

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

DISERTAČNÍ PRÁCE



Petr Kácovský

Experimenty podporující výuku termodynamiky na středoškolské úrovni

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí disertační práce:
doc. RNDr. Zdeněk Drozd, Ph.D.

Studijní program:
Fyzika

Studijní obor:
Didaktika fyziky a obecné otázky fyziky

Praha 2016

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval svému školiteli doc. RNDr. Zdeňku Drozdovi, Ph.D. a konzultantovi této práce RNDr. Mgr. Vojtěchu Žákovi, Ph.D. za jejich cenné rady a komentáře, které přispěly k mému úspěšnému dokončení. Kolegyni RNDr. Marii Snětinové, Ph.D. děkuji za průběžné připomínkování vznikající práce.

Stejně tak děkuji ostatním kolegům z Katedry didaktiky fyziky MFF UK, jejichž postřehy ke zpracovávaným experimentům přispěly k obohacení vzniklých materiálů pro učitele i studenty.

Můj dík patří také všem vyučujícím, kteří mi ve svých hodinách umožnili zadání konceptuálního testu mapujícího miskoncepce v oblasti tepelných jevů.

Za stálou podporu po dobu celého mého doktorského studia děkuji své rodině. Závěrečný dík patří mé partnerce, a to za neskonalou vlídnost a trpělivost, se kterou mě po celou dobu mého doktorského studia provázela a podporovala.

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze dne 25. dubna 2016

Petr Kácovský

Název práce: Experimenty podporující výuku termodynamiky na středoškolské úrovni

Autor: Petr Kácovský

Katedra: Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí disertační práce: doc. RNDr. Zdeněk Drozd, Ph.D., Katedra didaktiky fyziky

Abstrakt: Tato disertační práce se zaměřuje na vybrané aspekty výuky termodynamiky na vyšším stupni českých gymnázií. Práci lze rozdělit na dvě hlavní části:

Výzkumná část se věnuje studiu typických konceptuálních obtíží studentů v oblasti tepelných jevů a jejím primárním cílem je identifikace nejvýraznějších miskoncepcí studované populace. Formou konceptuálního testu bylo v pretestu a posttestu osloveno více než 500 studentů, přibližně polovina z nich se s dvouletým odstupem zúčastnila také třetího, retenčního testování. Výsledky konceptuálního testu jsou provázány s výsledky paralelně prováděných výzkumů postojů respondentů.

Vývojová část práce – zčásti inspirovaná předcházejícím výzkumem miskoncepcí – je věnována přípravě a testování experimentů relevantních pro výuku termodynamiky. Celkem bylo zpracováno, se studenty vyzkoušeno a v elektronické podobě zveřejněno 46 podrobně komentovaných a zdokumentovaných pokusů určených primárně pro učitele coby inspirace a podpora jejich vlastního experimentování. Tento materiál pro učitele je doplněn sadou deseti pracovních listů, které slouží studentům při jejich samostatném experimentování v Interaktivní fyzikální laboratoři MFF UK.

Klíčová slova: experimenty, miskoncepce v termodynamice, studenti středních škol, tepelné jevy, termovizní kamera

Title: Experiments supporting the teaching of thermodynamics at high school level

Author: Petr Kácovský

Department: Department of Physics Education

Supervisor: doc. RNDr. Zdeněk Drozd, Ph.D., Department of Physics Education

Abstract: This doctoral thesis is aimed at chosen aspects of teaching of thermodynamics on high school. The thesis can be divided into two main parts:

The research part deals with investigation of typical students' conceptual difficulties in the field of thermal phenomena and its primary goal is to identify the most distinctive misconceptions of observed population. More than 500 students were questioned using a conceptual test both as pretest and posttest; approximately half of them also participated in the retention test which took part two years after pretest. The results of the conceptual test are connected with data obtained on the basis of the simultaneously conducted research of students' attitudes.

The developmental part of the thesis – partly inspired by previous misconception research – deals with arranging, documentation and testing of experiments relevant to teaching of thermodynamics. In total, 46 experiments were arranged, students-tested and published in the electronic Collection of Physics Experiments. These experiments are primarily intended for teachers as inspiration and in aid of their own experimental work. The text for teachers is complemented with a set of ten worksheets, which help students in their individual experimentation in the Interactive Physics Laboratory.

Keywords: experiments, high school students, misconceptions in thermodynamics, thermal imaging camera, thermal phenomena

Obsah

Úvod	6
Motivace	7
Cíle a struktura práce	8
Terminologické poznámky	8
1. Miskoncepce ve fyzikálním vzdělávání	9
1. 1. Jsou studenti nepopsanými listy?	9
1. 2. Vymezení pojmů prekoncepce a miskoncepce	9
1. 3. Miskoncepce coby téma mnoha studií	10
1. 4. Předcházející výzkumy v oblasti tepelných jevů	11
2. Výzkum miskoncepí v oblasti tepelných jevů na českých SŠ: Cíle a realizace	15
2. 1. Cíle výzkumu	15
2. 2. Metodologie	15
3. Výzkum miskoncepí v oblasti tepelných jevů na českých SŠ: Výsledky	22
3. 1. Obecná data	22
3. 2. Položková analýza	24
3. 3. Shrnutí a limity výzkumu	29
4. Další výzkumné projekty napojené na test CTCE	31
4. 1. Postoje studentů k fyzice jako parametr úspěšnosti v CTCE	31
4. 2. Pozice experimentu v sémantickém prostoru studentů SŠ	33
4. 3. Použití CTCE jako retenčního testu	40
5. Experimenty ve středoškolské termodynamice: Status quo	45
5. 1. Definice experimentu	45
5. 2. Možné zdroje námětů na experimenty z termodynamiky	46
5. 3. Co nabízejí česká science centra	49
6. Zpracované experimenty: Návody k rukám učitelů	55
6. 1. Kritéria výběru experimentů	55
6. 2. Obecné rysy zpracovávaných experimentů	56
6. 3. Struktura experimentů a jejich publikování	57
6. 4. Přehled zpracovaných experimentů	60
6. 5. Představení experimentů učitelům	105
7. Zpracované experimenty: Pracovní listy pro studenty	108
7. 1. Interaktivní fyzikální laboratoř	108
7. 2. Termodynamika v Interaktivní fyzikální laboratoři	109
7. 3. Vize dalšího využití experimentálních sad v IFL	117
Závěr	119
Seznam použité literatury	122

Seznam obrázků	129
Seznam tabulek	131
Seznam publikací	132
Přílohy	133
Příloha 1: Originální zadání testu Thermal Concept Evaluation	134
Příloha 2: Česká adaptace testu TCE (tzv. CTCE)	137
Příloha 3: Příklad znění e-mailu, kterým byli osloveni učitelé.....	141
Příloha 4: Záznamový list (písmo oproti originálu zmenšeno).....	142
Příloha 5: Dotazník významu slov (kráceno, písmo oproti originálu zmenšeno)	143
Příloha 6: Experimentujeme s termovizní kamerou	144
Příloha 7: Dotazník pro posouzení experimentů učiteli	152
Příloha 8: <i>Mechanismy tepelné výměny</i> (Pokyny k měření)	153
Příloha 9: <i>Mechanismy tepelné výměny</i> (Záznamový list)	158
Příloha 10: Pracovní listy k sadě experimentů <i>Termodynamika I</i>	160
Příloha 11: Pracovní listy k sadě experimentů <i>Termodynamika II</i>	188

Úvod

*„The whole purpose of education
is to turn mirrors into windows.“*

Sydney Justin Harris (1917 – 1986),
americký novinář

Badatelé na poli přírodních věd – a fyzici v jejich čele – mají při popisu okolního světa jedinečnou možnost: Mohou svá zjištění a závěry podkládat exaktní empirickou zkušeností. Aby vědec takové zkušenosti nabyl, záměrně iniciuje a navozuje situace s předem definovanými počátečními podmínkami a následně studuje nastalé děje a procesy – provádí pokus. Ve světě fyzikální vědy je pokus klíčem k poznání nových zákonitostí přírody i k ověření zákonitostí teoreticky předpovězených (Svoboda & Kolářová, 2006), představuje pro fyziku jednoznačné kritérium pravdy, tak obtížně hledané v případech věd humanitních.

Dvě výše uvedené funkce plní pokus také v oblasti fyzikálního vzdělávání, kde se k nim ovšem přidávají i další role pokusu, například na straně motivace studentů či atraktivity vzdělávacího procesu. Je obtížné (ne-li nemožné) zjistit, kdo a kdy poprvé použil pokus ve výuce, skutečností ale je, že od té doby se pokus stal přirozenou, organickou součástí výuky fyziky a v tomto duchu je na něj nahlíženo při přípravě budoucích učitelů. S názorem, že pokus do výuky fyziky nepatří, se pravděpodobně lze setkat jen velmi sporadicky.

Jakousi nadčasovost pokusu coby součásti fyzikálního vzdělávání lze dokladovat například jeho odolností vůči společenskému a zejména stále překotnějšímu technologickému vývoji. Jistě, k dispozici jsou samozřejmě nové a nové pomůcky, experimentování usnadňují „chytré“ telefony, tablety, měřicí systémy. Papírové sbírky pokusů a návody jsou nahrazovány interaktivním webovým prostředím elektronických sbírek, metody aktivního učení přesouvají těžiště experimentální aktivity z učitele na studenty, vznikají science centra zaměřená zejména na pokusy v běžné výuce neproveditelné. Pokusy ve fyzikálním vzdělávání mají potenciál plně využívat všech výše uvedených soudobých možností a rozhodně se pod jejich vlivem vyvíjejí. Co je ale podstatné – přes všechny změny zůstává zachován jejich původní význam a role, totiž role základního nástroje, kterým přírodní vědy disponují.

Za celou fyzikálně pedagogickou komunitu lze navíc doufat, že pokusy plní ve výuce ještě jednu roli – že snad alespoň dílem zbavují nepřilíši oblíbený školní předmět fyzika aury abstraktní, vzdálené a těžko pochopitelné vědy.

Motivace

Důvodů, proč se zabývat experimenty právě v oblasti středoškolské termodynamiky, je hned několik. Předně je termodynamika ve středoškolském učivu jedním z nejrozsáhlejších tematických celků, který navíc pokládá odborné základy k perspektivním odvětvím aplikované fyziky, jakými jsou dnes nauka o materiálech či fyzika povrchů a plazmatu.

Navzdory tomu je to ale právě termodynamika (přesněji řečeno terminologií učebnic *molekulová fyzika a termika*), která je studenty středních škol a víceletých gymnázií shledávána nejméně zajímavou částí fyziky (Dvořák a kol., 2008). V tomto kontextu se zdá být užitečné hledat způsoby, jak zvýšit atraktivitu termodynamiky pro studenty, což je úkol, který mohou kvalitně a přitažlivě připravené experimenty splnit. Argument, že takových experimentů již mnoho existuje, je samozřejmě na místě, ovšem přirozený vývoj společnosti (zmiňovaný v úvodu práce) nutí jejich tvůrce i učitele neustále na vavřínech a neustále obměňovat své postupy, aktualizovat obsah výuky a hledat využití nových pomůcek či nástrojů.

Navíc se zdá, že hledání skutečně přínosných a současně přitažlivých experimentů je v oblasti termodynamiky náročnější než v případě některých jiných partií školské fyziky. Velké množství autorů se zaměřuje na jevy mechanické či elektromagnetické, o čemž svědčí například následující přehled tematického zaměření experimentálně orientovaných příspěvků přednesených za uplynulých šest let v rámci Veletrhu nápadů učitelů fyziky (VNUF), jedné z největších konferencí tuzemských fyzikářů. Tabulka 1 vzniklá analýzou abstraktů z této konference (Veletrh nápadů učitelů fyziky, b.r.) z let 2010-2015 ukazuje, kolik prezentovaných příspěvků se věnovalo jednotlivým partiím fyziky (velké množství příspěvků do této statistiky zahrnuto není, protože jejich téma nespadá do žádné uvedené kategorie; celky s méně jak 10 příspěvky – např. speciální teorie relativity – nejsou uvedeny).

tematický celek	počet příspěvků
mechanika	51
elektřina a magnetismus	38
optika	26
astronomie	18
termodynamika	15
fyzika mikrosvěta	10

Tabulka 1: Tematické rozložení příspěvků na VNUF v letech 2010 až 2015

Ačkoliv je z hlediska typické časové dotace termodynamika na středních školách obvykle třetím nejrozsáhlejším celkem, lze na základě tabulky 1 vyslovit hypotézu, že její podpora ve formě námětů na experimenty tomuto postavení neodpovídá. Tato domněnka (opakovaně potvrzovaná autorovou osobní zkušeností) je dalším motivačním faktorem pro přípravu nových experimentů.

V neposlední řadě je pak výzvou postavit vznikající experimenty na základě výsledků didaktického výzkumu.

Cíle a struktura práce

Jak již částečně vyplývá z předcházejícího textu, v nejobecnějším slova smyslu je cílem této práce identifikovat ty partie termodynamiky, které jsou pro studenty středních škol nejproblematictější, a na tomto výzkumně podloženém základě připravit odpovídající experimenty, které mají porozumění dané látce napomoci.

Nejvýznamnější dílčí cíle lze formulovat následovně:

- Pomocí vybraného konceptuálního testu odhalit a popsat typické miskoncepce středoškolských studentů v termodynamice.
- Posoudit odolnost zjištěných miskonceptů vůči tradičně vedené výuce, uvést výsledky studentů do souvislosti s jejich postoji vůči fyzice.
- Vytipovat, navrhnout, připravit, zdokumentovat a samozřejmě se studenty vyzkoušet experimenty vhodné pro posílení konceptuálního pochopení problematických partií termodynamiky. Analogicky zpracovat další relevantní experimenty vybrané na základě interakce s učiteli z praxe, na základě konzultací s vedoucím práce apod.
- Vytvořené materiály vhodným způsobem publikovat, např. v prostředí elektronické Sbírkky fyzikálních pokusů.

Jak z výše uvedených cílů vyplývá, práci lze v zásadě rozdělit na dvě úzce propojené části: *část výzkumnou*, jejímž těžištěm bude výzkum směřující k odhalování miskonceptů, a *část vývojovou*, zaměřenou na přípravu a testování pokusů. Vzhledem k určité autonomii obou těchto částí bude každá z nich opatřena vlastním teoretickým úvodem a vlastní rešerší relevantních zdrojů.

