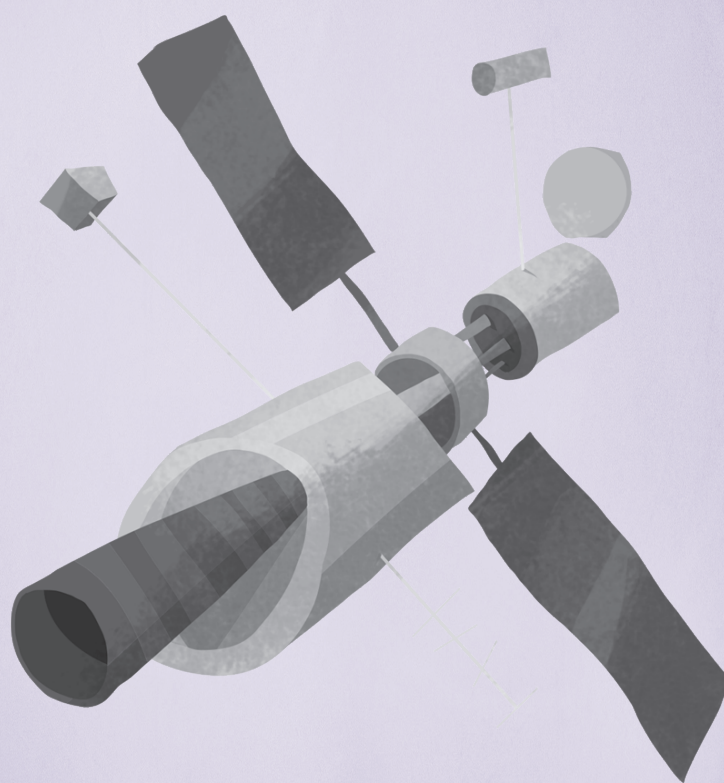


FYZIKA

TEPLO, TEPELNÁ KAPACITA TĚLES



Akademie věd ČR hledá mladé vědce

OTEVŘENÁ VĚDA

AKADEMIE VĚD ČR



Úvodní list

Předmět:	Fyzika
Cílová skupina:	2. ročník SŠ/G
Délka trvání:	90 min.
Název hodiny:	Teplo a tepelná kapacita
Výukový celek:	Stavba a vlastnosti látek
Vzdělávací oblast v RVP:	Člověk a příroda
Průřezová témata:	<p><u>Multikulturní výchova</u> – Práce ve dvojicích i ve skupinách pomáhá při začleňování žáků minoritních skupin do majoritní společnosti, rozvoj empatie a tolerance k jiným etnikům.</p> <p><u>Výchova demokratického občana</u> – Rozvoj dovednosti formulovat vlastní myšlenky, výsledky pozorování, schopnost argumentace a obhajoba vlastního názoru.</p> <p><u>Osobnostní a sociální výchova</u> – Rozvoj kognitivních schopností, kooperace, práce ve dvojicích, práce ve skupinách.</p> <p><u>Enviromentální výchova</u> – Rozvoj ekologického myšlení. Žák si uvědomuje dopad lidské činnosti na životní prostředí (ekonomicky optimální je ohřev vody ve varné konvici – minimální ztráty energie).</p>
Mezipředmětové vztahy:	<p>Chemie – vlastnosti kovových látek podle jejich chemické struktury vedou k rychlému šíření tepla.</p> <p>Matematika – výpočty chyby měření.</p> <p>Informatika a informační a komunikační technologie – zpracování úlohy pomocí lineární regrese a extrapolace křivky průběhu teploty.</p>
Výukové metody:	Výklad, heuristický rozhovor, samostatná práce, učitelský experiment, žákovský experiment, práce s grafem.
Organizační formy výuky:	Frontální, skupinová, párová, individuální.
Vstupní předpoklady:	Žák chápe energii pohybujících se částic látek a zná kalorimetrickou rovnici a pojmy vnitřní energie, teplo, měrná tepelná kapacita, teplota a jednotky těchto veličin.
Očekávané výstupy:	Žák rozumí mechanismu šíření tepla vedením v pevných látkách, umí ho kvalitativně vysvětlit s ohledem na rozdělení teploty v prostoru a čase. Je schopen provést jednoduché měření ponorným teploměrem v kapalině a je si vědom



možných omezení přesnosti tohoto měření. Dokáže zpracovat extrapolací naměřený graf časového průběhu teploty a identifikovat potřebné veličiny. Je schopen určit chybu měření a kriticky porovnat naměřené hodnoty s tabulkovými daty.

Výukové cíle: Žák dovede podle návodu sestavit a provést měření, naměřené hodnoty s použitím matematických nástrojů zpracuje.

Klíčové kompetence: Kompetence k učení: Žák se učí propojovat teoretické poznatky s ději v běžném životě (přenos tepla v prostoru a čase, použitá aproximace).

Kompetence k řešení problémů: Žák se učí porozumět principům přenosu tepla. Učí se správnému pořadí kroků při provedení experimentu tak, aby na nic v provedení experimentu nezapomněl (promyšlení časového postupu experimentu před jeho začátkem). Žák se učí vyhledávat informace o vlastnostech látek z odborného textu nebo elektronických médií.

Kompetence komunikativní: Žák se učí úsporně a přesně komunikovat prostřednictvím odborného jazyka (pojmy teplota, měrná tepelná kapacita). Žák se učí vyjadřovat přehledně graficky (extrapolace v grafu).

Kompetence sociální a personální: Žák se učí vytvářet sebehodnocení. Učí se vytvářet metodiku práce ve dvojicích (kooperace při odečtu hodnot teploty) a ve skupinách (práce s textem). Žák je veden k přiměřenému kritickému posouzení své práce.

Kompetence občanské: Žák se učí spolupracovat a vážit si pomoci spolužáků.

Kompetence pracovní: Žák se učí trpělivosti, pečlivosti a přesnosti při vlastním měření i při záznamu naměřených dat a jejich zpracování. Učí se nenechat se odradit neúspěšně provedeným pokusem a odpovídajícím bezpečnému zacházení s pomůckami a přístroji (teploměr a váhy, horká voda).

