## **Internetové odkazy a další zdroje**

### **Kalorimetr**

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kalorimetr>

### **První termodynamický zákon**

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Prvn%C3%AD\\_termodynamick%C3%BD\\_z%C3%A1kon](http://cs.wikipedia.org/wiki/Prvn%C3%AD_termodynamick%C3%BD_z%C3%A1kon)

### **Druhý termodynamický zákon**

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Druh%C3%BD\\_termodynamick%C3%BD\\_z%C3%A1kon](http://cs.wikipedia.org/wiki/Druh%C3%BD_termodynamick%C3%BD_z%C3%A1kon)

### **Literatura**

E. Svoboda a kolektiv: Přehled středoškolské fyziky

**FYZIKA**

laboratorní cvičení č. 2

**2**

• FYZIKA

**Určení měrné tepelné kapacity tělesa (návod)****Zadání úlohy**

Z kalorimetrické rovnice vyjádřete měrnou tepelnou kapacitu neznámého tělesa a určete o jakou látku se jedná.

**Pomůcky**

- PASPORT Xplorer
- rychlá tepelná sonda
- kalorimetr
- voda
- digitální váha
- těleso z neznámé látky
- vaříč nebo rychlovarná konvice
- *pracovní návod*
- *pracovní list*
- *ochranné pracovní pomůcky*

PRACOVNÍ NÁVOD



## Bezpečnost práce

*Pracujte pečlivě a v souladu s pracovním návodem. V laboratoři používejte laboratorní plášť a případně další pomůcky v souladu se správnou laboratorní praxí. Použijte ochranné pomůcky při práci s tělesem zahřátým na teplotu varu.*

## Teoretický úvod

K experimentálnímu určení tepla  $Q$ , tepelné kapacity  $C$ , resp. měrné tepelné kapacity  $c$  slouží **kalorimetr**. Směšovací kalorimetr je tepelně izolovaná nádoba s míchačkou a teploměrem (v našem případě rychlou teplotní sondou), která je naplněna vodou.

Do směšovacího kalorimetru s kapalinou vložíme těleso, jehož teplota je větší než teplota kapaliny. Předpokládejme, že látka, z níž je těleso zhotoveno, nereaguje chemicky s kapalinou a že při tepelné výměně mezi kapalinou a tělesem nenastává změna skupenství. Hmotnost teplejšího tělesa označme  $m_1$ , jeho počáteční teplotu  $t_1$  a měrnou tepelnou kapacitu látky, z níž je těleso zhotoveno  $c_1$ . Kapalina nechť má hmotnost  $m_2$ , počáteční teplotu  $t_2$  ( $t_2 < t_1$ ), měrnou tepelnou kapacitu  $c_2$ . Tepelná výměna bude probíhat tak dlouho, až nastane rovnovážný stav, přičemž se teploty tělesa a kapaliny vyrovnají na výslednou teplotu  $t$  ( $t_2 < t < t_1$ ). Je-li  $C_k$  tepelná kapacita kalorimetru, můžeme vyjádřit:

teplo  $Q_1 = m_1 c_1 (t_1 - t)$ , které odevzdá těleso;

teplo  $Q_2 = m_2 c_2 (t - t_2)$ , které přijme kapalina;

teplo  $Q_K = C_K (t - t_2)$ , které přijme soustava kalorimetru.

Ze zákona zachování energie vyplývá, že  $Q_1 = Q_2 + Q_K$ , neboli platí tzv. kalorimetrická rovnice:

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

Kalorimetrická rovnice vyjadřuje energetickou bilanci při tepelné výměně mezi tělesy v kalorimetru.



## Příprava úlohy (praktická příprava)


Nejprve zpracujte slovníček a teoretickou přípravu na „pracovním listě“ a teprve potom začněte pracovat v laboratoři.