Terminologické poznámky

Obvyklým terminologickým problémem prací souvisejících se vzděláváním je vhodné pojmenování toho, kdo je vyučován, vzděláván. Frekventanti středoškolské výuky, do jejíhož kontextu je tato práce zasazena, jsou dle platné vyhlášky označováni jako *žáci*. V praxi se ale toto označení omezuje pouze na oficiální dokumenty, zatímco v běžné mluvě používá drtivá většina učitelů na středních školách a gymnáziích pro své svěřence výraz *studenti*. (Tato ústní zvyklost navíc koresponduje také s anglickým názvoslovím, kde je pojem *pupil* vyhrazen pro studenty základních škol.) Z výše uvedených důvodů je v této práci ve významu „*toho, kdo je vzděláván*“ používán výhradně termín *student* a zahrnuje v sobě také svůj genderový protějšek *studentka*.

Jak je patrné ze samotného názvu práce, v popředí jejího zájmu bude velmi často *experiment*, pro který používá čeština označení *pokus*. Protože tyto dva pojmy jsou vnímány jako synonyma bez významových rozdílů, bude tato práce pracovat s oběma, bez striktního požadavku jednotnosti.

1. Miskoncepce ve fyzikálním vzdělávání

1. 1. Jsou studenti nepopsanými listy?

Slavný anglický filozof John Locke ve své práci *An essay concerning human understanding* (Wayne, 1948) zmiňuje, že studenti přicházejí do školy jako *tabula rasa* (nepopsané listy), a je zcela na učiteli, aby jim předal důležité znalosti a dovednosti; výstupem vzdělávacího procesu tak měl být jakýsi sklad informací, kam se fakta ukládají a nijak spolu neinteragují. Ve dvacátém století byly některé prvky této teorie implementovány v rámci behavioristického přístupu ke vzdělávání (Watson, 1914).

Jak ale ukázala zejména druhá polovina 20. století, Locke se ve své teorii mýlil. Konstruktivismus (Piaget, 1928; Piaget, 1952), nejrozšířenější vzdělávací přístup dneška, odmítl behavioristické myšlenky. Ovlivnění rozsáhlým Piagetovým dílem, výzkumníci v oblasti vzdělávání od sedmdesátých let uznávají, že i ty nejmladší děti usedají do školních lavic s robustním systémem intuitivních představ o fungování světa, který je obklopuje – tzv. prekoncepty.

1. 2. Vymezení pojmů prekoncepce a miskoncepce

1. 2. 1. Zahraniční autoři

Termín prekoncepce (angl. *preconceptions*) je v zahraniční literatuře vnímán různými autory odlišně, někteří ve svých výzkumných publikacích absenci širšího konsensu otevřeně přiznávají (Fisher, Williams & Lineback, 2011; Read, 2004). Jeden z nejcitovanějších přístupů k pojmu *preconceptions* nabídli Clement, Brown & Zietsman (1989), kteří je definují jako „*all ideas held before instruction*“ – veškeré představy, které mají studenti před začátkem vzdělávacího procesu.

Mnozí výzkumníci ovlivnění konstruktivismem se ve svých studiích zaměřili na ty prekoncepce, které odporují vědecky popsané realitě – tzv. miskoncepce. Ačkoliv je ale anglický pojem *misconceptions* v akademické komunitě běžně používán a obecně srozumitelný, někteří autoři v něm cítí negativní konotace (Leihonen, Asikainen & Hirvonen, 2013), což vede k neúnavnému hledání vhodnějších, méně kontroverzních či významově lehce posunutých označení, jako jsou například *alternative conceptions* (Hewson & Hewson, 1984), *alternative frameworks* (Driver, 1983), *naive conceptions* (Harrison, Grayson & Treagust, 1999), *naive theories* (Resnick, 1983) apod.

Vzhledem ke svému značnému rozšíření a obecné srozumitelnosti bude v této práci používán pojem miskoncepce, a to opět v souladu s definicí Clementa, Browna & Zietsmana (1989), kteří je vymezují jako „*students' ideas which are incompatible with currently accepted scientific knowledge*“ – představy studentů, které jsou nekonzistentní s aktuálně uznávanými vědeckými poznatky.

1. 2. 2. Domácí autoři

Na domácí scéně panuje jednotnější terminologický přístup, částečně díky mnohem menšímu množství publikací. Stěžejní práci v dané oblasti publikovali Mandíková & Trna (2011), kteří termín **prekoncepce** definují jako „*představy a interpretace objektů a jevů, které si člověk vytváří od raného dětství na základě bezprostředního vnímání a pozorování okolního světa, na základě manipulace s objekty tvořícími tento svět a na základě intuitivního zobecňování svých zkušeností*“. Dále se setkáváme s pojmy *prvotní představy* (Höfer & Prokšová, 2003) nebo *intuitivní představy* (Mandíková, 1990).

Miskoncepce jsou pak obvykle definovány jako *chybné prekoncepce* či *prekoncepce, které nejsou v souladu s vědeckými poznatky* (Mandíková & Trna, 2011).

1. 3. Miskoncepce coby téma mnoha studií

V uplynulých 35 letech bylo ve světě provedeno velké množství kvalitně zdokumentovaných studií, které poukázaly na existenci miskonceptů studentů v přírodovědných předmětech. Současně byla zjištěna vysoká odolnost těchto miskonceptů vůči změnám, a to v zásadě nezávisle na struktuře školské soustavy, typu školy, studijních výsledcích či věku a mateřském jazyce testovaných studentů (Driver, Guesne & Tiberghien, 1985; McDermott, 1993; Lewis & Linn, 1994; Osborne & Freytag, 1985; Pfundt & Duit, 1991; Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982; Wiser & Amin, 2001).

V případech fyziky byly připraveny konceptuální testy, např. *Force Concept Inventory* (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992), *Conceptual Survey in Electricity and Magnetism* (Maloney, O’Kuma, Hieggelke & van Heuvelen, 2000) a další, jejichž primárním cílem bylo z hlediska miskonceptů zmapovat základní tematické celky – mechaniku, elektřinu, magnetismus, optiku, termodynamiku, astronomii atd. Mohly tak vzniknout přehledy identifikovaných miskonceptů, doplňované a potvrzované dalšími pracemi; v dnešní době zřejmě počet předcházejících studií vyvolává u některých výzkumníků pocit, že všechny miskoncepce již byly identifikovány, a objevují se i hlasy volající po utlumení jejich výzkumu (Maskiewicz & Lineback, 2013).

Naproti tomu v českém prostředí, kde se stal výzkum miskonceptů aktuální mnohem později než v západní Evropě nebo v Severní Americe, mohou být některá zjištění do jisté míry stále ještě „novinkami“. Autor práce se domnívá, že šíření povědomí o existenci a odolnosti studentských miskonceptů mezi řadové učitele, zejména pak ty začínající či pro toto povolání dosud připravované, má stále velký potenciál, stejně jako promítnutí výsledků předcházejících výzkumů do tvorby nových učebních materiálů apod.

Následující podkapitola se zaměřuje na výsledky těch výzkumů, které se orientovaly na miskoncepce v oblasti tepelných jevů.

1. 4. Předcházející výzkumy v oblasti tepelných jevů

Termodynamika, kam tepelné jevy tematicky spadají, představuje konceptuálně velmi bohatou oblast fyziky, jež navíc užívá mnoho pojmů, které jsou důvěrně známé z běžného života, ale jejich význam ve fyzice může být posunutý. Tato jazyková víceznačnost společně s naší každodenní zkušeností s tepelnými jevy mohou studenty snadno vést k vytvoření celé sítě intuitivních představ, jež neodpovídají vědecky korektním vysvětlením (Luera, Otto & Zitzewitz, 2005).

Následující dvě podkapitoly mapují předcházející studie provedené v oblasti zkoumání studentských miskoncepcí v termodynamice. Zahraničními studiemi se rozumí výhradně studie publikované v anglickém jazyce, které pojednávají o studentech jiné než české národnosti.

1. 4. 1. Zahraniční studie

Z počtu zahraničních studií, které se zabývají miskoncepce v termodynamice, lze usoudit, že tomuto tématu je věnováno méně pozornosti než např. mechanice, optice či elektřině a magnetismu (Pathare & Pradhan, 2011). Přesto vzniklo velké množství výzkumů, ať už povahy kvantitativní či kvalitativní; protože lze stěží věnovat pozornost všem relevantním zdrojům, nabízí tabulka 2 chronologický přehled těch nejcitovanějších. Rozsáhlejší rešerši provedených výzkumů nabízejí ve svých člancích například McDermott & Redish (1999), Sözbilir (2003) či Dreyfus a kol. (2015); tyto příspěvky pokrývají výzkumy z let 1972 až 2014 a částečně z nich čerpá také tabulka 2.

Nejobsáhlejším přehledovým příspěvkem je pak komentovaný souhrn více než devadesáti provedených výzkumů, jehož autorem je Leinonen (2009).

autor (rok) <i>stát</i>	výzkumný přístup	úroveň	stručná bližší specifikace
Warren (1972) <i>Velká Británie</i>	kvantit.	VŠ	Studenti měli za úkol definovat teplo, vnitřní energii a popsat jejich vztah.
Johnstone, MacDonald & Webb (1977) <i>Velká Británie</i>	kvantit.	vyšší SŠ	Studie prověřovala pochopení dynamické rovnováhy a hledala miskoncepce týkající se entropie, entalpie a volné energie.
Erickson (1979, 1980) <i>Kanada</i>	smíšený	ZŠ	Výchozí dílo pro mnoho dalších autorů, kvalitativní část zahrnuje deset interview vedených se studenty Piagetovou klinickou metodou.
Rozier & Viennot (1991) <i>Francie</i>	kvantit.	VŠ	Výzkum zaměřený na situace, ve kterých musí studenti své uvažování efektivně zjednodušovat (snižovat počet proměnných).

Kesidou & Duit (1993) <i>Německo</i>	kvalitat.	SŠ	Studie vedená formou klinických rozhovorů je zaměřená na koncepty tepelné rovnováhy, tepla, teploty a na první i druhý termodynamický zákon.
van Roon, van Sprand & Verdonk (1994) <i>Holandsko</i>	kvalitat.	VŠ	Výzkum porozumění pojmům teplo, práce a teplota v rámci univerzitního kurzu.
Lewis & Linn (1994) <i>USA</i>	kvantit.	průřez populací	Výzkum ukazující, že studenti mají velmi podobné miskoncepce jako dospělí či vědci.
Harrison, Grayson & Treagust (1999) <i>JAR, USA</i>	kvalitat.	SŠ	Studie sledující vývoj pochopení základních konceptů termodynamiky u jednoho konkrétního studenta.
Wiser & Amin (2001) <i>USA</i>	kvalitat.	SŠ	Studium vývoje pochopení základních konceptů termiky v prostředí malé skupiny studentů.
Yeo & Zadnik (2001) <i>Austrálie</i>	kvantit.	SŠ	Výzkum pomocí konceptuálního testu TCE zkoumá, jak studenti rozumí běžně známým tepelným jevům.
Chu, Treagust, Yeo & Zadnik (2012) <i>Jižní Korea</i>	kvantit.	SŠ	Další studie využívající výše uvedený test TCE.
Wattanakasiwich, Taleab, Sharma & Johnston (2013) <i>Thajsko, Austrálie</i>	kvantit.	VŠ	Výzkum popisuje konstrukci a zadání konceptuálního testu TCS.

Tabulka 2: Přehled vybraných výzkumů miskoncepí v oblasti tepelných jevů

Zmíněné práce typicky obsahují přehledy identifikovaných miskoncepí, které se napříč různými studii do jisté míry překrývají a v některých bodech se liší pouze formulacemi či mírou zobecnění. Přehled nejčastěji zmiňovaných miskoncepí vzniklý kompilací výsledků výše uvedených výzkumů je uveden v tabulce 3.

konceptuální oblast	Miskoncepce
teplo	existuje dvojice nezávislých fenoménů: teplo a chlad
	teplo i chlad tečou jako kapaliny
	teplo je materiálová vlastnost
	teplo je přímo úměrné teplotě
	teplo stoupá vzhůru

teplota	teplota je extenzivní veličina, zatímco teplo veličina intenzivní
	teplota je mírou, množstvím tepla
	teplota objektu závisí na jeho velikosti
tepelná rovnováha tepelná vodivost	kovy přitahují, „ukládají“ teplo i chlad
	vlna (či svetr z ní) věci zahřívají
	dotykem ruky lze spolehlivě určit teplotu předmětu
	některé látky (kovy) jsou přirozeně chladnější než jiné (dřevo)
	teplota různých předmětů zůstává rozdílná i tehdy, pokud jsou po dlouhou dobu umístěny společně v místnosti
změny skupenství	teplota vařící se vody přesahuje 100 °C
	teplota látky se během tání či varu mění

Tabulka 3: Přehled miskoncepcí nejčastěji uváděných v anglicky psané literatuře

1. 4. 2. Domácí studie

V tuzemském prostředí se studentskými miskoncepce v oblasti tepelných jevů zabývali studenti didaktiky fyziky na Matematicko-fyzikální fakultě UK (dále: MFF UK) ve svých diplomových pracích. Na úrovni základní školy prováděla výzkum na 231 žácích Likusová (1994), na vzorku 187 žáků o dvacet let později Schamberger (2014). Porozumění středoškolských studentů základním termodynamickým konceptům se ve své práci věnuje Čečák (2015), který do češtiny přeložil konceptuální test *Heat and Temperature Concept Evaluation* (Thornton & Sokoloff, 2001) a zadal jej jako pretest a posttest 147 studentům čtyř gymnázií; jím identifikované miskoncepce obvykle odpovídají těm, které jsou uvedeny v tabulce 3.