Formy a prostředky hodnocení: Slovní hodnocení průběžné a závěrečné, sebehodnocení, zpětná vazba.

Kritéria hodnocení: Splnění stanovených cílů, spolupráce ve dvojici. Komunikativní a prezentační dovednosti žáků.

Pomůcky: Datová projekce (dataprojektor a notebook) nebo školní tabule, křídly/fixy, pomůcky k provedení experimentu (vzorky materiálů, teploměr, hodinky, nádobka, držáček teploměru, utěrka, návod, váhy, varná konvice), sešit, pracovní listy, psací potřeby, pravítko a kalkulačka.



Časový a obsahový plán výukového celku (90 min.)

Název hodiny: Teplo, tepelná kapacita

Čas (min.)	Struktura výuky	Činnost učitele	Činnost žáků	Organizační formy výuky		Hodnocení	Pomůcky	Poznámka
				Výukové metody				
5	Zahájení	Pozdrav, oznámení průběhu hodiny, tématu hodiny a cíle hodiny	Pozdrav, pochopení cíle	Frontální Výklad		Zpětná vazba	-	-
10	Opakování	Rozdává pracovní listy na opakování učiva z předešlých hodin	Každý samostatně pracuje na řešení pracovního listu	Frontální Samostatná práce		Kvantitativní	Pracovní listy pro studenty – Opakování	Pracovní list je uveden v příloze Opakování, řešení pracovního listu je v dokumentu Opakování – řešení pro pedagogy
15	Výklad metodiky experimentu	Popisuje princip měřicí metody pro určení měrné tepelné kapacity kovů, klade při tom dotazy; promítá výklad z připravené prezentace nebo píše potřebné vztahy na tabuli; klade žákům související dotazy	Vyvolání žáci odpovídají na dotazy	Frontální Výklad, heuristický rozhovor		Slovní, zpětná vazba	Tabule, klířda/fixy, dataprojektor, počítač	-
10	Procvičování metodiky experimentu a bezpečnostních zásad	Výklad možných rizik (horká voda, ostré okraje nádoby) a opatření na jejich zamezení při provádění experimentu; žákům rozdává pomůcky k experimentu, seznámí je s funkcí a ovládním teploměru a vah; kontroluje práci žáků, popř. pomáhá se sestavením experimentu, vážením	Žáci sestavují pomůcky na experiment a seznámí se s ovládním teploměru a manipulací s pomůckami; pochopení zásad bezpečnosti práce; vyvolání žáci odpovídají na dotazy	Frontální, párová, individuální Výklad		Slovní, zpětná vazba	Tabule, pomůcky na experiment, pracovní listy pro studenty	Pracovní list je uveden v příloze Pracovní list pro studenta, řešení pracovního listu je v dokumentu Pracovní list pro pedagoga
30	Skupinová práce	Dává pokyn k rozdělení žáků do skupin a dvojic, následně kontroluje jejich práci, popř. pomáhá s řešením	Každá skupina, dvojice pracuje na řešení přidělených úkolů; po provedení měření doplňují pracovní listy	Skupinová, párová Práce s textem		Slovní, zpětná vazba	Matematicko-fyzikální tabulky, pracovní listy pro studenty	Pracovní list je uveden v příloze Pracovní list pro studenta, řešení pracovního listu je v dokumentu Pracovní list pro pedagoga



15	Ukončení experimentu a zadané práce	Úklid pomůcek, zhodnocení odpovědí na zadané otázky	Úklid pomůcek, sdělování odpovědí na zadané otázky; prezentace výsledků skupinami	Rozhovor Frontální, skupinová	Slovní	-	-
5	Shrnutí, ukončení hodiny	Zopakování nejzákladnějších poznatků z hodiny; dotazy na žáky	Odpovědi na dotazy vyučujícího	Rozhovor Frontální	Slovní	-	-



Pracovní list pro studenta

Název: Teplo, tepelná kapacita

Jméno:

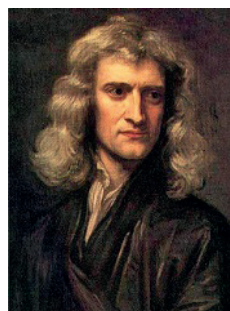
a) Úkol

Změř měrnou tepelnou kapacitu kovů pomocí Newtonova zákona ochlazování.

b) Výklad

Částice látky si na rozhraní mezi dvěma tělesy vyměňují energii bez přenosu hmoty vzájemnými nárazy o sebe, tzv. tepelnou výměnou. Samovolně přechází teplo pouze z tělesa teplejšího na těleso chladnější, až se postupně vyrovnají průměrné vnitřní energie na jednu částici v obou tělesech, tj. dojde k vyrovnání teplot mezi oběma tělesy.

Těleso samovolně ochlazované okolním prostředím při malém rozdílu teplot vzhledem k okolí (např. chladnoucí horká voda v nádobě) má v čase proměnnou teplotu. Časový průběh teploty se řídí tzv. Newtonovým zákonem ochlazování, který lze aproximovat lineární časovou závislostí. Po skokové změně teploty vody v nádobě (např. odebráním určité části tepla) se závislost po velmi krátké době vrací k původnímu lineárnímu průběhu avšak posunutému k nižším teplotám. Rychlé odebrání tepla lze provést nejlépe vložením dobře tepelně vodivých kovových tyček odebírajících teplo z okolní horké vody. Kvantitativními zákony přenosu tepla se zabýval také J. Fourier, podle něj je nazván jeden ze zákonů pro množství přenášeného tepla.



Isaac Newton (*1643 – †1727) [1] – jeden z nejvýznamnějších anglických matematiků a fyziků všech dob. V matematice je spolu s G. W. Leibnizem zakladatelem diferenciálního a integrálního počtu. Ve fyzice se věnoval studiu vlastností světla a jeho rozkladu na jednotlivé barvy duhy a také pohybu tzv. Newtonovských viskozních kapalin. Nejvíce je však znám pro své univerzální zákony mechaniky pohybu těles (tzv. Newtonovy pohybové zákony) a klasickou teorii gravitace (tzv. Newtonův gravitační zákon). Pohybové zákony publikoval v knize *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687).



