

Vysoká úroveň

V následující tabulce jsou informace o počasí ze čtyř různých míst

Místo	Teplota	Oblačnost
A	5 °C	oblačno
B	-5 °C	jasno
C	-5 °C	oblačno
D	5 °C	jasno

Ve kterém místě bude s největší pravděpodobností sněžit?

A) místo A B) místo B C) místo C D) místo D

Velmi vysoká úroveň

Dravec je v potravním řetězci takový živočich, který se živí jinými živočichy. **Kořist** je živočich, který je potravou dravce.

Které tvrzení o dravcích a kořisti je pravdivé a které je nepravdivé?

Vybarvi jeden kroužek u každého tvrzení.

	Pravdivé	Nepravdivé
Živočich s ostrými zuby bude asi dravec. -----	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dravci jsou vždy větší než jejich kořist. -----	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Velký živočich nemůže být kořistí. -----	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Některá živočišná mohou být zároveň dravcem i kořistí. -	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Měříme teplotu vody. Jednoduché. Nebo ne?

PETR KÁCOVSKÝ

MFF UK, Praha

Teplota je fyzikální veličinou, která se v termodynamice zavádí jako charakteristika rovnovážného stavu termodynamického systému (tzv. empirická teplota, [1]). Podobně jako například s energií, také s teplotou se

setkáváme prakticky ve všech partiích fyziky – často přitom plní roli parametru, který determinuje podobu fyzikálních a chemických procesů; pro přírodní vědy je tak měření teploty významným zdrojem informací o našem světě.

Protože mnoho fyzikálních veličin a velká většina materiálových konstant je v reálném světě funkcí teploty, nabízí se mnoho různých principů, které lze k měření teploty využít [2]. V prvním přiblížení lze tyto techniky měření rozdělit na kontaktní a bezkontaktní, kde obě skupiny mají své výhody i slabá místa. Kontaktní měření teploty předpokládá dosažení rovnovážného stavu mezi teplotoměrným prvkem a měřenou látkou, které však nebývá dokonalé; naproti tomu bezkontaktní měření vyžadují poměrně dobrou (a nesamozřejmou!) znalost vlastností měřeného povrchu.

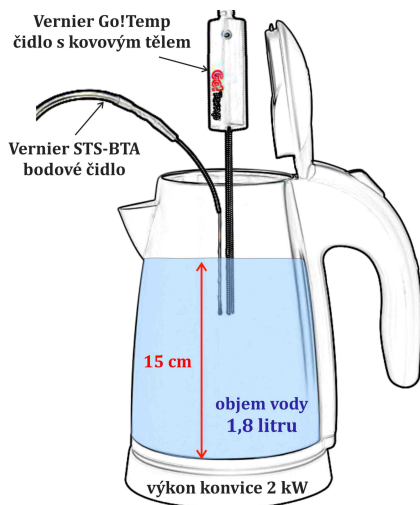
Tento článek popisuje tři jednoduché experimenty využívající kontaktní měření teploty termistorovými teploměry. Studované děje jsou spojeny s ohřevem či chladnutím vody a lze je zařadit do běžné středoškolské výuky v souvislosti s konceptem (měrné) tepelné kapacity, při zmínce o Newtonovu zákonu ochlazování, proudění v kapalinách či během výkladu o změně hustoty vody s teplotou. Cílem autora je upozornit na to, že i jednoduchá měření mohou být zdrojem někdy i neočekávaných výsledků a jejich interpretace vyžaduje hlubší a komplexnější fyzikální vhled. Takové situace pak bývají bohatým zdrojem problémových otázek pro studenty, na jejichž základě lze propojovat poznatky z různých fyzikálních kapitol.