V českém prostředí nejobsáhlejší přehled typických miskoncepcí pak udávají Mandíková & Trna (2011) – ty z oblasti tepelných jevů shrnuje tabulka 4.

konceptuální oblast	miskoncepce
teplo a teplota	pojmy teplo a teplota se ztotožňují
	teplo je nějaká látka
	teplota je vlastnost určitého materiálu či předmětu
	teplo předmětu závisí na jeho velikosti
teplo, teplota a částicový model	teplota je vzdálenost částic
	teplota je vnitřní energie částic
	s rostoucí teplotou se částice zvětšují
	při ohřívání předmětu se v místě ohřevu ohřívají molekuly, ty pak proudí do celého předmětu a tím jej zahřívají celý
	při chlazení jsou horké molekuly nahrazovány studenými
	rychlý pohyb částic vede ke tření a tak i k teplu
když se částice srážejí, vzniká teplo	

přenos tepla	teplo cestuje vždy vzhůru
	teplo a chlad mohou téci podobně jako kapaliny
	teplo a chlad přechází z jednoho předmětu na jiný
	teplý a studený jsou považovány za dva odlišné stavy, spíše než za dva opačné konce souvislé škály
	dáme-li do kontaktu dva předměty o různé teplotě, nemusí se nutně jejich teploty vyrovnávat
	při tepelné výměně se teplota ustálí na takové hodnotě, aby se součet počátečních teplot neměnil („nemohou se ztrácet stupně“)
	proces vyrovnávání teplot je vratný, po vyrovnání se teploty opět vrací na své původní hodnoty
	vhodíme-li do chladné vody horkou kuličku, kulička postupně chladne a voda se ohřívá, až se nakonec teploty vymění
	předměty, které se snadno ohřívají, snadno nechladnou
	kovy vedou dobře teplo, protože teče po jejich povrchu
	tepelná vodivost různých materiálů závisí na některých pozorovatelných vlastnostech (barvě, tloušťce, povrchu,...)
	svetry hřejí, vydávají teplo
	led nemůže měnit svou teplotu
	některé látky (cukr, mouka) se nemohou ohřát
změny skupenství	každé dodání tepla se musí nutně projevit vzrůstem teploty
	teplota varu je maximální teplota, kterou může látka dosáhnout

Tabulka 4: Miskoncepce, které uvádějí Mandíková & Trna (2011)

2. Výzkum miskoncepcí v oblasti tepelných jevů na českých SŠ: Cíle a realizace

2. 1. Cíle výzkumu

Jak je patrné ze závěru předcházející kapitoly, v českém prostředí dosud absentuje kvantitativní výzkum, který by byl svým rozsahem srovnatelný se zahraničními studiiemi a zaměřoval se na miskoncepce studentů v termodynamice na středoškolské úrovni. Výzkumná část této disertační práce si dala za cíl takovou studii provést a s její pomocí najít odpovědi na dvě základní výzkumné otázky O1 a O2:

O1: *Jaké jsou nejzásadnější aktuálně existující miskoncepce studentů českých gymnázií v oblasti tepelných jevů?*

O2: *Jaký vliv má běžně probíhající výuka na tyto zjištěné miskoncepce?*

Výzkumné hypotézy autora práce byly ve vztahu k těmto otázkám následující:

H1: *Nejproblematictější partíí termodynamiky jsou pro studenty otázky spojené s konceptem tepelné vodivosti, kterému se ve výuce věnuje velmi málo pozornosti.*

H2: *Běžná výuka povede pouze k velmi malému, statisticky nevýznamnému zlepšení konceptuálního porozumění studentů.*

2. 2. Metodologie

2. 2. 1. Výzkumný přístup, výzkumný plán a metoda sběru dat

Pro popisovaný výzkum byl zvolen kvantitativní výzkumný přístup a výzkumný plán ex-post-facto (Průcha, 2009), při kterém se výzkumník nedopouští záměrných intervencí a manipulací ve vztahu ke studovanému vzorku či podmínkám studie. Metodou sběru dat byl konceptuální test zadávaný jako pretest a posttest (před probráním učiva a po něm), a to bez využití výpočetní techniky – tzv. paper & pencil test.

2. 2. 2. Výzkumný nástroj

Pro potřeby výzkumu byl jako diagnostický nástroj zvolen konceptuální test nazvaný *Thermal Concept Evaluation* (TCE; Yeo & Zadnik, 2001), který byl vyvinut v roce 2001 na univerzitě v australském Perthu. Vlastní test se skládá z 26 otázek s výběrem právě jedné správné odpovědi ze čtyř (výjimečně pěti) možností, tj. klasický tzv. *multiple-choice test*. Otázky mají vždy právě jednu správnou odpověď, jsou často stylizovány do podoby běžné konverzace mezi adolescenty a typicky jsou inspirovány každodenními situacemi (ve škole, v domácnosti, na výletě, ...), ve kterých tepelné jevy nějakým způsobem figurují. Autoři se úmyslně vyhýbají obrázkům a jiným grafickým vyjádřením, aby se vyhnuli jejich dezinterpretaci.

Od svého vzniku v roce 2001 byl test TCE ve své původní či zkrácené/rozšířené verzi použit v mnoha zemích po celém světě – mezi jinými v USA (Luera, Otto

& Zitzewitz, 2006), Turecku (Baser, 2006), Libyi (Alwan, 2011) či Jižní Koreji (Chu, Treagust, Yeo & Zadnik, 2012). Navzdory tomu, že sami autoři Shelley Yeo a Marjan Zadnik označují svůj test jako nástroj „určený k posouzení toho, jak studenti ve věku 15 až 18 let chápou základní koncepty termodynamiky“, byl test TCE některými dalšími autory (Alwan, 2011; Luera, Otto & Zitzewitz, 2006) použit i na univerzitní úrovni. Originální verze testu je k této práci připojena jako příloha 1.

V březnu 2013 byl test TCE autorem této práce přeložen do češtiny a obsahová validita překladu byla posouzena pěti odborníky z Katedry didaktiky fyziky MFF UK a pěti zkušenými středoškolskými učiteli s více než 20 lety praxe. Jejich hodnocení ve spojení s výsledky následné pilotáže, kterou v květnu 2013 podstoupilo 72 studentů tří středních škol, pak vedly k redukci testu TCE do jeho současné podoby, která zahrnuje celkem 19 otázek. Otázky, které v původním zadání nesly čísla 12, 13, 14, 15, 20, 21 a 26, byly z testu vyřazeny, a to z jednoho z následujících důvodů:

- Formulace otázky by byla vzhledem ke specifikům českého jazyka příliš nesrozumitelná nebo naopak příliš navádějící k řešení; experti posuzující validitu se neshodli na českém překladu.
- Schopnost otázky rozlišovat mezi úspěšnými a méně úspěšnými studenty, která je daná tzv. indexem diskriminace D (Yeo & Zadnik, 2001), byla velmi malá ($D < 0,20$).

Na základě pilotáže byla také posuzována reliabilita (vnitřní konzistence) používaného nástroje; zjištěné Cronbachovo alfa $\alpha = 0,77$ (Cronbach, 1951) lze považovat za dostatečné pro výzkumné užití testu (Cortina, 1993).

Česká verze testu bude dále pro odlišení od anglického originálu nazývána CTCE (*Czech Thermal Concept Evaluation*) a číslování otázek bude dále vztahováno k ní; tato česká verze, již doplněná instrukcemi pro studenty, je k práci připojena jako příloha 2.

2. 2. 3. Výběr respondentů

Výzkum se zaměřil striktně na studenty čtyřletých a víceletých gymnázií, kteří procházejí všeobecně zaměřeným vzdělávacím procesem; nebyli do něj tedy zahrnuti studenti jiných středních škol.

Přehled existujících čtyřletých a víceletých gymnázií byl převzat z webu Seznam škol (b.r.); aby byla škola z tohoto seznamu oslovena, musela splňovat následující tři kritéria:

- [1] Škola musí mít svůj *Školní vzdělávací program* zveřejněný na svých webových stránkách. Tento základní dokument dává představu, zda je uspořádání učiva pro zadání testu vhodné (viz následující bod).
- [2] Tematický celek tepelných jevů musí být dle ŠVP celý probírán v rámci jednoho ročníku, nesmí být rozdělen do dvou ročníků. Tento požadavek přirozeně plyne z potřeby porovnávat posun studentů mezi pretestem

a posttestem – v případě rozložení učiva mezi dva ročníky se díky letním prázdninám výrazně prodlužuje interval mezi oběma zadáními testu.

[3] Protože autor výzkumu bude školy navštěvovat osobně, je maximální dojezdová vzdálenost školy od centra Prahy orientačně stanovena jako 1,5 hodiny cesty veřejnou dopravou.¹

Všechna mimopražská gymnázia (čtyřletá či víceletá), které tato kritéria splňovala, byla autorem výzkumu oslovena. V případě pražských gymnázií, která vyhověla uvedeným kritériím v počtu několika desítek, byly osloveny ty školy, které navíc již v minulosti s pracovištěm autora na jiném projektu spolupracovaly.

Celkem bylo osloveno 48 gymnázií – zastoupení jednotlivých krajů udává tabulka 5, konkrétní rozložení škol je pak znázorněno na mapě na obr. 1.

kraj	počet oslovených škol
Středočeský	20
Praha	8
Pardubický	7
Jihočeský	3
Ústecký	3
Královéhradecký	2
Liberecký	2
Plzeňský	1
Vysočina	1
Jihomoravský	1

Tabulka 5: Počty oslovených škol v jednotlivých krajích

¹ Z tohoto kritéria bylo učiněno několik výjimek, a to v případě škol, kde bylo teoreticky možné spojit zadávání testu s jinou na škole probíhající akcí s účastí Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy (dále: MFF UK); pouze jedna z nich se ovšem nakonec do testování skutečně zapojila.



Obrázek 1: Rozložení škol oslovených v rámci ČR

Prosba o účast ve výzkumu měla podobu e-mailové zprávy a nebyla adresována vedení škol (ředitelům), ale přímo jednotlivým vyučujícím fyziky, jejichž e-mailové adresy byly uvedeny na webových stránkách gymnázií; znění zasílaného e-mailu je k práci přiloženo jako příloha 3.

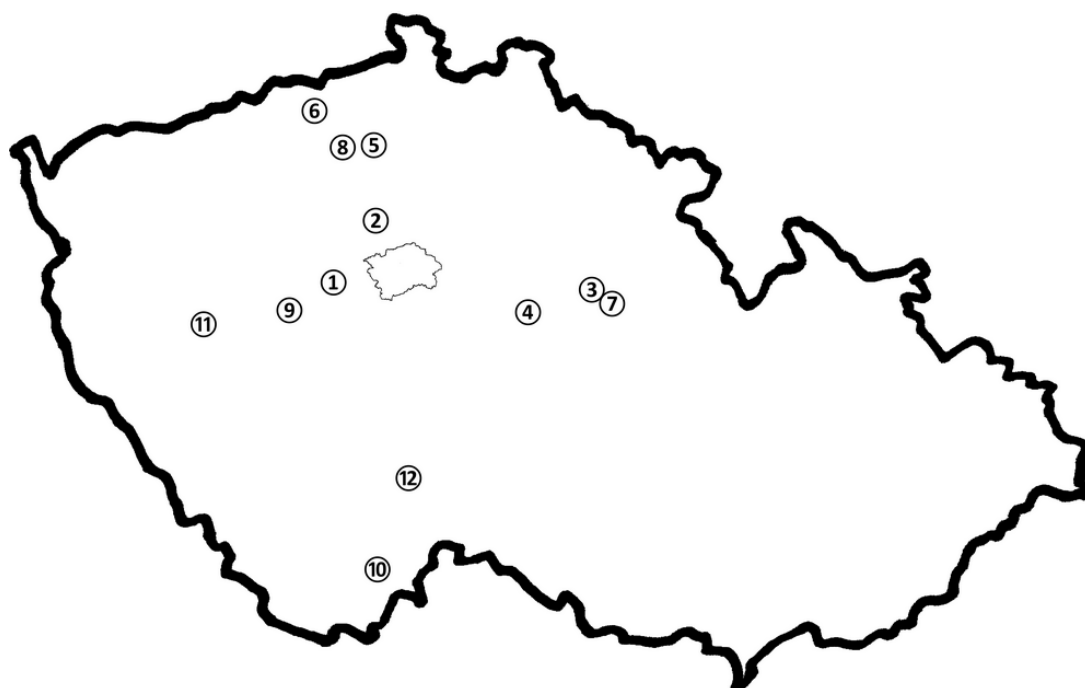
Z oslovených škol jich na zaslanoou prosbu zareagovalo 27, z toho 18 kladně; všechny tyto školy se následně do výzkumu skutečně zapojily.

2. 2. 4. Administrace

Jak již bylo uvedeno výše, do výzkumu se zapojilo celkem 18 gymnázií (viz mapy na obr. 2 a 3), přesněji 26 tříd vyučovaných 22 různými učiteli. Ve všech případech se jednalo o třídy 2. ročníku čtyřletých gymnázií nebo jejich odpovídající ekvivalenty na gymnáziích víceletých. Hlavní část zadávání proběhla ve školním roce 2013/2014, zbytek pak ve školním roce 2014/2015 (viz tabulka 6).

Hned z několika důvodů bylo cílem autora výzkumu zadávat test na co nejvíce školách osobně. Předně tento postup zaručoval, že budou podmínky zadání ve všech třídách srovnatelné a neovlivní je způsob, jakým by test studentům zadával sám jejich vyučující; autor se tak snažil vyhnout nadměrnému stresování studentů („...snažte se, ať neuděláte ostudu... už máte jenom pět minut!“) či naopak jejich demotivování („...je jedno, jak to napíšete, vlastně o nic nejde...“), které mohou sehrát roli v jejich výkonech. Za další velký benefit považuje autor možnost průběžně sledovat, jak si studenti v testu vedou – u kterých otázek se rozhodují okamžitě, u kterých typicky váhají, které přeskakují a ke kterým se vrací a často mění odpověď.

Pretesty byly načasovány tak, aby proběhly těsně (cca týden) předtím, než začnou studenti probírat kapitolu týkající se zavedení teploty, která uvádí celé středoškolské učivo termodynamiky; posttesty pak byly zadávány ne později než dva týdny poté, co příslušná třída dokončila téma skupenských přeměn, jež termodynamiku obvykle uzavírají. Termíny zadávání na jednotlivých školách ukazuje tabulka 6. Učitelé byli ve všech případech požádáni, aby studenty o zadávání testů předem neinformovali a ani před ním se studenty učivo nijak mimořádně neopakovali.