Jean Baptiste Joseph Fourier (*1768 – †1830) [2] – francouzský matematik a fyzik. V matematice je podle něj nazvána např. Fourierova transformace a Fourierův rozvoj. Ve fyzice je podle něj nazván zákon šíření tepla, podle něhož je tepelný tok úměrný součiniteli tepelné vodivosti a rozdílu teplot tělesa a okolí. Objevil také např. skleníkový jev. Vedení tepla popsal v knize *Théorie analytique de la chaleur* (1822).

c) Pomůcky

Sada pomůcek (teploměr, vzorky kovových materiálů, nádobka, kolíček, gumičky, utěrka, návod na ovládání přístrojů), váhy, varná konvice pro ohřev vody, hodinky/stopky s odečtem po sekundách, voda



d) Pracovní postup

Bezpečnostní pokyny: Opatrně manipulujeme s vařící vodou při jejím nalévání z varné konvice do nádoby a při manipulaci s nádobkou s horkou vodou (např. přenášení k vážení, vylévání vody), dáváme pozor na převrhnutí nádoby! K manipulaci s plechovkou s horkou vodou použijeme přiloženou utěrku. Dáváme také pozor na možné poranění o ostré okraje nádoby!

1. Zvaž si nádobku a kovové tyčky, urči hmotnosti M_N , M_K .
2. Připrav si teploměr – teploměrné čidlo (typ ST-9287, rozsah $-50\text{ }^\circ\text{C}$ až $+150\text{ }^\circ\text{C}$) připevni na kolíček pryžovými gumičkami a upevni ho na okraj nádoby – viz Obrázek 1. Teploměrem změř pokojovou teplotu T_P .



Obrázek 1. Teploměrné čidlo a jeho připevnění na kolíček a plechovku.

3. Připrav si kovové tyčky, sepni je gumou a zajisti brzdíčkou – viz Obrázek 2. Snaž se tyček co nejméně dotýkat holou rukou, abys je neohřál a nezvýšil tak jejich teplotu nad T_P .



Obrázek 2. Uspořádání experimentu – vlevo jsou kovové tyčky sepnuty gumovým vláknem, zajištěny brzdíčkou a připraveny pro vhození do vody.

4. Připrav si hodinky a displej teploměrného čidla. Ohřej vodu ve varné konvici do varu, chvíli počkej, až var přestane a vodu nalij do nádoby s teploměrem. Nalij takové množství vody, které má hladinu mezi ryskami MIN-MAX vyznačenými na nádobce. Tím máš zajištěno, že po vložení kovových tyček budou tyčky zcela ponořeny do vody a voda nepřeteče z nádoby ven. Začni odečítat teplotu chladnoucí vody v časových úsecích po 10–15 s po dobu asi 5 minut (teplota se přitom sníží zhruba na $70\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$), hodnoty zapisuj do připravené tabulky.



5. Za stálého odečítání teploty vhod' kovové tyčky do nádobky, zaznamenej si tento časový okamžik t_0 a odečítej teploty dalších asi 5 minut. S kovovými tyčkami manipuluj pouze pomocí brzdičky, která je pomocí gumového vlákna drží pohromadě. Do vody je spusť co nejrychleji všechny naráz, nedotýkej se tyček holou rukou.

Tabulka naměřených hodnot

Čas [s]	Teplota vody v nádobce [°C]			Čas [s]	Teplota vody v nádobce [°C]		
	Hliník	Mosaz	Nerez ocel		Hliník	Mosaz	Nerez ocel
0				315			
15				330			
30				345			
45				360			
60				375			
75				390			
90				405			
105				420			
120				435			
135				450			
150				465			
165				480			
180				495			
195				510			
210				525			
225				540			
240				555			
255				570			
270				585			
285				600			
300				615			

$t_0 = \dots\dots\dots$ s

6. Po skončení odečtu teploty zvaž nádobku spolu s vodou a kovovými tyčkami, rozdílem urči hmotnost nalité vody M_V . S nádobkou s horkou vodou manipuluj velmi opatrně!
7. Graficky zobraz průběh teploty chladnoucí vody v nádobce – použij milimetrový papír, nebo počítačový program Excel. Extrapoluj křivku teploty před vložením a po vložení kovových tyček lineární závislostí do stejného okamžiku t_0 , kdy jsi vložil tyčky do vody. Určuješ teploty T_H a T_D jako hodnoty na těchto křivkách v čase t_0 .
8. Podle vztahu vypočti měrnou tepelnou kapacitu kovových tyček c_K , najdi měrnou tepelnou kapacitu vody c_V v tabulkách [3].
9. Měření opakuj pro další vzorky kovových materiálů – hliník, mosaz a nerez ocel. Nádobku znovu vážit nemusíš, také pokojovou teplotu již máš určenou z předchozího měření.
10. Urči relativní chybu měření měrné tepelné kapacity podle vztahu

$$\vartheta_r(c_K) = \vartheta_r(M_V) + \vartheta_r(M_K) + \vartheta_r(T_H - T_D) + \vartheta_r(T_D - T_P),$$

kde relativní chyby rozdílů teplot [4] určíme jako



$$\vartheta_r(T_H - T_D) = \left| \frac{\vartheta(T_H) + \vartheta(T_D)}{T_H - T_D} \right| = \left| \frac{T_H}{T_H - T_D} \right| \vartheta_r(T_H) + \left| \frac{T_D}{T_H - T_D} \right| \vartheta_r(T_D)$$

$$\vartheta_r(T_D - T_P) = \left| \frac{\vartheta(T_D) + \vartheta(T_P)}{T_D - T_P} \right| = \left| \frac{T_D}{T_D - T_P} \right| \vartheta_r(T_D) + \left| \frac{T_P}{T_D - T_P} \right| \vartheta_r(T_P)$$