Experiment 1: Tepelná kapacita teploměru

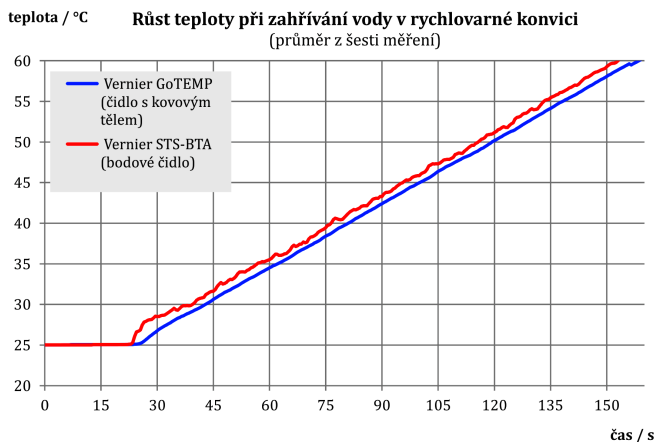
V rámci středoškolského učiva se zmiňuje tepelná kapacita ve významu jakési „ochoty“ těles měnit teplotu – tělesům s velkou tepelnou kapacitou je třeba k jejich ohřátí o $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ dodat více tepla než tělesům s tepelnou kapacitou malou. Pokud by měl náš teploměr, pro jednoduchost třeba o pokojové teplotě, velkou tepelnou kapacitu, přijal by například po ponoření do horké vody velké množství tepla, čímž by došlo k ochlazení vody a tudíž zkreslení měření. Při kontaktním měření teploty tedy zřejmě požadujeme, aby byla tepelná kapacita teploměrů co nejnižší. Následující experiment ukazuje, že splnění tohoto požadavku s sebou ale nese i určité obtíže při interpretaci některých dat.

Uspořádání experimentu: Do rychlovarné konvice s vodou byly do těsného sousedství umístěny dva teplotní senzory Vernier, jeden s masivním kovovým tělem (měřicí prvek je umístěn v jeho špičce), druhý ve formě bodového čidla; oba senzory byly situovány co nejbližší vertikální osy konvice

(obr. 1). Po zapnutí konvice byl oběma teploměry opakovaně proměřen nárůst teploty z pokojových 25 °C na teplotu 60 °C; průměr naměřených závislostí ukazuje obr. 2.



Obr. 1 Uspořádání experimentu

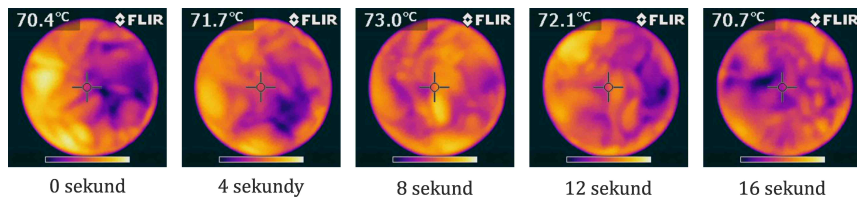


Obr. 2 Zahřívání vody se dvěma teplotními čidly (konvice byla zapnuta v čase $t = 10$ s)

Interpretace naměřených dat: V grafu na obr. 2 jsou patrné dva efekty. Prvním z nich je poloha naměřených křivek – během celého měření ukazuje bodové čidlo vyšší hodnoty než čidlo kovové. Tento jev je očekávatelný – bodové čidlo má velmi malou tepelnou kapacitu, jeho ohřev je tedy snadný a čidlo tak reaguje pružněji na změny teploty.

Druhý efekt, který při pohledu do grafu zaujme, je „neučesanost“ červené křivky – přestože jde o průměr z šesti měření, hodnoty měřené bodovým čidlem fluktuují výrazně více než v případě kovového teploměru. Zde je role rozdílné tepelné kapacity zcela zřejmá – zahřívající se kapalina během experimentu proudí a k čidlům se tak náhodně dostávají její chladnější a prohřátější části; zatímco bodový teploměr tyto nuance zachytí, kovové tělo teploměru se přizpůsobuje změnám velmi pomalu a drobné výkyvy teploty tak prakticky neregistruje;¹⁾ nárůst teploty se pak jeví být čistě lineární.

O tom, že proudění v kapalině skutečně značně ovlivňuje teplotu jednotlivých jejích částí, se lze přesvědčit například i termovizní kamerou. Na obr. 3 je sekvence snímků, na kterých je zachycena hladina vody v kádince; sekvence byla pořízena 10 minut poté, co byla do kádinky nalita vroucí voda. Je patrné, že v řádu sekund se teplota jednotlivých částí hladiny (i u značně „odstáté“ vody) mění v rozmezí cca 1 °C až 2 °C.