Obrázek 2: Rozložení mimopražských škol, na kterých proběhl výzkum



Obrázek 3: Rozložení pražských škol, na kterých proběhl výzkum

Škola	označení na mapě	datum zadání	
		pretest	posttest
Gymnázium Joachima Barranda, Beroun	①	5. 9. 2013	13. 3. 2014
Dvořákovou gymnázium, Kralupy n. Vlt.	②	10. 9. 2013	15. 4. 2014
Gymnázium Mozartova, Pardubice	③	12. 9. 2013	27. 3. 2014
Gymnázium Jiřího Ortena, Kutná Hora	④	16. 9. 2013	5. 5. 2014
Gymnázium Josefa Jungmanna, Litoměřice	⑤	17. 9. 2013	20. 2. 2014
Soukromé gymnázium ARCUS, Praha	①	18. 9. 2013	23. 4. 2014
Gymnázium Teplice	⑥	19. 9. 2013	24. 4. 2014
Gymnázium Dašická, Pardubice	⑦	23. 9. 2013	3. 3. 2014
Gymnázium Na Vítězné pláni, Praha	②	23. 9. 2013	10. 12. 2013
Gymnázium Špitálská, Praha	③	24. 9. 2013	14. 5. 2014
Gymnázium Lovosice	⑧	24. 9. 2013	11. 3. 2014
Gymnázium Václava Hlavatého, Hořovice	⑨	30. 9. 2013	10. 3. 2014
Gymnázium Jaroslava Heyrovského, Praha	④	30. 9. 2013	17. 3. 2014
Gymnázium Litoměřická, Praha	⑤	3. 10. 2013	5. 6. 2014
Gymnázium Trhové Sviny	⑩	15. 10. 2013	20. 3. 2014
Gymnázium Českolipská, Praha	⑥	21. 10. 2013	3. 3. 2014
Masarykovo gymnázium, Plzeň	⑪	19. 9. 2014	20. 3. 2015
Gymnázium Soběslav	⑫	20. 10. 2014	15. 4. 2015

Tabulka 6: Časový harmonogram zadávání pretestů a posttestů
(druhý sloupec odkazuje na mapy na předcházejících obrázcích)

Zadání testu (příloha 2) bylo určeno pouze pro čtení, své odpovědi studenti zapisovali do záznamového listu (příloha 4), který kromě vlastních odpovědí na fyzikální otázky zjišťoval také známku studenta z fyziky na vysvědčení za poslední pololetí a jeho základní postoje vůči fyzice; tyto údaje byly později využity při vyhodnocování výsledků.

Aby bylo možné výkony jednotlivých respondentů v pretestu a posttestu porovnat, byli studenti na začátku testování požádáni, aby své záznamové listy podepsali, případně – pokud nechtějí uvádět jméno a příjmení – aby použili svoji přezdívku; tuto možnost zvolil ale pouhý zlomek dotazovaných.

Pilotáž ukázala, že přiměřenou časovou dotací na vyplnění testu je doba 30 minut, většina studentů ale byla hotova rychleji, do 25 minut. Zcela výjimečně některý z respondentů potřeboval několik minut navíc – v takovém případě mu byly poskytnuty. Bohužel, vyskytly se také případy extrémně rychlého vyplnění testu (do 10 minut), u kterých lze (i s ohledem na výsledky) předpokládat, že jsou dílem

studentů, kteří vyplnění testu jednoduše bojkotovali a vyplnili jej náhodně. Jak ale ukázalo pozorování autora výzkumu přímo ve třídách (... a v tom je cenný přínos tohoto postupu), jde naštěstí zřejmě jen o jednotky případů, které celkovými statistikami výrazně nezahýbají.

3. Výzkum miskoncepcí v oblasti tepelných jevů na českých SŠ: Výsledky

3. 1. Obecná data

Celkem byly v rámci pretestu získány odpovědi od 631 respondentů, s daty získanými v posttestu se podařilo spárovat výsledky 520 studentů. Poměrně velká redukce původního počtu oslovených (o téměř 18 %) je zčásti způsobena častými absencemi studentů ve výuce, zčásti pak rozhodnutím jedné vyučující neumožnit ve své třídě zadání posttestu z časových důvodů.

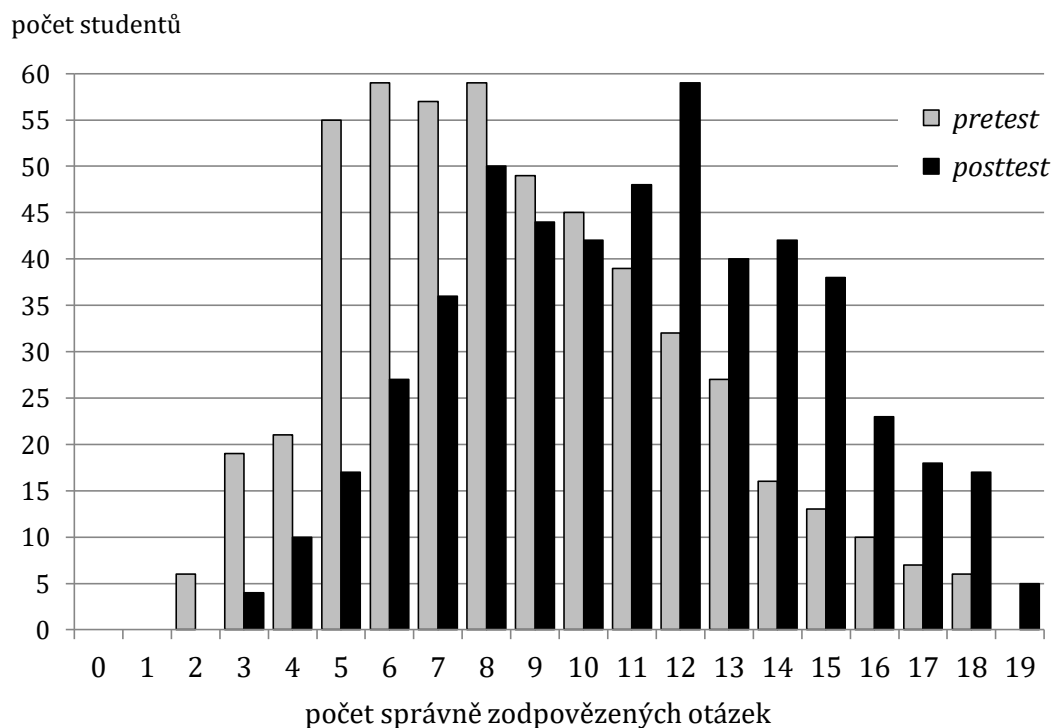
Průměrná úspěšnost studentů v pretestu činila 46 % (což při maximálním možném zisku 19 bodů představuje 8,7 bodu), v posttestu pak 58 % (11,1 bodu); histogramy na obr. 4 ukazují, jak se mezi pretestem a posttestem změnilo rozdělení studentů dané počtem správně zodpovězených otázek. Uvedený posun lze reprezentovat normalizovaným ziskem (Hake, 1998) ve výši $g = 0,23$; tato hodnota je vnímána jako znamení nízké efektivity vzdělávacího procesu, což je ovšem – pokud hodnotíme tradičně pojímanou výuku – časté zjištění.

Zaměříme se nyní na otázku, zda je výše uvedené zlepšení statisticky významné. Podrobíme-li přírůstky skóre jednotlivých studentů Shapirovu–Wilkovu testu (Shapiro & Wilk, 1965), zamítáme normalitu jejich rozdělení na hladině $p < 0,001$, což vylučuje použití parametrických statistických testů², v tomto případě párového t-testu. Proto byla data ve webovém prostředí MathCracker analyzována pomocí neparametrického oboustranného párového Wilcoxonova testu (Wilcoxon, 1945), na jehož základě lze zlepšení studentů v testu považovat za statisticky významné na hladině $p < 0,001$ (tj. zamítáme nulovou hypotézu H_0 , že k žádnému zlepšení nedošlo).

Další výsledky obecného charakteru jsou uvedeny v tabulce 7 a zaměřují se na porovnání podle genderu, srovnání čtyřletého a osmiletého studia a srovnání Prahy se zbytkem oslovené populace. Obecně lze říci, že v testu více uspěli chlapci než děvčata, frekventanti osmiletých studijních cyklů oproti frekventantům cyklů čtyřletých a studenti navštěvující pražská gymnázia oproti těm mimopražským; všechny tyto rozdíly jsou dle dvouvýběrového Wilcoxonova testu statisticky významné na hladině

² Díky centrální limitní větě je obvykle možné v případě dostatečně velkých statistických vzorků ($N > 50$) uplatnit parametrické testy i na data, která nejsou normálně rozdělena (Hendl, 2012), formálně korektnější je ale využití testů neparametrických. Proto je v této práci používán Wilcoxonův test pracující s mediánem studovaných výběrů. Pro zajímavost lze uvést, že pokud provedeme všechny výpočty, které v této práci využívají Wilcoxonovu statistiku, s odpovídajícím typem t-testu, dostaneme stran zamítání hypotéz bez výjimky stejné závěry.

významnosti $p < 0,005$. Jako zásadnější zjištění se ale jeví fakt, že rozdíly v normalizovaném zisku jsou pro všechny výše uvedené skupiny studentů statisticky nevýznamné, Hakeův koeficient g se udržuje v rozmezí 0,20 – 0,25.



Obrázek 4: Rozdělení studentů podle počtu správně zodpovězených otázek

	# studentů	pretest (%)	posttest (%)	normalizovaný zisk
genderové výsledky				
dívky	304	39,9	53,4	0,22
chlapci	216	53,7	65,0	0,24
výsledky v závislosti na délce studovaného oboru³				
čtyřleté studium	215	39,2	51,7	0,21
osmileté studium	286	50,5	62,9	0,25
výsledky v závislosti na lokaci školy				
pražské školy	173	50,5	62,1	0,23
mimopražské školy	347	42,8	55,9	0,23

Tabulka 7: Shrnutí obecných výsledků CTCE

³ Jen jediná z testovaných tříd se řadí do šestiletého studijního oboru, vzhledem k příliš malému statistickému vzorku není do druhé položky v tabulce 7 zahrnuta.

3. 2. Položková analýza

Tabulka 8 shrnuje výsledky studentů v jednotlivých otázkách. Namísto plného znění otázek jsou v zájmu větší přehlednosti tabulky uváděny jejich krátké reformulace.

#	otázka	pre (%)	post (%)	<i>g</i>	<i>D</i>
1	Teplota kostek ledu v mrazáku.	76,9	80,4	0,15	0,33
2	Teplota vody ve sklenici s netajícími kostkami ledu.	51,2	63,8	0,26	0,42
3	Teplota tajících zbytků ledu.	43,3	58,7	0,27	0,41
4	Teplota vody, která se právě začala vařit.	61,7	72,7	0,29	0,30
5	Teplota vody, která se vaří již po dobu 5 minut.	26,0	41,9	0,21	0,32
6	Teplota páry nad vařící se vodou.	23,3	28,7	0,07	0,09
7	Teplota vody získané slitím tří šálků o různé teplotě.	79,0	82,9	0,19	0,23
8	Jak se změní var vody ve vysoké nadmořské výšce.	36,2	52,1	0,25	0,66
9	Teplota plechovky a plastové lahve, které byly přes noc uloženy v ledničce.	36,2	48,5	0,19	0,51
10	Důvod, proč je stůl pod vychlazenou plechovkou studenější než jinde.	43,1	68,7	0,45	0,72
11	Rozhodnutí, zda v mrazáku odevzdá více tepla 100 gramů vody nebo 100 gramů ledu.	21,2	44,4	0,29	0,24
12	Vysvětlení, proč kov studí víc než dřevo.	38,7	61,3	0,37	0,64
13	Odhad teploty místnosti na základě toho, jak mění teplotu lahev zabalená v suchém a mokřém ručníku.	28,7	31,5	0,04	0,38
14	Vysvětlení, proč je krabice z lednice na dotyk chladnější než krabice, která stála na stole.	41,9	47,3	0,09	0,59
15	Důvod, proč se jídlo v tlakovém hrnci uvaří rychleji.	33,5	51,3	0,27	0,53
16	Důvod, proč se pumpička na kolo při použití zahřívá.	80,8	85,6	0,25	0,22
17	Důvod, proč nosíme v zimě svetry.	58,8	70,8	0,29	0,59
18	Vysvětlení, proč se dřevěná tyčka nanuku zdá po vyjmutí nanuku z lednice teplejší než nanuk samotný.	33,7	48,5	0,22	0,73
19	Odhad nejnižší možné teploty.	54,2	67,3	0,29	0,60

Tabulka 8: Statistika jednotlivých otázek testu CTCE

Pro každou otázku je v tabulce 8 zleva uveden procentuální zisk v pretestu a posttestu, normalizovaný zisk *g* (Hake, 1998) a index diskriminace *D* (Yeo & Zadnik, 2001). Index diskriminace, který dává informace o tom, zda je otázka schopna rozlišit mezi celkově v testu úspěšným a celkově v testu neúspěšným studentem, byl určen na základě dat z pretestu.

Při pohledu do tabulky 8 je zjevné, že hranici mezi málo a středně efektivní výukou, za kterou bývá považována hodnota normalizovaného zisku 0,30, překročily pouze otázky 10 a 12; na druhou stranu, ve všech případech zůstal normalizovaný zisk kladný, tj. v žádné otázce nedošlo mezi pretestem a posttestem ke zhoršení.

Aby byla otázka schopna odlišovat mezi kvalitním a slabým studentem, měl by být dle doporučení její index diskriminace D alespoň 0,20; navzdory provedené pilotáži zbyla v CTCE otázka, která toto kritérium nesplňuje (otázka č. 6), tj. ti, kteří v testu jako celku uspějí, s ní mají stejné potíže jako ti, kteří v něm propadnou.

V následujících oddílech se práce zaměří na podrobnější analýzu výsledků v jednotlivých konceptuálních oblastech.

3. 2. 1. Skupenské přeměny a související změny teploty

Při pohledu na výsledky pretestu zjistíme, že pouze v případě otázek 5, 6, 11 a 13 nepřekročila průměrná úspěšnost studentů hranici 30 %. Navzdory drobnému zlepšení zůstaly uvedené čtyři otázky i v posttestu těmi, ve kterých studenti nejvíce chybovali; kromě toho otázky 6 a 13 vykázaly vůbec nejnižší normalizované zisky – 0,07, resp. 0,04. Protože všechny uvedené otázky se zabývají právě oblastí skupenských přeměn, přesněji teplotních změn během nich, je zřejmě na místě se touto konceptuální oblastí zabývat podrobněji.