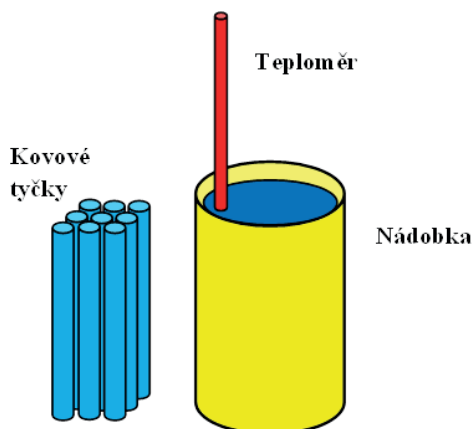
Celkem je chyba vyjádřena vztahem

$$\begin{aligned} \vartheta_r(c_K) &= \vartheta_r(M_V) + \vartheta_r(M_K) + \\ &+ \left| \frac{T_H}{T_H - T_D} \right| \vartheta_r(T_H) + \left| \frac{T_D(T_H - T_P)}{(T_H - T_D)(T_D - T_P)} \right| \vartheta_r(T_D) + \left| \frac{T_P}{T_D - T_P} \right| \vartheta_r(T_P) \end{aligned}$$

Měrnou tepelnou kapacitu vody c_V bereme jako hodnotu se zanedbatelnou chybou $\vartheta_r(c_V) \approx 0$. Hmotnosti měříš na vahách s přesností 0,1 g s relativní chybou 0,1 %, teploty určuješ teploměrem s přesností 0,1 °C s relativní chybou lepší než 0,5 %.

e) Zpracování pokusu

Jako nádobku použijeme lehkou nápojovou plechovku o zanedbatelné hmotnosti s horkou vodou a tenkými kovovými tyčkami – viz Obrázek 3.



Obrázek 3. Uspořádání experimentu.

Označ následující veličiny:

- Hmotnost vody v nádobě M_V
- Hmotnost nádoby M_N
- Hmotnost kovových tyček M_K
- Teplota vody před vložením tyček T_H
- Teplota vody po vložení tyček T_D
- Teplota tyček před vložením do vody T_P
- Měrné tepelné kapacity vody, kovu a nádoby c_V , c_K a c_N

Množství tepla vyměněného mezi horkou vodou v nádobě (spolu s nádobou) a kovovými tyčkami určuje kalorimetrická rovnice

$$c_K M_K (T_D - T_P) = c_V M_V (T_H - T_D) + c_N M_N (T_H - T_D),$$



odkud určíme měrnou tepelnou kapacitu kovu

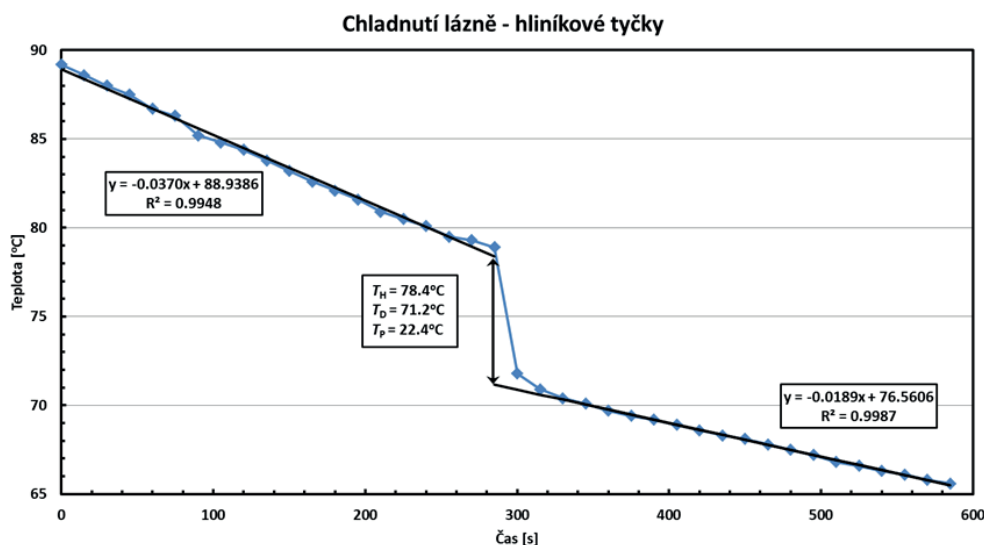
$$c_K = c_V \frac{(T_H - T_D)}{(T_D - T_P)} \left[\frac{M_V}{M_K} + \frac{c_N M_N}{c_V M_K} \right],$$

pokud ovšem známe měrnou tepelnou kapacitu vody $c_V = 4180 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ [3]. Pro lehkou nápojovou plechovku $M_N \ll M_K$ vyrobenou z hliníkové slitiny $c_N \approx 896 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ [3] můžeme vztah pro měrnou tepelnou kapacitu zjednodušit na

$$c_K \approx c_V \frac{(T_H - T_D)}{(T_D - T_P)} \frac{M_V}{M_K}.$$

Výhodou tohoto postupu je, že nemusíme znát vlastnosti nádoby, zvláště pak její měrnou tepelnou kapacitu c_N , kterou bychom jen obtížně určovali.

Proložení křivek chladnutí vody provedeme nejlépe v programu Excel pomocí lineární regrese – viz Obrázek 4.



Obrázek 4. Příklad proložení lineárních závislostí křivkami chladnutí vody v nádobě před a po vhození kovových tyček, extrapolace do okamžiku vhození tyček do vody t_0 a odečet teplot T_H a T_D .

f) Závěr

Vážením jsme určili hmotnosti vody, kovových tyček a nádoby

$$M_V = (\dots \pm \dots) \text{ g}$$

$$M_K = (\dots \pm \dots) \text{ g}$$

$$M_N = (\dots \pm \dots) \text{ g}$$

Pokožová teplota byla $T_P = (\dots \pm \dots) ^\circ\text{C}$. Extrapolací křivek v grafu jsme určili teplotu vody před a po vhození tyček

$$T_H = (\dots \pm \dots) ^\circ\text{C},$$

$$T_D = (\dots \pm \dots) ^\circ\text{C}.$$

Měrné tepelné kapacity kovů jsme určili

$$\text{hliník } c_K = (\dots \pm \dots) \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}, \text{ s relativní chybou } \dots \%,$$



nerez ocel $c_K = (\dots \pm \dots) \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, s relativní chybou $\dots \%$,

mosaz $c_K = (\dots \pm \dots) \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, s relativní chybou $\dots \%$.