Obr. 3 Hladina chladnoucí kapaliny v kádince o objemu 250 ml; barevná škála snímku má rozsah 68 °C (fialová) až 76 °C (bílá), okolní pokojová teplota byla přibližně 25 °C.

Experiment 2: Chladnutí vody v různých hloubkách v odměrném válci

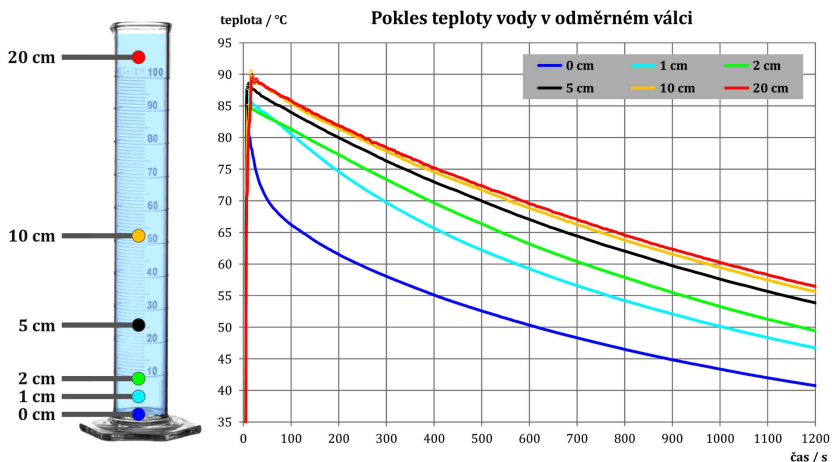
Mnoho chemických a fyzikálních situací vyžaduje měření teploty kapalin v delším časovém úseku minut či desítek minut. Kde v kapalině ale teplotu měřit, abychom dostali co nejpřesnější údaje? U hladiny, u dna, někde

¹⁾Kromě toho je teplota měřená špičkou kovového čidla stabilizována vedením tepla z horní části teploměru, která je také obklopena vodou.

uprostřed? A lze vůbec hovořit o přesnosti, má smysl mluvit o teplotě kapaliny jako o jednom jediném čísle?

Cílem následujícího experimentu je ukázat, že odpovědi na výše uvedené otázky si zaslouhují naši pozornost, abychom při fyzikálních měřeních nedocházeli ke zcela zavádějícím výsledkům.

Uspořádání experimentu: V experimentu bylo pomocí bodového teploměru Vernier STS-BTA opakovaně proměřeno chladnutí vody o objemu 110 ml v po okraj naplněném odměrném válci o výšce 23 cm a průměru 2,5 cm. Voda byla do válce nalévána z rychlovarné konvice vždy téměř vroucí, tj. těsně pod svojí teplotou varu; teplota místnosti se pohybovala kolem 25 °C. Takto popsané měření bylo provedeno pro šest různých poloh teploměru ve válci (obr. 4 vlevo), přičemž pro každou polohu bylo pětkrát zopakováno a získaná data zprůměrována. Finální závislosti jsou vyneseny do grafu na obr. 4 vpravo.



Obr. 4 Vlevo uspořádání pokusu, vpravo naměřené závislosti. Vzdálenosti v legendě grafu představují výšku bodového teplotního čidla nade dnem nádoby.

Interpretace naměřených dat: Graf na obr. 4 dává jasné odpovědi na otázky uvedené v úvodu tohoto experimentu. Pokud nebudeme kapalinu v nádobě během jejího ohřívání či chladnutí neustále promíchávat, vytvoří se v ní teplotní rozdíly vyplývající ze závislosti hustoty kapaliny na teplotě. Významnost těchto rozdílů samozřejmě značně závisí na parametrech nádoby či druhu kapaliny – například anomální chování vody v rozmezí 0 °C a 4 °C je velmi unikátní.