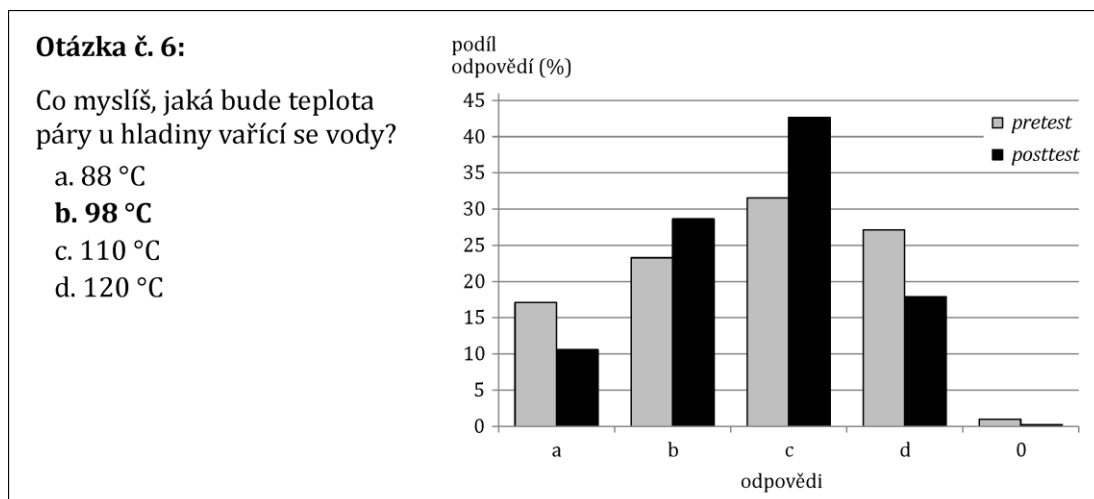
Podrobnější analýza ukazuje, že právě na poli skupenských přeměn byly detekovány vůbec ty nejzásadnější miskoncepce, které test CTCE odhalil – jejich přehled nabízí tabulka 9.

číslo otázky	miskoncepce	podíl studentů s miskoncepčí	
		pretest (%)	posttest (%)
3	Teplota kostek ledu v místnosti musí být vyšší než 0 °C.	50,4	36,0
5	Teplota kontinuálně se vařící vody nutně překročí 100 °C.	71,7	56,3
6	Teplota páry nad vařící se vodou je vyšší než 100 °C.	58,7	60,6
11	Není možné získat vodu o teplotě 0 °C.	43,1	22,7

Tabulka 9: Miskoncepce identifikované v oblasti skupenských přeměn

Za povšimnutí stojí především otázka 6, ve které došlo v posttestu dokonce k nepatrnému zesílení příslušné miskoncepce. Aby bylo možné tento – v porovnání s ostatními otázkami pozoruhodný – jev interpretovat, je třeba podívat se na podrobnější statistiku této otázky – tu ukazuje obr. 5. Je patrné, že v posttestu významně ubylo studentů, kteří se domnívají, že pára nad hladinou vroucí vody má teplotu 88 °C či 120 °C, ale podobně významně přibýlo těch, kteří se domnívají, že teplota takové páry je 110 °C – analýza testů jméno po jméno ukázala, že nárůst

odpovědi v položce *c* je skutečně dán téměř výhradně opuštěním odpovědi *a* či *d*. Jedna špatná představa tak byla nahrazena jinou a miskoncepce o růstu teploty nad 100 °C zůstala nedotčena, to vše za dosažení minimálního normalizovaného zisku ve prospěch správné odpovědi.



Obrázek 5: Výkony studentů v otázce 6; odpověď „0“ značí nezodpovězenou otázku

Dále stojí za pozornost otázka č. 11, ve které v pretestu více než 43 % studentů (v absolutních číslech 224 osob) vyslovilo názor, že vůbec nelze získat vodu o teplotě 0 °C; podobná miskoncepce je v zahraničních výzkumech zmiňována velmi zřídka. V kontextu testu CTCE je pak o to pikantnější, že z uvedených 224 studentů jich celých 101 (tj. 45 %) v otázce č. 2 správně odpovědělo, že „voda na stole má teplotu 0 °C“. Tento zřejmý rozpor dává tušit, že minimálně v oblasti skupenských přeměn chybí velké části studentů systematické konceptuální porozumění, což ústí v někdy až náhodný charakter odpovědí.

3. 2. 2. Vnímání chladu jako fyzikálního konceptu

Jak již bylo patrné z tabulky 3, mnoho zahraničních studií poukazuje na to, že podle jedné z nejtypičtějších studentských miskonceptů je *chlad* jakýmsi protikladem, opakem tepla; současně jsou oba tyto koncepty vnímány jako stavové veličiny, což uvedenou miskonceptci posiluje – vzniká ucelená mylná představa, že buď *je* někde *teplo*, nebo *je* někde *chlad*. Přesněji – takto popisují situaci anglicky psané zdroje pro pojmy *heat* a *cold*; tento odstavec popisuje analýzu v českém prostředí.

Aby bylo možné nahlédnout, do jaké míry je koncept chladu problematický pro české studenty, byly z testu CTCE vybrány všechny položky, ve kterých pojem *chlad* vystupuje, a jejich zisky byly sumarizovány do tabulky 10. Již letmým pohledem je patrné, že „nastražené“ distraktory obsahující koncept chladu pro české studenty velký problém nepředstavovaly – buď byly vybrány skutečně velmi malým podílem studentů (položky 12e a 17a) nebo byly v posttestu významně potlačeny (položky 10a, 14a, 14e a 18b).

položka	tvrzení	podíl studentů, jež položku zvolili	
		pretest (%)	posttest (%)
10a	Chlad se přenesl z plechovky do desky stolu.	50,4	24,2
12e	Chlad odchází z kovu rychleji než ze dřeva.	8,3	6,3
14a	Studená krabice obsahuje ve srovnání s teplejší více chladu.	17,5	7,3
14e	Studená krabice ve srovnání s teplejší rychleji přivádí chlad do Pavlovy ruky.	10,0	3,9
17a	Svetry zadržují chlad zvenčí.	1,9	1,2
18b	Nanuk obsahuje více chladu než dřevo.	12,1	4,8

Tabulka 10: Tvrzení spojená s konceptem „chladu“

Skutečnost, že miskoncepce, která je v kontextu anglické literatury zmiňovaná jako jedna z nejčastějších, se mezi českými středoškoláky vyskytuje spíše sporadicky, má zřejmě vysvětlení v jazykové specifičnosti češtiny. Zatímco anglický termín *cold* je běžnou součástí každodenní mluvy, český ekvivalent *chlad* do ní v podstatě neproniká a studenti jej – na rozdíl od pojmu *teplo* – nemají asociovaný s běžnými tepelnými jevy.

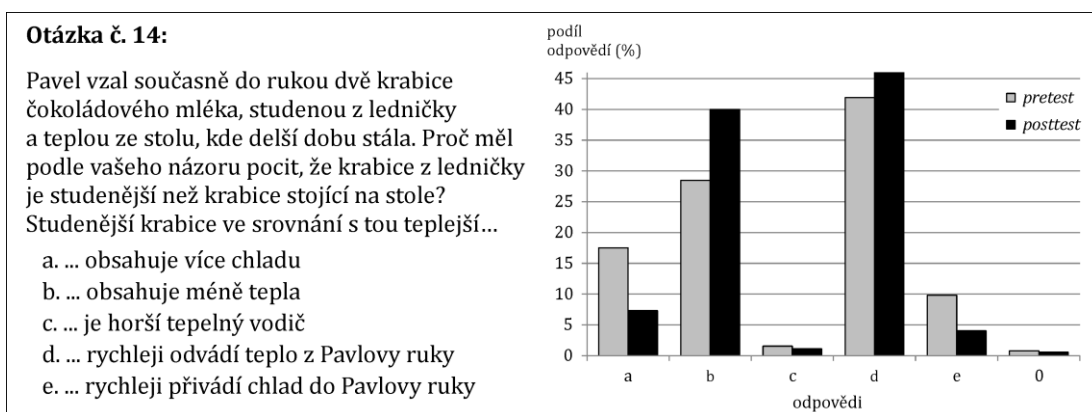
3. 2. 3. Teplo jako energie obsažená v látce

Teplo je pravděpodobně jedním z těch fyzikálních pojmů, které se vyskytují v běžném životě vůbec nejčastěji – zcela automaticky a v mnoha různých situacích; miskoncepce související s teplem tak bývají na základě dlouhodobého „fungujícího“ používání pojmu dobře vyargumentované a velmi odolné vůči změnám. Jejich typickým pojmům prvkem je představa tepla coby stavové veličiny, jakési *energie obsažené v látce*. Pro posouzení síly této miskoncepce byly ze všech otázek CTCE vybrány ty položky, které ji nějakým způsobem vyjadřují; jejich přehled nabízí tabulka 11.

položka	tvrzení	podíl studentů, jež položku zvolili	
		pretest (%)	posttest (%)
11c	Led i voda obsahují stejné množství tepla.	26,3	26,9
11d	Led žádné teplo neobsahuje.	6,0	2,5
12c	Dřevěné pravítko obsahuje více tepla než pravítko kovové.	12,3	9,4
14b	Studená krabice ve srovnání s teplejší obsahuje méně tepla.	28,5	40,0
17b	Svetry vytvářejí teplo.	3,3	3,3
18c	Dřevěná tyčka se zdá teplejší, protože obsahuje více tepla.	15,4	22,7

Tabulka 11: Tvrzení spojená s představou tepla coby stavové veličiny

Jak je zřejmé z pohledu do tabulky 11, s oblibou zmiňovaná miskoncepce, že svetry (resp. vlna, čepice atd.) vytvářejí teplo, se v případě českých studentů ukázala jako zcela minoritní. Více než vlastní procentuální hodnoty ale ve výše uvedené tabulce zaujmou trendy patrné mezi pretestem a posttestem – nejenže podíl studentů, kteří na teplo nazírají jako na stavovou veličinu, nepoklesl, ale v některých položkách i zdatně vzrostl. Zdá se, že mnohé studenty tedy výuka nevedla ke skutečnému pochopení, ale pouze k nahrazení určité miskoncepce nějakou jinou, „přijatelnější“. Exemplárním příkladem takového stavu je otázka č. 14, jejíž podrobnou statistiku ukazuje graf na obr. 6. Zatímco miskoncepce související s konceptem chladu, tj. možnosti *a* a *e*, byly poměrně úspěšně zredukovány, miskoncepce týkající se „obsahování“ tepla ukrytá v možnosti *b* byla zásadně posílena (jmenná analýza opět ukázala, že šlo skutečně zejména o migraci respondentů mezi těmito třemi otázkami); správná odpověď, tj. možnost *d*, zůstala sice i po posttestu nejvybíranější možností, ale s normalizovaným ziskem pouhých 0,09.



Obrázek 6: Výkony studentů v otázce 14; odpověď „0“ značí nezodpovězenou otázku

3. 2. 4. Tepelná vodivost

Situace související s tepelnou vodivostí patří mezi ty, se kterými se v každodenním životě setkáváme velmi často, a někdy s sebou přinášíjí vjemy, které jsou v přímém rozporu s fyzikálně korektní skutečností – dotkneme-li se současně polystyrenového a kovového předmětu, není snadné naše smysly přesvědčit, že teplota obou předmětů je stejná. V rámci gymnaziální výuky, pro kterou je výchozí učebnice *Molekulová fyzika a termika pro gymnázia* (Bartuška & Svoboda, 2010), je přitom tématu tepelné vodivosti věnována velmi stručná pasáž v rozsahu jedné strany učebnice, tj. maximálně jedné vyučovací hodiny; proto byly u příslušných otázek v rámci CTCE (otázky 12, 14, 17 a 18) očekávány nízké absolutní i normalizované zisky respondentů.

Navzdory tomuto očekávání vykazaly uvedené otázky široké rozpětí úspěšnosti studentů; to lze ilustrovat na příkladu otázek 12 a 14. Zatímco první z nich se zařadila mezi otázky s největším zlepšením mezi pretestem a posttestem, druhá (již detailněji rozebíraná) vykazala jeden z nejnižších normalizovaných zisků. Tento fakt vynikne zejména s ohledem na to, že obě otázky řeší podobný problém, mají podobně

formulované zadání a téměř identickou správnou odpověď. Situaci dokresluje skutečnost, že celých 55 % studentů, kteří v posttestu otázku 12 správně zodpověděli, nebylo schopno svoji správnou odpověď v otázce 14 zopakovat.

Tato fakta vedou k hypotéze, že zcela zásadní vliv na úspěšnost v uvedených otázkách měla nikoliv znění správných odpovědí, ale především volba ostatních distraktorů – pokud je studenti v otázce 12 postupně vyloučili, mohli se dostat ke správné odpovědi i bez příslušné znalosti; v otázce 14 oproti tomu velká část z nich inklinovala k jednomu silnému distraktoru (odpověď *b*, viz předcházející oddíl).

3. 3. Shrnutí a limity výzkumu

Vrátíme-li se nyní k výzkumným otázkám O1 a O2 položeným v podkapitole 2. 1., lze na základě provedeného výzkumu zformulovat odpovědi:

O1: Jaké jsou nejzásadnější aktuálně existující miskoncepce studentů českých gymnázií v oblasti tepelných jevů?

Za nejzásadnější miskoncepce, které zadávání testu CTCE českým gymnaziálním studentům odhalilo, lze považovat ty, které jsou spojené se změnami teploty během skupenských přeměn, což není v souladu s výzkumnou hypotézou H1. Skutečnost, že v průběhu skupenské přeměny zůstává teplota látky konstantní a dodávání tepla automaticky neznamená její zvyšování, je velmi obtížně přijímaná a vliv tradiční výuky na tuto miskoncepti je pouze okrajový; je přitom v zásadě jedno, zda hovoříme o tání, tuhnutí či varu.