Naměřené hodnoty souhlasí/nesouhlasí s tabulkovými, rozdíly činí $\dots \%$ pro hliník, $\dots \%$ pro mosaz a $\dots \%$ pro nerez ocel. Chyba měření měrné tepelné kapacity touto metodou je menší než $\dots \%$.

g) Shrnutí

Chladnutí vody v nádobce je dobře aproximováno \dots závislostí teploty vody na čase. Chladnější kovové tyčky jsou velmi dobrými vodiči \dots a odnímají velmi rychle teplo vodě, do které jsou vloženy. V tomto experimentu jsme použili Newtonův zákon \dots těles pro určení rozdílu teplot vody \dots vhozením a po \dots kovových tyček. Časové závislosti teploty vody v nádobě jsme \dots lineární závislosti a odečetli teploty v okamžiku vhození tyček do vody. Měrnou tepelnou kapacitu kovů určíme v jednotkách \dots . Měrné tepelné kapacity měřených kovů (ocel, hliník, mosaz) se pohybují v rozmezí hodnot \dots .

Použité zdroje:

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Fourier

[3] MIKULÁŠEK, J. a kol. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Praha: SPN, 1988. str. 131.

[4] ŽIVNÝ, F., LEPIL, O. *Praktická cvičení z fyziky*. Praha: SPN, 1971. str. 16–27.



Pracovní list pro pedagoga

Název: Teplo, tepelná kapacita

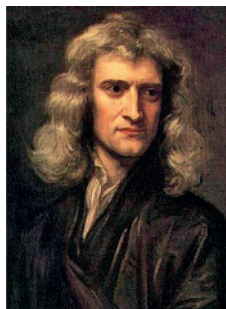
a) Úkol

Změř měrnou tepelnou kapacitu kovů pomocí Newtonova zákona ochlazování.

b) Výklad

Částice látky si na rozhraní mezi dvěma tělesy vyměňují energii bez přenosu hmoty vzájemnými nárazy o sebe, tzv. tepelnou výměnou. Samovolně přechází teplo pouze z tělesa teplejšího na těleso chladnější, až se postupně vyrovnají průměrné vnitřní energie na jednu částici v obou tělesech, tj. dojde k vyrovnání teplot mezi oběma tělesy.

Těleso samovolně ochlazované okolním prostředím při malém rozdílu teplot vzhledem k okolí (např. chladnoucí horká voda v nádobě) má v čase proměnnou teplotu. Časový průběh teploty se řídí tzv. Newtonovým zákonem ochlazování, který lze aproximovat lineární časovou závislostí. Po skokové změně teploty vody v nádobě (např. odebráním určité části tepla) se závislost po velmi krátké době vrací k původnímu lineárnímu průběhu avšak posunutému k nižším teplotám. Rychlé odebrání tepla lze provést nejlépe vložením dobře tepelně vodivých kovových tyček odebírajících teplo z okolní horké vody. Kvantitativními zákony přenosu tepla se zabýval také J. Fourier, podle něj je nazván jeden ze zákonů pro množství přenášeného tepla.



Isaac Newton (*1643 – †1727) [1] – jeden z nejvýznamnějších anglických matematiků a fyziků všech dob. V matematice je spolu s G. W. Leibnizem zakladatelem diferenciálního a integrálního počtu. Ve fyzice se věnoval studiu vlastností světla a jeho rozkladu na jednotlivé barvy duhy a také pohybu tzv. Newtonovských viskózních kapalin. Nejvíce je však znám pro své univerzální zákony mechaniky pohybu těles (tzv. Newtonovy pohybové zákony) a klasickou teorii gravitace (tzv. Newtonův gravitační zákon). Pohybové zákony publikoval v knize *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687).



Jean Baptiste Joseph Fourier (*1768 – †1830) [2] – francouzský matematik a fyzik. V matematice je podle něj nazvána např. Fourierova transformace a Fourierův rozvoj. Ve fyzice je podle něj nazván zákon šíření tepla, podle něhož je tepelný tok úměrný součiniteli tepelné vodivosti a rozdílu teplot tělesa a okolí. Objevil také např. skleníkový jev. Vedení tepla popsal v knize *Théorie analytique de la chaleur* (1822).

c) Pomůcky

Sada pomůcek (teploměr, vzorky kovových materiálů, nádobka, kolíček, gumičky, utěrka, návod na ovládání přístrojů), váhy, varná konvice pro ohřev vody, hodinky/stopky s odečtem po sekundách, voda.



d) Pracovní postup

Bezpečnostní pokyny: Opatrně manipulujeme s vařící vodou při jejím nalévání z varné konvice do nádoby a při manipulaci s nádobkou s horkou vodou (např. přenášení k vážení, vylévání vody), dáváme pozor na převrnutí nádoby! K manipulaci s plechovkou s horkou vodou použijeme přiloženou utěrku. Dáváme také pozor na možné poranění o ostré okraje nádoby!

1. Zvaž si nádobku a kovové tyčky, urči hmotnosti M_N , M_K .
2. Připrav si teploměr – teploměrné čidlo (typ ST-9287, rozsah $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$) připevni na kolíček pryžovými gumičkami a upevni ho na okraj nádoby – viz Obrázek 1. Teploměrem změř pokojovou teplotu T_P .



Obrázek 1. Teploměrné čidlo a jeho připevnění na kolíček a plechovku.

3. Připrav si kovové tyčky, sepni je gumou a zajisti brzdíčkou – viz Obrázek 2. Snaž se tyček co nejméně dotýkat holou rukou, abys je neohřál a nezvýšil tak jejich teplotu nad T_P .



Obrázek 2. Uspořádání experimentu – vlevo jsou kovové tyčky sepnuty gumovým vláknem, zajištěny brzdíčkou a připraveny pro vhození do vody.