Vysoký a úzký odměrný válec byl zvolen záměrně, aby zmíněné rozdíly vynikly, ovšem i v běžné skleničce je lze naměřit. Lze si povšimnout toho, že teplota ve válci se v daném čase rozhodně nemění lineárně s hloubkou – výrazně chladnější vrstva vody se vytváří v bezprostřední blízkosti dna válce, ale již ve čtvrtině výšky vodního sloupce se teploty blíží hodnotám měřeným v horní části nádoby. Pokud bychom ale porovnali údaje měřené teploměrem u dna a u hladiny, v některých okamžicích se během chladnutí původně vroucí vody budou v této konkrétní nádobě lišit až o 21 °C!

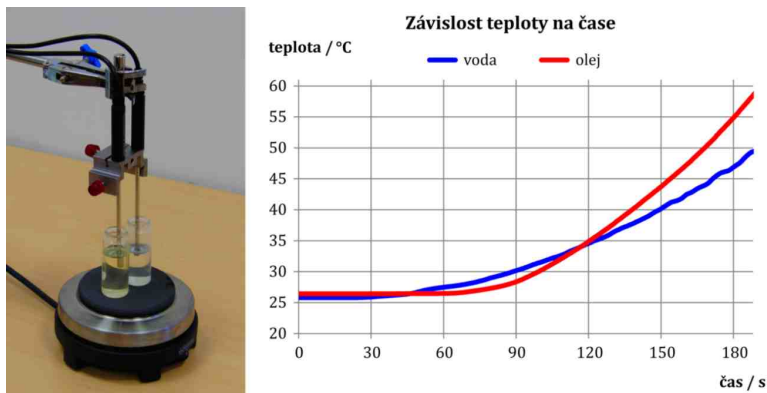
Jestliže podrobně rozebereme první sekundy měření, kdy dochází k nalévání vroucí vody do válce, zjistíme navíc, že v případě nejnižší položeného teploměru, který je vodou zaplaven nejdříve, se maximální měřená teplota ani nepřehoupla přes 82 °C; čím je teploměr výše, tím vyšší teplotu na počátku měření ukázal. Tento výsledek jde zdánlivě proti naší zkušenosti – voda by měla být nejteplejší ihned po vypnutí konvice, s tím, jak ji postupně do válce lijeme, by měla spíše chladnout; tento paradox může být ve výuce využit jako problémová úloha pro studenty. Vysvětlení se skrývá v tepelné výměně mezi nalévanou vodou a nádobou – ve chvíli, kdy je zaplaven nejnižší položený teploměr, je vody ve válci málo a rychle snižuje svoji teplotu při kontaktu se sklem válce. S rostoucím objemem přilité vody role ochlazování nádobou slábne, a výše položené teploměry tak naměří vyšší maximální teplotu; teplota měřená spodními teploměry ale již nevzroste, protože právě k nim klesá voda ochlazená v horních částech válce jeho stěnami.

Experiment 3: Porovnání měrné tepelné kapacity oleje a vody

Analogicky tepelné kapacitě představuje měrná tepelná kapacita jakousi ochotu látky měnit svoji teplotu; tentokrát je tato „ochota“ vztažena na jednotkovou hmotnost. Úvahám a výpočtům s měrnou tepelnou kapacitou se věnuje ve středoškolské výuce poměrně velká pozornost, úkolem bývá například určit ze závislosti teploty na dodaném teple měrnou tepelnou kapacitu dané látky [3]. Pokud má tedy například olej přibližně poloviční měrnou tepelnou kapacitu ve srovnání s vodou, je přirozené očekávat, že jeho teplota bude při zahřívání rychleji růst (... a při ochlazování rychleji klesat, na což se někdy ve víru kalorimetrických výpočtů zapomíná). Jestliže se ale toto očekávání pokusíme experimentálně potvrdit, můžeme narazit na efekt, který nám interpretaci poněkud zkomplikuje.