Velmi odolná je také představa tepla coby stavové veličiny, jakési energie obsažené uvnitř látky, která může přecházet z jednoho místa na jiné, případně se na nějakém místě hromadit. Ze získaných dat plyne, že tato miskoncepce po absolvování středoškolského kurzu termodynamiky ještě dále zesílila, přesněji u mnoha studentů nahradila jiné miskoncepce, vyjádřené v pretestu.

Na druhé straně lze prohlásit, že v rozporu se závěry anglicky psané literatury se ukázaly být minoritní miskoncepce spojené s konceptem chladu. Díky spíše řídkému používání tohoto pojmu v běžné mluvě jej čeští středoškoláci nemají zvnitřněný a představy o chladu coby jakémisi alternativním fenoménu k teplu nejsou časté, což lze považovat za jisté české specifikum.

Na poli tepelné vodivosti pak odhalily testové otázky značnou nekonzistenci v představách studentů, kdy někteří z nich volili ve fyzikálně ekvivalentních situacích vzájemně protichůdné odpovědi; úspěšnost studentů značně kolísala v závislosti na tom, jaké distraktory byly vybrány mezi nabízené odpovědi, což naznačuje absenci přesvědčivého porozumění. Na druhou stranu se ale v českém prostředí nepotvrdil výskyt některých miskonceptů zmiňovaných v souvislosti s tepelnou vodivostí – představy, že svetry „vytvářejí teplo“, případně „zadržují chlad zvenčí“, se ukázaly být zcela minoritní.

O2: Jaký vliv má běžně probíhající výuka na tyto zjištěné miskoncepce?

Oproti výzkumné hypotéze H2 výzkum ukázal, že tradičně pojímaná výuka obecně vede ke zlepšení studentů v otázkách spojených s konceptuálním porozuměním tepelným jevům. Ačkoliv je ale toto zlepšení statisticky významné, z pohledu normalizovaného zisku ($g = 0,23$) odpovídá pouze nízké efektivitě výuky.

* * *

Je samozřejmě relevantní klást si otázku, nakolik provedený výzkum reprezentuje celou populaci gymnaziálních studentů. Tato studie (stejně jako všechny jí podobné) stojí a padá s ochotou či neochotou každého vyučujícího vpustit si výzkumníka do výuky – zjednodušeně řečeno, vždy vlastně testujeme studenty „těch ochotných“, což už představuje jistý výběrový efekt. Dále pak (bez možnosti jakékoliv kontroly) spoléháme na to, že tito vyučující budou respektovat domluvená pravidla – neprozradí studentům termíny testování, nebudou je speciálně připravovat apod.

Autor výzkumu pak ze své osobní zkušenosti vidí velký problém v motivování studentů k vyplňování podobných testů, které působí velmi neosobně a v očích některých studentů komicky. Z tohoto pohledu se zpětně jeví jako velmi účinná strategie osobní zadávání testu přímo autorem výzkumu, nikoliv vyučujícím v dané třídě; osobní kontakt studentů s někým „neokoukaným“ umožňuje prezentovat výzkum nikoliv jen jako součást školské fyziky, ale zejména jako potenciálně užitečný nástroj na cestě k inovaci fyzikálního vzdělávání. Během své fyzické přítomnosti ve třídách měl autor výzkumu několikrát možnost sledovat, jak se zprvu nedůvěřivé či ospalé klima třídy postupně změnilo v jistý druh zájmu a spoluúčasti.

4. Další výzkumné projekty napojené na test CTCE

Protože v rámci zadávání CTCE se podařilo oslovit poměrně velké množství středoškolských studentů, bylo přirozené využít tuto příležitost a kromě odpovědí ve vlastním konceptuálním testu získat ještě doplňující informace o studentech, které umožní uvádět jejich výsledky do dalších souvislostí.

Přestože tyto údaje a jejich interpretace přímo nesměřují k naplnění cílů této práce, považuje autor za vhodné je alespoň rámcově zmínit – právě to je úkolem této kapitoly. Protože množství získaných dat je značné, jsou v ní vybrány pouze některé závěry; velká část dat přitom stále čeká – mimo rámec této práce – na své vytěžení.

4. 1. Postoje studentů k fyzice jako parametr úspěšnosti v CTCE

Jestliže hlavním cílem zadávání testu CTCE bylo identifikovat miskoncepce studentů týkající se problematiky tepelných jevů a jejich odolnost vůči tradičně vedené výuce (viz kapitola 2. 1.), pak by se za druhořadý cíl dalo označit propojení výkonů studentů v tomto testu s jejich postoji vůči fyzice. Pro potřeby tohoto vedlejšího záměru byl záznamový list používaný v pretestu ve svém záhlaví opatřen čtyřmi položkami (označenými A až D, viz příloha 4), které se zaměřují právě na vymezení základních postojů respondentů. Jde o tato tvrzení:

- [A] *Očekávám, že v budoucnu budu nadále potřebovat fyziku (při studiu, v povolání).*
- [B] *Fyzika je pro společnost užitečná.*
- [C] *Fyzika je pro mě užitečná.*
- [D] *Fyzika mě baví.*

U každého tvrzení měli studenti na škále 1 až 6 posoudit, do jaké míry s ním souhlasí; zatímco hodnota 1 vyjadřovala „zcela souhlasím“, hodnota 6 pak „zcela nesouhlasím“. Základní statistiku pro 520 respondentů pretestu a posttestu (304 dívek, 216 chlapců) ukazuje tabulka 12.

tvrzení	průměrné hodnocení	průměrné hodnocení (dívkky)	průměrné hodnocení (chlapci)
A	3,79 (1,53)	4,12 (1,51)	3,34 (1,44)
B	2,15 (1,11)	2,22 (1,12)	2,05 (1,09)
C	3,25 (1,37)	3,49 (1,35)	2,93 (1,34)
D	3,77 (1,51)	4,06 (1,47)	3,38 (1,51)

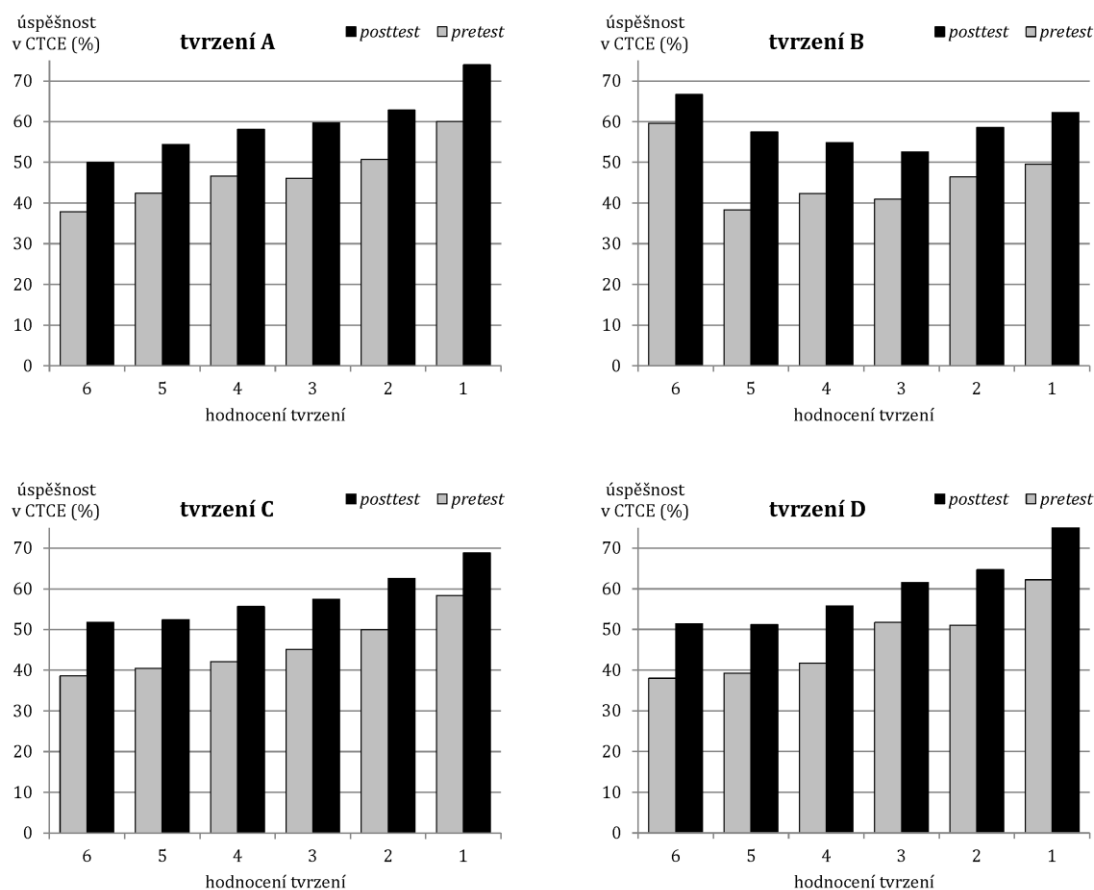
Tabulka 12: Postoje studentů vůči fyzice (v závorkách směrodatné odchylky)

Je patrné, že studenti obecně uznávají užitečnost fyziky pro společnost jako celek, ale nepokládají ji za užitečnou pro ně samotné. Dále je evidentní, že ve vztahu k fyzice a její užitečnosti jsou dívky ve všech tvrzeních bez výjimky kritičtější než chlapci –

v případě tvrzení A, C a D je tento rozdíl na základě provedeného dvouvýběrového Wilcoxonova testu statisticky významný na hladině $p < 0,005$, pro tvrzení B je na této hladině statisticky nevýznamný ($p = 0,078$).

Velmi pozoruhodná je shoda výsledků u tvrzení A a D – celých 365 respondentů (70,2 %) ohodnotilo tato tvrzení na výše zmiňované šestibodové škále stejně nebo pouze o jeden stupeň odlišně. Pokud podrobíme ohodnocení tvrzení A a D oboustrannému párovému Wilcoxonovu testu, vrátí nám $p = 0,82$; rozdíl mezi celkovým ohodnocením tvrzení A a celkovým ohodnocením tvrzení D je tedy statisticky nevýznamný (např. na hladině $p = 0,10$). Nelze tak zamítnout nulovou hypotézu, že studenti hodnotí tvrzení A a D stejně. Očekávání studentů, že fyziku ve své budoucnosti (ne)využijí, tedy silně koreluje s tím, jak je fyzika (ne)baví.

Jak je ale uvedeno v úvodu této podkapitoly, primárně bylo zařazení tvrzení A až D do záznamového listu motivováno záměrem hledat případné souvislosti mezi výkony studentů a jejich postoji. U každého tvrzení byli tedy studenti rozděleni do šesti skupin podle toho, jaké ohodnocení vybrali, a pro tyto skupiny byl určen průměrný zisk v CTCE v pretestu a posttestu; tyto údaje sumarizují grafy na obr. 7.



Obrázek 7: Závislost úspěšnosti studentů v CTCE na tom, jak ohodnotili tvrzení A až D

V případě tvrzení A, C a D je patrné, že to, jak je studenti ohodnotili, koreluje s jejich výkony v pretestu i posttestu – vyšší míra souhlasu s těmito tvrzeními předznamenává vyšší průměrnou úspěšnost v CTCE. Výjimku v této statistice představuje tvrzení B; extrémně vysoká úspěšnost těch, kteří stupněm 6 vyjádřili svůj naprostý nesouhlas s užitečností fyziky pro společnost, je sice dána faktem, že tito respondenti byli pouze tři, ale i když pomineme tuto anomálii, jsou výsledky v pretestu i posttestu s ohodnocením tvrzení B nekorelované. Podobně – a to je zásadní – nelze najít korelaci mezi hodnocením a normalizovaným ziskem, a to v žádném ze čtyř uvedených tvrzení. Shrnutí – postoje studentů vůči fyzice souvisí s jejich absolutním ziskem v pretestu i posttestu, ale téměř neovlivnily jejich zlepšení mezi těmito dvěma zadáními CTCE.

4. 2. Pozice experimentu v sémantickém prostoru studentů SŠ

Protože druhá část této práce se zabývá fyzikálními experimenty, nabízí se otázka, jak na experimenty obecně studenti nahlízejí. Ve výzkumech, které se touto problematikou zabývají, se pojem *experiment* často ještě blíže specifikuje – například Owen a kol. (2008) oddělují praktické experimentování studentů a učitelské demonstrace a ukazují, že postoje studentů k těmto dvěma (v obou případech experimentálním) aktivitám jsou poměrně odlišné. V kontextu této práce ale není pojem *experiment* blíže specifikován, aby nic neomezovalo volné konotace studentů, na kterých je níže popsána studie založena.

Jako metody vhodné pro posuzování postojů (a to nejen postojů studentů) se často označují tzv. metody psychosémantické, přičemž v pedagogickém výzkumu se z nich lze zřejmě nejčastěji setkat s metodou sémantického diferenciálu (Osgood, Suci & Tannenbaum, 1957) – právě ta byla vybrána pro vyhodnocení postojů studentů (nejen) k experimentům.

Technika sémantického diferenciálu využívá pro měření postojů vedlejší, tzv. konotativní významy slov, které jsou zcela individuální, neexplicitní, čistě subjektivní a nezřídka emočně zatížené; umožňuje tak vlastně měření skrytých významů, které různí lidé přisuzují různým pojmům na základě svých postojů a zkušeností. Výstupem techniky sémantického diferenciálu je umístění těchto pojmů do tzv. sémantického prostoru (prostoru významu slov), ve kterém lze matematizovat a dále studovat sémantické vzdálenosti jednotlivých pojmů, event. konstruovat jeho dvojdimenzionální řezy.