4. Připrav si hodinky a displej teploměrného čidla. Ohřej vodu ve varné konvici do varu, chvíli počkej, až var přestane a vodu nalij do nádoby s teploměrem. Nalij takové množství vody, které má hladinu mezi ryskami MIN-MAX vyznačenými na nádobce. Tím



máš zajištěno, že po vložení kovových tyček budou tyčky zcela ponořeny do vody a voda nepřeteče z nádoby ven. Začni odečítat teplotu chladnoucí vody v časových úsecích po 10–15 s po dobu asi 5 minut (teplota se přitom sníží zhruba na 70–80 °C), hodnoty zapisuj do připravené tabulky.

5. Za stálého odečítání teploty vhod kovové tyčky do nádoby, zaznamenej si tento časový okamžik t_0 a odečítej teploty dalších asi 5 minut. S kovovými tyčkami manipuluj pouze pomocí brzdičky, která je pomocí gumového vlákna drží pohromadě. Do vody je spust co nejrychleji všechny naráz, nedotýkej se tyček holou rukou.

Tabulka naměřených hodnot

Teplota vody v nádobce [°C]			Teplota vody v nádobce [°C]				
Čas [s]	Hliník	Mosaz	Nerez ocel	Čas [s]	Hliník	Mosaz	Nerez ocel
0				315			
15				330			
30				345			
45				360			
60				375			
75				390			
90				405			
105				420			
120				435			
135				450			
150				465			
165				480			
180				495			
195				510			
210				525			
225				540			
240				555			
255				570			
270				585			
285				600			
300				615			

$t_0 = \dots\dots\dots$ s

6. Po skončení odečtu teploty zvaž nádobku spolu s vodou a kovovými tyčkami, rozdílem urči hmotnost nalité vody M_V . S nádobkou s horkou vodou manipuluj velmi opatrně!
7. Graficky zobraz průběh teploty chladnoucí vody v nádobce – použij milimetrový papír, nebo počítačový program Excel. Extrapoluj křivku teploty před vložení a po vložení kovových tyček lineární závislostí do stejného okamžiku t_0 , kdy jsi vložil tyčky do vody. Určuješ teploty T_H a T_D jako hodnoty na těchto křivkách v čase t_0 .
8. Podle vztahu vypočti měrnou tepelnou kapacitu kovových tyček c_K , najdi měrnou tepelnou kapacitu vody c_V v tabulkách [3].
9. Měření opakuj pro další vzorky kovových materiálů – hliník, mosaz a nerez ocel. Nádobku znovu vážit nemusíš, také pokojovou teplotu již máš určenou z předchozího měření.
10. Urči relativní chybu měření měrné tepelné kapacity podle vztahu

$$\vartheta_r(c_K) = \vartheta_r(M_V) + \vartheta_r(M_K) + \vartheta_r(T_H - T_D) + \vartheta_r(T_D - T_P),$$



kde relativní chyby rozdílů teplot [4] určíme jako

$$\vartheta_r(T_H - T_D) = \left| \frac{\vartheta(T_H) + \vartheta(T_D)}{T_H - T_D} \right| = \left| \frac{T_H}{T_H - T_D} \right| \vartheta_r(T_H) + \left| \frac{T_D}{T_H - T_D} \right| \vartheta_r(T_D)$$

$$\vartheta_r(T_D - T_P) = \left| \frac{\vartheta(T_D) + \vartheta(T_P)}{T_D - T_P} \right| = \left| \frac{T_D}{T_D - T_P} \right| \vartheta_r(T_D) + \left| \frac{T_P}{T_D - T_P} \right| \vartheta_r(T_P)$$

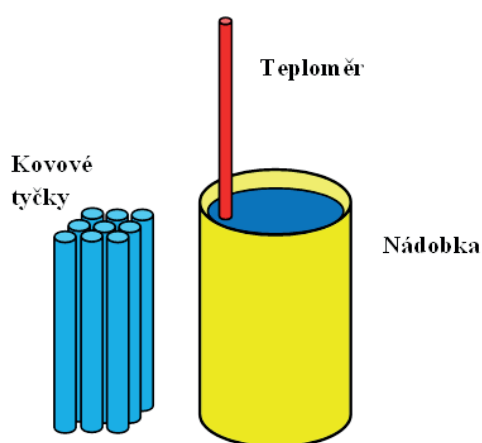
Celkem je chyba vyjádřena vztahem

$$\begin{aligned} \vartheta_r(c_K) &= \vartheta_r(M_V) + \vartheta_r(M_K) + \\ &+ \left| \frac{T_H}{T_H - T_D} \right| \vartheta_r(T_H) + \left| \frac{T_D(T_H - T_P)}{(T_H - T_D)(T_D - T_P)} \right| \vartheta_r(T_D) + \left| \frac{T_P}{T_D - T_P} \right| \vartheta_r(T_P) \end{aligned}$$

Měrnou tepelnou kapacitu vody c_V bereme jako hodnotu se zanedbatelnou chybou $\vartheta_r(c_V) \approx 0$. Hmotnosti měříš na vahách s přesností 0,1 g s relativní chybou 0,1 %, teploty určuješ teploměrem s přesností 0,1 °C s relativní chybou lepší než 0,5 %.

e) Zpracování pokusu

Jako nádobku použijeme lehkou nápojovou plechovku o zanedbatelné hmotnosti s horkou vodou a tenkými kovovými tyčkami – viz Obrázek 3.



Obrázek 3. Uspořádání experimentu.