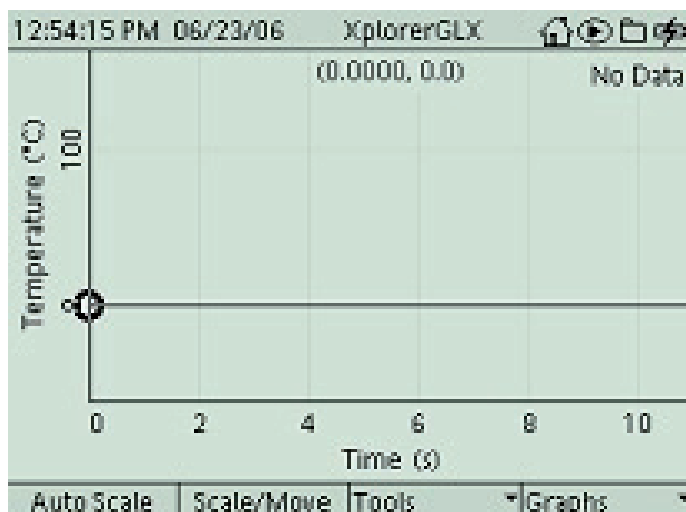
## Postup práce

### Příprava měření

1. Použijte digitální váhu k určení hmotností tělesa a kalorimetru.
2. Naplňte kalorimetr vodou, znovu určete hmotnost a dopočítejte hmotnost vody.
3. Ohřejte zkoumané těleso na teplotu varu.

### Nastavení HW a SW

1. Zapněte GLX (☺). Zapojte rychlou teplotní sondu do portu  nacházejícím se na levé straně Xplorera GLX. Objeví se graf závislosti teploty na čase.



Obrázek 2



Obrázek 3

### Vlastní měření (záznam dat)

1. Vložte sondu do kalorimetru.
2. Stiskněte **Start** (▶) a začněte měřit.
3. Vložte zahřáté těleso.
4. Pokračujte v měření dokud nedojde k ustálení teploty.
5. Ukončete měření opětovným stiskem tlačítka **Start** (▶).

### **Analýza naměřených dat**

1. Změnu velikosti zobrazených dat provedte stiskem tlačítka **F1**.
2. Určete počáteční a konečnou teplotu experimentu. K pohybu v grafu použijte šipky.
3. Z naměřených hodnot vypočítejte měrnou tepelnou kapacitu.
4. V tabulkách určete o jakou látku se jedná.

**FYZIKA**

laboratorní cvičení č. 2

**2**

• FYZIKA

**Určení měrné tepelné kapacity tělesa  
pracovní list (učitel)****Slovníček pojmů**

Použijte dostupné zdroje a najděte definice níže uvedených fyzikálních termínů.

**Teplo:**

*Teplo je část vnitřní energie, kterou systém vymění (tj. přijme nebo odevzdá) při styku s jiným systémem, aniž by přitom docházelo ke konání práce.*

**Tepelná výměna:**

*Tepelná výměna je termodynamický děj, při kterém dochází k výměně tepla mezi dvěma tělesy s různou teplotou. Tepelná výměna vždy probíhá tak, že teplejší těleso předává část své vnitřní energie chladnějšímu tělesu.*

*Výměna tepla může probíhat vedením (kondukcí), sáláním (radiací) nebo prouděním (konvekce).*

PRACOVNÍ LIST (UČITEL)

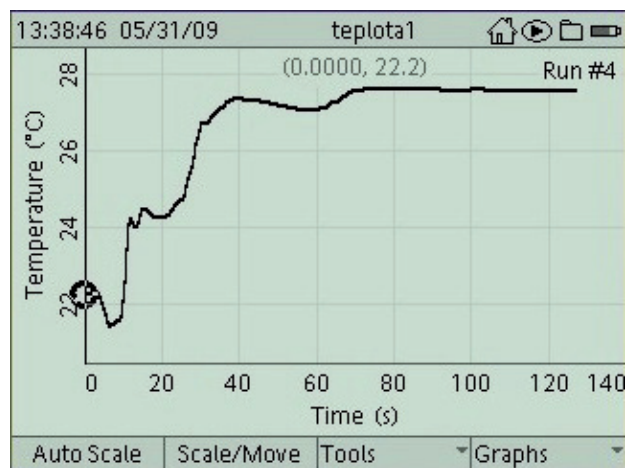
## Teoretická příprava úlohy

### Hypotéza

Odhadněte z jakého kovu je dané těleso. Potvrdí experiment váš odhad?