4. 2. 1. Konstrukce dotazníku a podmínky zadávání

Pro konstrukci dotazníku využívajícího sémantický diferenciál (dotazníku významu slov) je prvním krokem vymezení sémantického prostoru sadou škál, kde konce každé z nich jsou ohraničeny dvěma bipolárními adjektivy. Pro potřeby prováděného výzkumu byly vybrány následující sedmibodové škály:

1. *užitečný – neužitečný*
2. *vzdálený – blízký*
3. *zajímavý – nudný*
4. *obtížný – snadný*
5. *uvolněný – napjatý*
6. *těžký – lehký*
7. *logický – nelogický*
8. *problémový – bezproblémový*

Liché škály zastupují faktor hodnocení, tj. nakolik je pojem „dobrý“ či „špatný“, sudé škály pak faktor energie⁴, tj. nakolik je pojem spojen s námahou, úsilím (Vašátková & Chvál, 2010). Do takto vymezeného osmidimenzionálního sémantického prostoru umisťovali respondenti výzkumu 14 pojmů, přičemž ústředním pojmem byl pojem *experiment*. Slova *zábava, zkušenost, realita, překvapení, chemie, objev* a *zaměstnání* byla do studie zařazena proto, že mohou být přímo asociována s pojmem *experiment*; zbylé pojmy *věda, já, učitel, pravda, fyzika* a *svoboda* pak slouží pro srovnání s předcházejícím českým výzkumem, který popsal ve své diplomové práci Pöschl (2005). Pöschlova práce se také detailněji věnuje obecným požadavkům na konstrukci dotazníku ve formátu sémantického diferenciálu; dotazník významu slov použitý v tomto výzkumu je k práci připojen jako příloha 5.

Do výzkumu se zapojili stejní respondenti jako v případě výzkumu miskonceptů, tj. opět šlo o zmiňovaných 520 studentů čtyřletých a víceletých gymnázií. Zadávání proběhlo společně se zadáváním CTCE coby posttestu a na jeho vyplnění dostali studenti pouze 15 minut – v případě zkoumání konotativních významů slov je žádoucí poměrně rychlé, impulsivní vyplňování dotazníku; s dodržением takto krátkého času nicméně neměli studenti problémy.

4. 2. 2. Výsledky na jednotlivých škálách sémantického prostoru

Sémantický diferenciál poskytuje obrovské množství dat (konkrétně v tomto případě přes 50 tisíc údajů), které je možno dále zpracovávat. Protože podrobná analýza těchto dat přímo nesměruje k cílům této práce, zaměří se jejich vyhodnocení pouze na nejzákladnější statistiku.

Na každé škále je možné vyhodnotit pořadí pojmů, které v případě tohoto výzkumu zachycuje tabulka 13; škály jsou uspořádány od „pozitivnější“ vnímaných adjektiv (zelené odstíny) k těm „negativnějším“ (červené odstíny) a uvádějí pouze pořadí pojmů bez číselných údajů, neboť tato práce nemá ambice s nimi dále kvantitativně pracovat. Škály *obtížný – snadný* a *těžký – lehký* dávají velmi podobné

⁴ Původní Osgoodův popis techniky sémantického diferenciálu pracuje se třemi faktory – *hodnocení, potence* a *aktivity*. Faktor energie lze vnímat jako spojení faktorů potence a aktivity.

výsledky, při konstrukci dotazníku tedy bylo zřejmě možné vybrat a používat pouze jednu z nich.

Pohled do tabulky ukazuje, že hodnocení pojmu *experiment* lze na většině škál označit za průměrné; experiment je v porovnání s ostatními pojmy vnímán jako poměrně zajímavý a logický, na druhou stranu studenti nejsou přesvědčeni o jeho užitečnosti. Na polovině škál pak pojem *experiment* sousedí s pojmem *učitel*, což může naznačovat, že v očích studentů je pojem *experiment* srostlý se školním prostředím. *Fyzika* a *chemie* dosahují často podobných výsledků a patří k pojům, které jsou vnímány jako obtížné, těžké, nudné, problémové a nepříliš užitečné; fyzika je ovšem považována za logickou. Velmi nekritickým způsobem přistupují studenti k pojmu *zábava*, který vévodí hned šesti škálám, a mezi obecně velmi pozitivně nahlížené pojmy patří také *zkušenost*. Sebe pak studenti hodnotí jako bezproblémové, ale poměrně nezajímavé a neužitečné.

← neužitečný - užitečný →	zkušenost	← vzdálený - blízký →	zábava	← nudný - zajímavý →	zábava	← obtížný - snadný →	zábava
	zaměstnání		zkušenost		objev		překvapení
	svoboda		věda		experiment		svoboda
	objev		já		překvapení		já
	věda		experiment		svoboda		zkušenost
	pravda		učitel		zkušenost		učitel
	zábava		pravda		věda		experiment
	experiment		fyzika		pravda		realita
	učitel		svoboda		zaměstnání		zaměstnání
	realita		realita		realita		pravda
	fyzika		překvapení		já		objev
	překvapení		chemie		fyzika		fyzika
	já		objev		chemie		chemie
	chemie		zaměstnání		učitel		věda
← napjatý - uvolněný →	zábava	← těžký - lehký →	zábava	← nelogický - logický →	věda	← problémový - bezproblémový →	zábava
	zkušenost		svoboda		fyzika		já
	věda		překvapení		experiment		překvapení
	já		já		zkušenost		svoboda
	experiment		učitel		zaměstnání		zkušenost
	učitel		zkušenost		objev		učitel
	pravda		experiment		učitel		zaměstnání
	fyzika		zaměstnání		pravda		experiment
	svoboda		realita		chemie		objev
	realita		pravda		svoboda		pravda
	překvapení		objev		já		věda
	chemie		fyzika		realita		fyzika
	objev		chemie		zábava		realita
	zaměstnání		věda		překvapení		chemie

Tabulka 13: Pořadí pojmů na jednotlivých škálách sémantického diferenciálu

4. 2. 3. Měření vzdáleností v sémantickém prostoru

Velkou předností techniky sémantického diferenciálu je možnost měřit v něm tzv. sémantickou vzdálenost mezi pojmy eukleidovským způsobem; pro potřeby tohoto měření definujeme předpis pro vzdálenost D_{AB} pojmů A a B – tzv. D-koefficient (Ferjenčík, 2010). Liší-li se hodnocení pojmů A a B na i -té škále o číslo d_i , pak je:

$$D_{AB} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (d_i)^2},$$

kde n je počet škál (v tomto případě osm). Vzájemné sémantické vzdálenosti pojmů lze přehledně ilustrovat uspořádáním D-koefficientů do tzv. D-matice; ta je uvedena na obr. 8. Na první pohled je z ní patrné skutečně exkluzivní postavení *zábavy* coby nekriticky vnímaného slova vzdáleného od všech ostatních pojmů; *věda*, *fyzika* i *chemie* jsou pak nejvzdálenější od *zábavy*, *svobody* a *překvapení*. Ústřední pojem *experiment* se v sémantickém prostoru nachází poměrně blízko slovům *objev*, *zaměstnání* a *zkušenost* a velmi daleko od slova *zábava*; jeho vzdálenosti od ostatních pojmů jsou průměrné, nedávají žádnou přímočaře interpretovatelnou informaci.

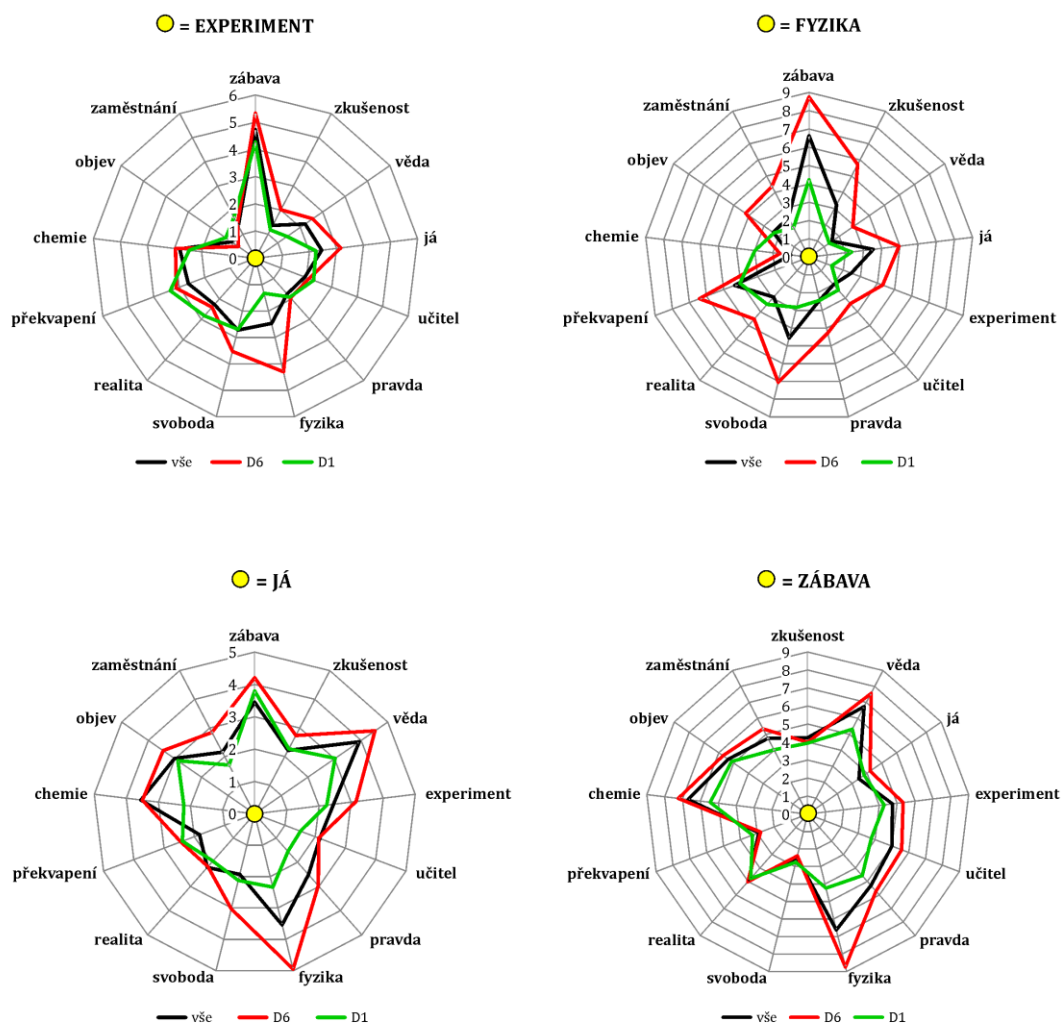
Alternativní grafický způsob zpracování dat z D-matice představuje znázornění výše zmíněných D-koefficientů do paprskových grafů. Ve středu grafu je vždy situován pojem, od kterého měříme sémantickou vzdálenost pojmů ostatních; ty jsou rozmístěny v příslušných vzdálenostech po obvodu grafu. Paprskové grafy pro pojmy *experiment*, *fyzika*, *já* a *zábava* jsou uvedeny na obr. 9 a obsahují propojení s výzkumem postojů popsáním v kapitole 4. 1, přesněji s tvrzením označeným písmenem D („*fyzika mě baví*“). Barvy čar v těchto grafech mají následující legendu:

- Černou barvou jsou vyneseny sémantické vzdálenosti vypočtené pro celý vzorek studentů ($N = 520$).
- Červenou barvou jsou vyneseny sémantické vzdálenosti pro ty studenty, kteří uvedli, že je fyzika velmi nebaví (zvolili u tvrzení D stupeň 6, proto jsou dále označováni jako skupina D6, $N = 79$).
- Zelenou barvou jsou vyneseny sémantické vzdálenosti pro ty studenty, kteří uvedli, že je fyzika velmi baví (zvolili u tvrzení D stupeň 1, proto jsou dále označováni jako skupina D1, $N = 41$).

Z grafů vyplývá, že studenti, které fyzika velmi baví, mají pojem *experiment* mnohem více spojený právě s pojmem *fyzika* a dále s pojmem *věda*. Pro tyto studenty je také ve srovnání se zbytkem studované populace pojem *fyzika* výrazně bližší pojmům *zábava*, *svoboda* a *zkušenost*. Obecně pak lze říci (nejen na základě obr. 9, ale také díky porovnání D-matic), že sémantické vzdálenosti mezi pojmy jsou v případě studentů skupiny D1 kratší než u těch, kteří tvrzení D ohodnotili průměrně, a výrazně kratší než u studentů skupiny D6. Sémantický prostor studentů skupiny D1 je sevřenější a postoje méně polarizované, méně vyhocené než v případě vrstevníků s neutrálním nebo záporným postojem k fyzice.

zkušenosť	4,25																										
věda	6,75	2,77																									
já	3,45	2,22	3,92																								
experiment	4,74	1,37	2,22	2,45																							
učitel	5,00	2,17	2,64	2,15	1,94																						
pravda	5,29	1,47	2,14	2,51	1,76	1,93																					
fyzika	6,63	3,22	1,53	3,54	2,47	2,01	2,42																				
svoboda	2,48	2,11	4,48	1,93	2,72	3,22	3,08	4,56																			
realita	4,94	1,95	3,06	2,21	2,27	2,06	1,07	2,93	2,97																		
překvapení	2,91	2,52	4,63	1,83	2,64	2,84	3,08	4,35	2,14	2,57																	
chemie	6,69	3,45	2,17	3,55	2,81	2,08	2,44	1,01	4,72	2,66	4,19																
objev	5,36	1,67	1,86	3,01	1,06	2,32	1,57	2,39	3,23	2,22	3,16	2,55															
zaměstnání	4,75	0,97	2,20	2,15	1,36	1,42	1,06	2,42	2,57	1,69	2,80	2,63															
vše	zábava	zkušenosť	věda	já	experiment	učitel	pravda	fyzika	svoboda	realita	překvapení	chemie	objev														