Označ následující veličiny:

- Hmotnost vody v nádobě M_V
- Hmotnost nádoby M_N
- Hmotnost kovových tyček M_K
- Teplota vody před vložením tyček T_H
- Teplota vody po vložení tyček T_D
- Teplota tyček před vložením do vody T_P
- Měrné tepelné kapacity vody, kovu a nádoby c_V , c_K a c_N

Množství tepla vyměněného mezi horkou vodou v nádobě (spolu s nádobou) a kovovými tyčkami určuje kalorimetrická rovnice

$$c_K M_K (T_D - T_P) = c_V M_V (T_H - T_D) + c_N M_N (T_H - T_D),$$



odkud určíme měrnou tepelnou kapacitu kovu

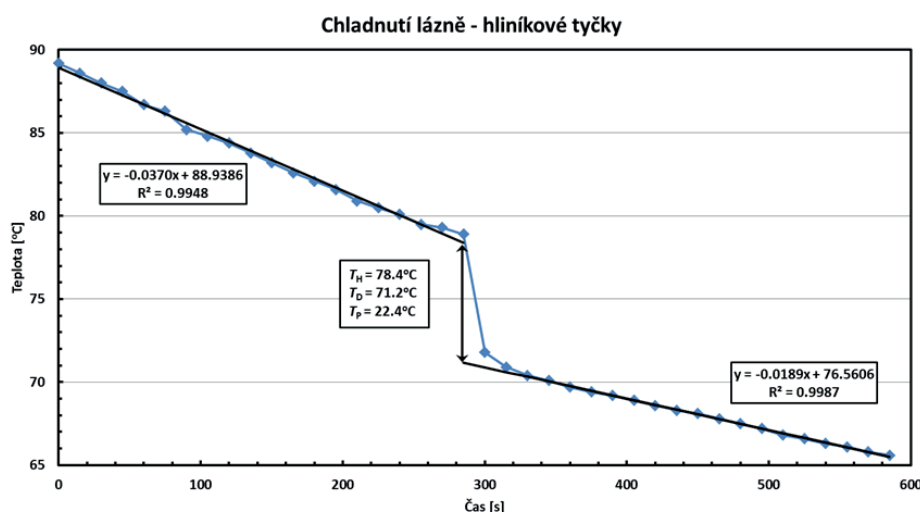
$$c_K = c_V \frac{(T_H - T_D)}{(T_D - T_P)} \left[\frac{M_V}{M_K} + \frac{c_N M_N}{c_V M_K} \right],$$

pokud ovšem známe měrnou tepelnou kapacitu vody $c_V = 4180 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ [3]. Pro lehkou nápojovou plechovku $M_N \ll M_K$ vyrobenou z hliníkové slitiny $c_N \approx 896 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ [3] můžeme vztah pro měrnou tepelnou kapacitu zjednodušit na

$$c_K \approx c_V \frac{(T_H - T_D)}{(T_D - T_P)} \frac{M_V}{M_K}.$$

Výhodou tohoto postupu je, že nemusíme znát vlastnosti nádoby, zvláště pak její měrnou tepelnou kapacitu c_N , kterou bychom jen obtížně určovali.

Proložení křivek chladnutí vody provedeme nejlépe v programu Excel pomocí lineární regrese – viz Obrázek 4.



Obrázek 4. Příklad proložení lineárních závislostí křivkami chladnutí vody v nádobě před a po vhození kovových tyček, extrapolace do okamžiku vhození tyček do vody t_0 a odečet teplot T_H a T_D .

Hodnotu měrné tepelné kapacity bychom měli správně použít pro teploty v rozsahu měřených teplot T_H a T_D . V tabulkách fyzikálních vlastností látek [5] si ověříme, že měrná tepelná kapacita vody c_V se v rozsahu teplot 0 °C až 100 °C mění jen nepatrně (méně než o 1 % hodnoty), viz Tabulka 1. Pro měřené teploty v rozsahu 70 °C až 80 °C se od hodnoty pro 20 °C liší o méně než o 0.3 %. Pro výpočet měrné tepelné kapacity kovů tedy můžeme použít uvedenou hodnotu měrné tepelné kapacity vody $c_V = 4180 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ platnou pro teplotu 20 °C .

Tabulka 1. Měrná tepelná kapacita vody v závislosti na teplotě [5].

Teplota [°C]	c_V [Jkg ⁻¹ K ⁻¹]	Teplota [°C]	c_V [Jkg ⁻¹ K ⁻¹]	Teplota [°C]	c_V [Jkg ⁻¹ K ⁻¹]
0	4217.8	35	4178.1	70	4189.7
5	4201.3	40	4178.4	75	4192.9
10	4192.2	45	4179.3	80	4196.4
15	4186.3	50	4180.5	85	4200.5
20	4181.8	55	4182.2	90	4205.2
25	4179.5	60	4184.3	95	4210.4
30	4178.4	65	4186.7	100	4216.0



f) Závěr

Vážením jsme určili hmotnosti vody, kovových tyček a nádoby

$$M_V = (192.6 \pm 0.1) \text{ g}$$

$$M_K = (131.9 \pm 0.1) \text{ g}$$

$$M_N = (8.8 \pm 0.1) \text{ g}$$

Pokožová teplota byla $T_P = (22.4 \pm 0.1) \text{ }^\circ\text{C}$. Extrapolací křivek v grafu jsme určili teplotu vody před a po vhození tyček

$$T_H = (78.4 \pm 0.1) \text{ }^\circ\text{C},$$

$$T_D = (71.2 \pm 0.1) \text{ }^\circ\text{C}.$$

Měrné tepelné kapacity kovů jsme určili

hliník $c_K = (901 \pm 70) \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, s relativní chybou 8 %,

nerez ocel $c_K = (\dots \pm \dots) \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, s relativní chybou %,

mosaz $c_K = (\dots \pm \dots) \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, s relativní chybou %.

Naměřené hodnoty **souhlasí** s tabulkovými (tabulka 2), rozdíly činí **méně než 1 %** pro hliník, % pro mosaz a % pro nerez ocel. Chyba měření měrné tepelné kapacity touto metodou je menší než **10 %**.

Tabulka 2. Tabulkové hodnoty měrných tepelných kapacit kovů [3].

Kov	$c \text{ [Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}]$
Olovo	129
Cín	227
Měď	383
Zinek	385
Nikl	448
Železo	450
Titan	520
Hliník	896
Hořčík	1017

g) Shrnutí

Chladnutí vody v nádobce je dobře aproximováno **lineární** závislostí teploty vody na čase. Chladnější kovové tyčky jsou velmi dobrými vodiči **tepla** a odnímají velmi rychle teplo vodě, do které jsou vloženy. V tomto experimentu jsme použili Newtonův zákon **ochlazování** těles pro určení rozdílu teplot vody **před** vhozením a po **vhození** kovových tyček. Časové závislosti teploty vody v nádobě jsme **extrapolovali** lineární závislosti a odečetli teploty v okamžiku vhození tyček do vody. Měrnou tepelnou kapacitu kovů určujeme v jednotkách **$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$** . Měrné tepelné kapacity měřených kovů (ocel, hliník, mosaz) se pohybují v rozmezí hodnot **$380\text{-}900 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$** .