Uspořádání experimentu (zkrácený popis ze [4]): Do dvou menších nádobek byla odvážena stejná hmotnost oleje a vody a nádobky byly postaveny vedle sebe na plotnu elektrického vařiče; aby bylo měření co nejprůkaznější,

je vhodné je umístit středově symetricky vzhledem ke středu vařiče, aby bylo jejich zahřívání skutečně rovnoměrné. Do každé nádoby bylo zavedeno teplotní čidlo Vernier, ať již bodové či s kovovým tělem (obr. 5 vlevo); podstatné je, aby oba teploměry měřily teplotu ve stejné výšce nade dnem nádoby. Současně se spuštěním měření byl vařič zapnut.



Obr. 5 Vlevo uspořádání pokusu, vpravo výsledná závislost

Interpretace naměřených dat: Vzorově naměřená data zachycuje obr. 5 vpravo. Je sice patrné, že za celou dobu měření se skutečně více ohřál olej než voda, což odpovídá očekávanému výsledku, ale zároveň je z grafu zřejmé, že po určitou dobu (v čase přibližně 30 až 90 sekund) se voda ohřívá rychleji než olej. Tento efekt není možné vysvětlit na základě rozdílných měrných tepelných kapacit obou kapalin.

Při hledání jeho původce si ale můžeme pomoci dvěma nepatrnými úpravami experimentu – pokud obě čidla zvedneme výše k hladině kapalin, efekt ještě posílíme; naopak, jestliže umístíme čidla těsně nad dno nádobek, bude efekt minimální a olej se bude prakticky od začátku měření „spořádaně“ zahřívát rychleji než voda.

Tyto dva dílčí experimenty, které je vhodné se studenty provést, již naznačují, že vysvětlení je třeba opět spojit s vlivem proudění v kapalinách. Zatímco málo viskózní voda proudí ode dna k teploměru poměrně snadno, olej s násobně větší dynamickou viskozitou cirkuluje znatelně pomaleji. Jestliže tedy zahříváme nádoby zespoda, trvá relativně dlouhou dobu, než ohřátý olej vystoupá ode dna k teplotnímu čidlu, které nárůst jeho teploty registruje. Efekt způsobený rozdílným prouděním ve vodě a v oleji je zjevně tím silnější, čím jsou teploměry vzdálenější ode dna.

Závěr

Měření teploty je ve výuce fyziky poměrně častým experimentálním úkonem, ze kterého lze zejména ve středoškolské termodynamice vyvozovat poměrně rozsáhlé závěry (teplotní změny při skupenských přeměnách, výsledky kalorimetrických úloh, teplotní závislosti hustoty, objemu, délky, atd.). Článek se ve třech výše uvedených experimentech snaží upozornit na skutečnost, že prosté měření teploty v nádobce s vodou může dávat v různých situacích různé výsledky – zásadním vlivem, který je třeba mít během takových měření na paměti, je vertikální proudění v kapalinách dané teplotně závislým rozdílem hustot. Stejně tak je u kontaktních měření třeba zohledňovat fakt, že teploměr měří vždy teplotu sebe sama, což nezbytně vnaší do výsledků vliv jeho vlastní tepelné kapacity.

Literatura

- [1] *Obdržálek, J.*: Úvod do termodynamiky, molekulové a statistické fyziky. Matfyzpress, Praha, 2015.
- [2] *Kreidl, M.*: Měření teploty – senzory a měřicí obvody. Technická literatura BEN, Praha, 2005.
- [3] *Svoboda, E., Bartuška, K.*: Fyzika pro gymnázia – Molekulová fyzika a termika. Prometheus, Praha, 2016.
- [4] *Kácovský, P.*: Experimenty podporující výuku termodynamiky na středoškolské úrovni. Disertační práce, Matematicko-fyzikální fakulta Univerzita Karlovy, Praha, 2016.

Rozvíjanie vybraných zručností v Bádateľskom prírodovednom laboratóriu SteelPark Košice

MÁRIA BILIŠŇANSKÁ – MARIÁN KIREŠ

Prírodovedecká fakulta UPJŠ, Košice, SLOVENSKO

Neformálne vzdelávanie a popularizačné podujatia sú celosvetovo využívané na podporu záujmu mládeže a budovanie pozitívneho postoja spoločnosti k vede. V mnohých metropolách už dlhodobo fungujú centrá vedy,