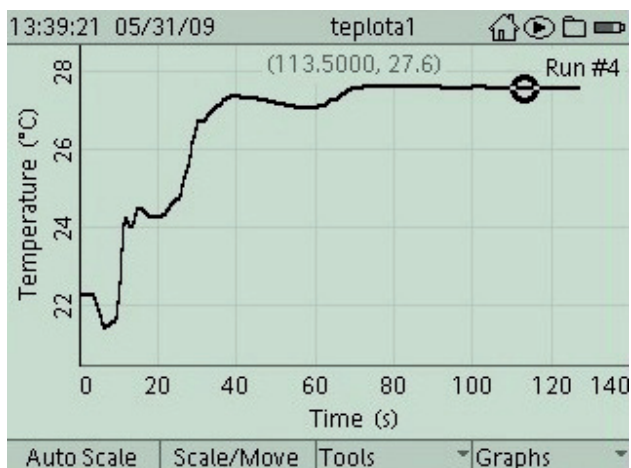
## Vizualizace naměřených dat

počáteční teplota



Obrázek 4

konečná teplota



Obrázek 5

### 💡 Tip

K odečtení rozdílu dvou hodnot v grafu lze použít nástroje **Delta Tool** v nabídce nástrojů „Tools Menu“.

## Vyhodnocení naměřených dat

Naměřené hodnoty doplňte do následující tabulky:

hmotnost tělesa [kg]	0,100
hmotnost prázdného kalorimetru [kg]	0,340
hmotnost kalorimetru s vodou [kg]	0,460
hmotnost vody [kg]	0,120
počáteční teplota vody [°C]	22,2
počáteční teplota tělesa [°C]	100
konečná teplota soustavy [°C]	27,6

Výpočty:

$$c_1 = \frac{m_2 c_2 (t - t_2) + C_k (t - t_2)}{m_1 (t_1 - t)}$$

$$c_1 = \frac{0,120 \cdot 4180 (27,6 - 22,2) + 90 (27,6 - 22,2)}{0,100 \cdot (100 - 27,6)}$$

$$c_1 = 441,25 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

## Závěr

1. Experimentálně zjištěná hodnota měrné tepelné kapacity neznámé látky:

$$c_1 = 441,25 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

*Tato hodnota odpovídá v tabulkách přibližně hodnotě měrné tepelné kapacity NIKLU:*

$$c_{Ni} = 446 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

*Neznámé těleso je opravdu z niklu. Experimentálním měřením jsme to dokázali.*

2. Pokud měrná tepelná kapacita neodpovídá skutečnosti, uveď, které skutečnosti ovlivnily výslednou hodnotu.

*Odpovědi se mohou lišit v závislosti na použitém materiálu.*



## Pracovní list studenta

skupina:.....

jméno:..... třída:..... datum:.....

---

### Slovníček pojmů

Použijte dostupné zdroje a najděte definice níže uvedených fyzikálních termínů.

**Teplo:**

**Tepelná výměna:**

## **Teoretická příprava úlohy**

### *Hypotéza*

Odhadněte z jakého kovu je dané těleso. Potvrdí experiment váš odhad?

## **Vizualizace naměřených dat**



## Vyhodnocení naměřených dat

Naměřené hodnoty doplňte do následující tabulky:

hmotnost tělesa [kg]	
hmotnost prázdného kalorimetru [kg]	
hmotnost kalorimetru s vodou [kg]	
hmotnost vody [kg]	
počáteční teplota vody [°C]	
počáteční teplota tělesa [°C]	
konečná teplota soustavy [°C]	

*Výpočty:*

## Závěr

1. Experimentálně zjištěná hodnota měrné tepelné kapacity neznámé látky:

2. Pokud měrná tepelná kapacita neodpovídá skutečnosti, uveďte, které skutečnosti ovlivnily výslednou hodnotu.