Použité zdroje:

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Fourier

[3] MIKULÁŠEK, J. a kol. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Praha: SPN, 1988. str. 131.

[4] ŽIVNÝ, F., LEPIL, O. *Praktická cvičení z fyziky*. Praha: SPN, 1971. str. 16–27.

[5] BROŽ, J., ROSKOVEC, V., VALOUCH, M. *Fyzikální a matematické tabulky*. Praha: SNTL, 1980. str. 67.

Další zdroje:

M. Vollmer: Newton's law of cooling revisited, *Eur. J. Phys.* 30, 5 (2009) 1063–1084

W. Pereira da Silva, J. W. Precker, Diogo D. P. S. e Silva, Cleiton D. P. S. e Silva:

A low-cost method for measuring the specific heat of aluminium, *Physics Education* 39, 6 (2004) 514–517



Opakování

Název: Teplo, tepelná kapacita

Jméno:

1) Vyhledej si v tabulkách hodnoty pro měrné tepelné kapacity kovů a vody:

Železo $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

Měď $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

Hliník $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

Zinek $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

Voda $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

Mosaz je slitinou dvou kovů. Měrná tepelná kapacita mosazi bude nejspíše průměrem měrných tepelných kapacit dvou kovů – a

2) Dvě tělesa v tepelném kontaktu si předají teplo a jejich teplota se ustálí na hodnotě T . První těleso je teplejší o počáteční teplotě T_1 , hmotnosti M_1 a měrné tepelné kapacity c_1 . Druhé těleso je chladnější o počáteční teplotě T_2 , hmotnosti M_2 a měrné tepelné kapacity c_2 . Napiš kalorimetrickou rovnici pro tento děj:

.....

Chladnější těleso teplo a jeho teplota se, teplejší těleso teplo a jeho teplota se

3) Měrná tepelná kapacita určuje, které si vyměňuje kg látky při ohřátí/ochlazení o $^{\circ}\text{C}$.

4) Vyjádřete měrnou tepelnou kapacitu c_K z kalorimetrické rovnice

$$c_K M_K (T_D - T_P) = c_V M_V (T_H - T_D) + c_N M_N (T_H - T_D)$$

$c_K =$

5) Jednotky veličin jsou pro teplo, pro teplotu a pro měrnou tepelnou kapacitu.



Opakování – řešení pro pedagogy

Název: Teplo, tepelná kapacita

1) Vyhledej si v tabulkách hodnoty pro měrné tepelné kapacity kovů a vody:

Železo **452** Jkg⁻¹K⁻¹

Měď **383** Jkg⁻¹K⁻¹

Hliník **896** Jkg⁻¹K⁻¹

Zinek **385** Jkg⁻¹K⁻¹

Voda **4180** Jkg⁻¹K⁻¹

Mosaz je slitinou dvou kovů. Měrná tepelná kapacita mosazi bude nejspíše průměrem měrných tepelných kapacit dvou kovů – **mědi** a **zinku**.

2) Dvě tělesa v tepelném kontaktu si předají teplo a jejich teplota se ustálí na hodnotě T . První těleso je teplejší o počáteční teplotě T_1 , hmotnosti M_1 a měrné tepelné kapacity c_1 . Druhé těleso je chladnější o počáteční teplotě T_2 , hmotnosti M_2 a měrné tepelné kapacity c_2 . Napiš kalorimetrickou rovnici pro tento děj:

$$c_1 M_1 (T_1 - T) = c_2 M_2 (T - T_2)$$

Chladnější těleso teplo **přijme** a jeho teplota se **zvýší**, teplejší těleso teplo **odevzdá** a jeho teplota se **sníží**.

3) Měrná tepelná kapacita určuje **teplo**, které si vyměňuje **1** kg látky při ohřátí/ochlazení o **1** °C.

4) Vyjádřete měrnou tepelnou kapacitu c_K z kalorimetrické rovnice

$$c_K M_K (T_D - T_P) = c_V M_V (T_H - T_D) + c_N M_N (T_H - T_D)$$

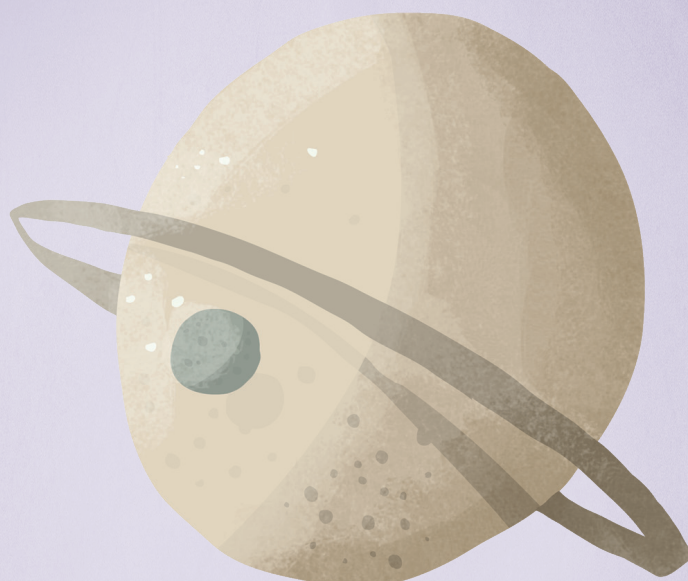
$$c_K = c_V \frac{(T_H - T_D)}{(T_D - T_P)} \left[\frac{M_V}{M_K} + \frac{c_N M_N}{c_V M_K} \right]$$

5) Jednotky veličin jsou **J** pro teplo, **°C** nebo **K** pro teplotu a **Jkg⁻¹K⁻¹** pro měrnou tepelnou kapacitu.



Teplo, tepelná kapacita těles

prof. Mgr. Jiří Erhart, Ph.D.



www.otevrenaveda.cz



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