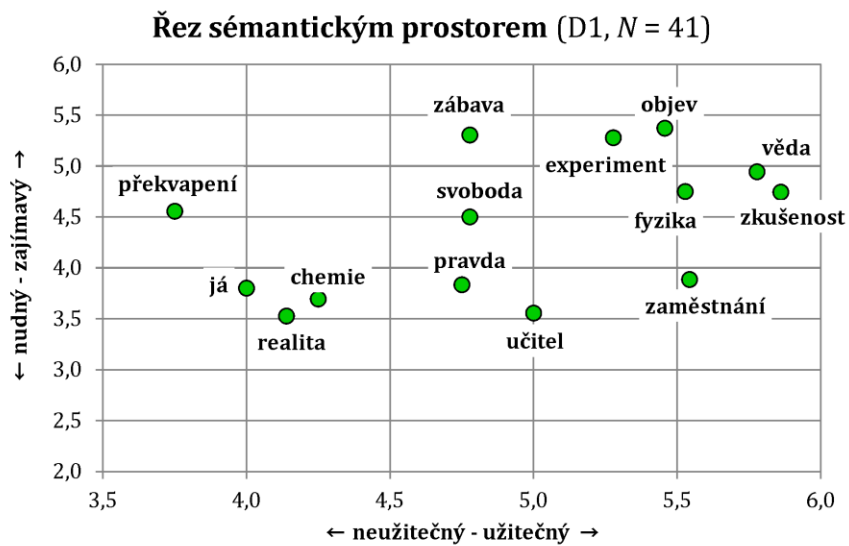
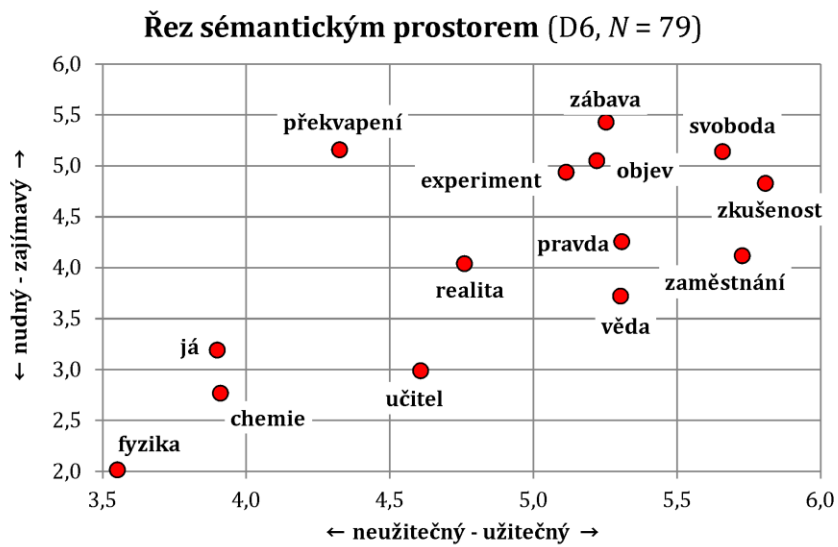
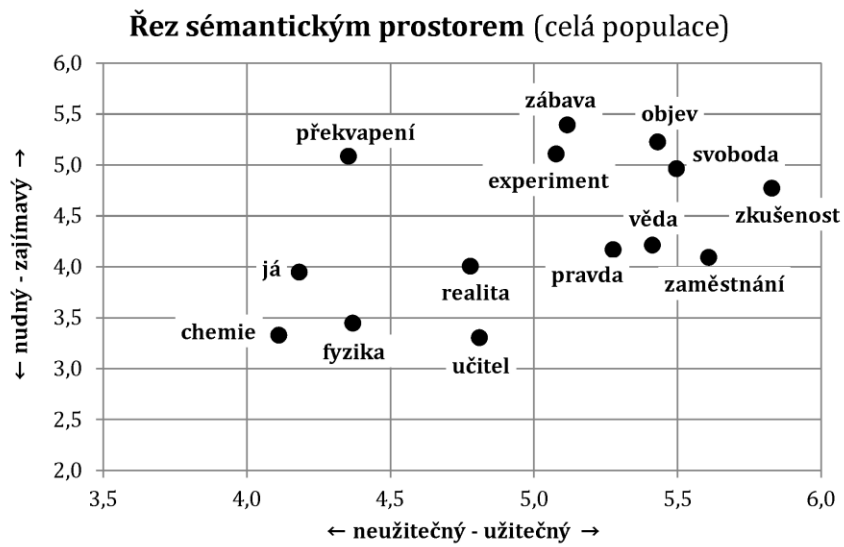
Obrázek 8: Studované pojmy uspořádané do D-maticy



Obrázek 9: Sémantické vzdálenosti od centrálních, žlutě označených pojmů; černá křivka = všichni studenti, zelená/červená = studenti, které fyzika velmi baví/nebaví

Chceme-li se zaměřit pouze na některé osy sémantického prostoru, je možné zkonstruovat jeho rovinný řez vymezený právě dvěma osami. Jeden ze zajímavých řezů je udán škálami *užitečný – neužitečný* a *zajímavý – nudný* a je znázorněn na obr. 10 opět v několika verzích – černými značkami pro celou studovanou populaci, zelenými pro studenty skupiny D1 a červenými pro studenty skupiny D6.

V případě celé populace i skupiny D6 jsou jako neužitečné a nudné nahlíženy zejména pojmy *fyzika*, *chemie* a *já*, naopak nejpozitivnější hodnocení lze najít u pojmů *zkušenost* a *svoboda*. Obecně lze říci, že tento sémantický řez se pro studenty skupiny D6 výrazně neliší od řezu celé studované populace. Naopak v případě studentů skupiny D1 si lze povšimnout významnějších posunů v sémantickém prostoru zejména u pojmů *fyzika* (což je zřejmé, neboť vnímání tohoto pojmu je svázáno s kritériem, na jehož základě byla skupina D1 vydělena), *věda* a *svoboda*. Vnímání ústředního pojmu *experiment* je napříč všemi skupinami uvedenými v grafech na obr. 10 podobné – *experiment* je vnímán jako spíše užitečný a spíše zábavný.



Obrázek 10: Jeden z dvojdimenzionálních řezů sémantickým prostorem

Jak již bylo uvedeno v úvodu podkapitoly 4. 2., sémantický diferenciál skutečně generuje mnoho dat a existuje velké množství kombinací, jak vzájemně propojit data získaná touto technikou s daty z pretestu a posttestu, potažmo s daty vzešlými z tvrzení A až D. Autor práce si je vědom toho, že většina těchto možností zůstala dosud nevyužita, a počítá s budoucím hlubším propojením získaných výsledků a také s jejich porovnáním s předcházejícím českým výzkumem na tomto poli (Pöschl, 2005); takový úkol se ale již příliš odklání od tematického zaměření této práce.

4. 3. Použití CTCE jako retenčního testu

Jedním ze základních požadavků, které coby učitelé klademe na porozumění učivu, je jeho dlouhodobost. Typicky neusilujeme o jednorázové zvládnutí pojmů, postupů či pouček, ale spíše o kontinuální vytváření obrazu o světě nahlíženém očima té či oné vědní disciplíny; fyzika pak tento přístup akcentuje dvojnásob. Proto je legitimní klást si otázku, nakolik bylo či nebylo zlepšení výkonů studentů v CTCE mezi pretestem a posttestem jednorázovou záležitostí. Aby bylo možné na tuto otázku odpovědět, rozhodl se autor výzkumu zadat test CTCE původním respondentům coby test retenční.

4. 3. 1. Úskalí retenční studie

Ambiciózní myšlenka retenčního testování od počátku narážela na víceméně očekávané komplikace. Cílem bylo (prostřednictvím jejich vyučujících) oslovit stejné respondenty jako v případě pretestu a posttestu; tito studenti, čerstvě navštěvující maturitní ročník, však již fyziku ve svých rozvrzích často neměli. Bylo tak nutné prosit vyučující, resp. jejich kolegy, o možnost zadání testu v jiných hodinách, nejčastěji hodinách matematiky; autor výzkumu se sám přesvědčil, že tato komplikace některé učitele odradila od další spolupráce natolik, že raději nechali e-mailovou komunikaci vyhasnout. V některých třídách, které fyziku i v maturitním ročníku probírají, pak převzal výuku nový vyučující a testování bylo jeho rozhodnutím zamítnuto.

Svoji roli v redukci testovaného vzorku sehrály také absence studentů ve výuce – pro srovnání pretestu, posttestu a retenčního testu bylo třeba, aby byl student přítomen všem třem zadáváním, což v průměrné třídě obvykle splňovaly nejvýše dvě třetiny studentů, ale v některých případech i méně než polovina.

Výše uvedené důvody zásadním způsobem zredukovaly původní zkoumanou populaci, takže retenčního testování se zúčastnilo pouze 248 studentů (144 dívek a 104 chlapců) z 15 tříd, jejichž výsledky je možné porovnat s předcházejícími výkony v CTCE. To představuje pouhých 39 % studentů oslovených původně v pretestu a přibližně 48 % těch, u nichž došlo ke spárování dat mezi pretestem a posttestem.

4. 3. 2. Podmínky zadávání

Vlastní retenční testování proběhlo od září do prosince 2015, tj. dva roky od zadání pretestů; studenti o něm opět neměli být předem informováni. Jako testovací

nástroj byl ve stejném znění opět použit test CTCE s nezměněnou časovou dotací 30 minut. Záznamový list byl doplněn následujícími třemi tvrzeními T1 až T3, ke kterým se měli studenti vyjádřit odpovědí ANO či NE:

T1. *Navštěvuji seminář z fyziky.*

T2. *Plánuji, že budu z fyziky skládat maturitní zkoušku.*

T3. *Plánuji studovat na vysoké škole, kde budu potřebovat fyziku.*

Tato tvrzení dále posloužila jako kritéria při interpretaci výsledků studie.

4. 3. 3. Výsledky retenční studie a jejich interpretace

Při porovnávání výsledků retenčního testu s předcházejícími zadáváním CTCE jsou uvažovány pouze výsledky 248 studentů, kteří absolvovali všechna tři zadávání. Tito respondenti dosáhli v pretestu průměrné úspěšnosti 47 % (9,0 bodu), v posttestu 60 % (11,3 bodu) a v retenčním testu 59 % (11,2 bodu). Z pohledu této kapitoly je zajímavé se detailněji věnovat zejména srovnání posttestu a retenčního testu.

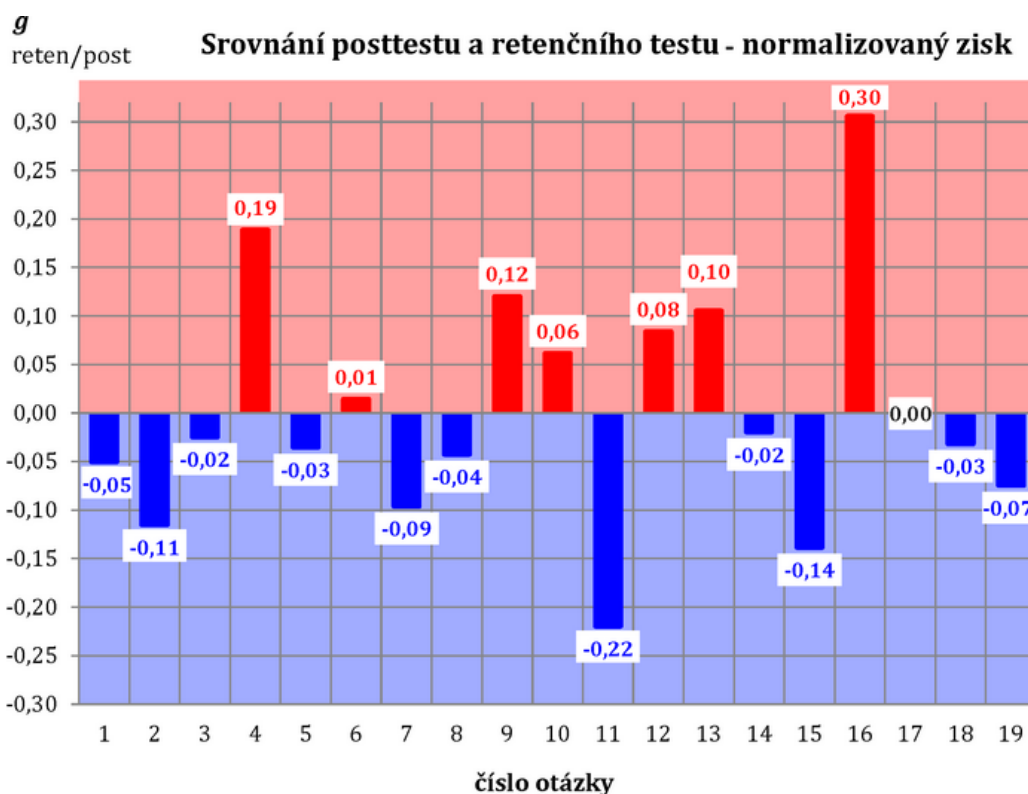
Přírůstky (úbytky) skóre jednotlivých studentů byly podrobeny oboustrannému párovému Wilcoxonovu testu, který vygeneroval hodnotu $p = 0,87$. Na jejím základě lze konstatovat, že rozdíl mezi výsledky v posttestu a retenčním testu **není statisticky významný** (nezamítáme nulovou hypotézu, že výsledky studentů byly stejné).

Jemnější analýzu pak umožňuje vyhodnocení odpovědí, které respondenti volili v případě tvrzení 1 až 3; společně s genderovým srovnáním ukazuje tuto statistiku tabulka 14. V případě každého tvrzení platí, že ti respondenti, kteří s ním vyjádřili souhlas, svůj výkon mezi posttestem a retenčním testem ještě zlepšili, zatímco u ostatních studentů došlo ke zhoršení; v případě tvrzení T1 až T3 je tento rozdíl v normalizovaném zisku statisticky významný na hladině $p < 0,005$ (měřeno dvouvýběrovým Wilcoxonovým testem). Rozdíl mezi normalizovanými zisky chlapců a dívek je na této hladině statisticky nevýznamný ($p = 0,057$).

sledovaný údaj	T1		T2		T3		dívký	chlapci
	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE		
podíl studentů (%)	26,0	74,0	16,0	84,0	33,8	66,2	58,1	41,9
zisk v pretestu (%)	57,0	44,0	59,4	45,1	53,6	44,2	42,1	54,6
zisk v posttestu (%)	69,9	55,9	72,8	57,1	65,1	56,8	55,7	64,9
zisk v retenčním testu (%)	74,3	53,9	76,8	55,8	68,1	54,7	53,4	67,2
normalizovaný zisk mezi posttestem a retenčním testem	0,15	-0,05	0,15	-0,03	0,09	-0,05	-0,05	0,06

Tabulka 14: Rozdělení studentů a jejich výsledků podle odpovědí na tvrzení T1, T2, T3

Také z položkové analýzy je patrné, že úspěšnost studentů byla v posttestu a retenčním testu jako celku srovnatelná – graf na obr. 11 ukazuje pro jednotlivé položky testu normalizovaný zisk v retenčním testu oproti posttestu. Zatímco v sedmi otázkách došlo v retenčním testu ke zlepšení výsledků, v jedenácti naopak průměrně dosažené skóre pokleslo; otázka 17 nevykázala posun ani jedním směrem.



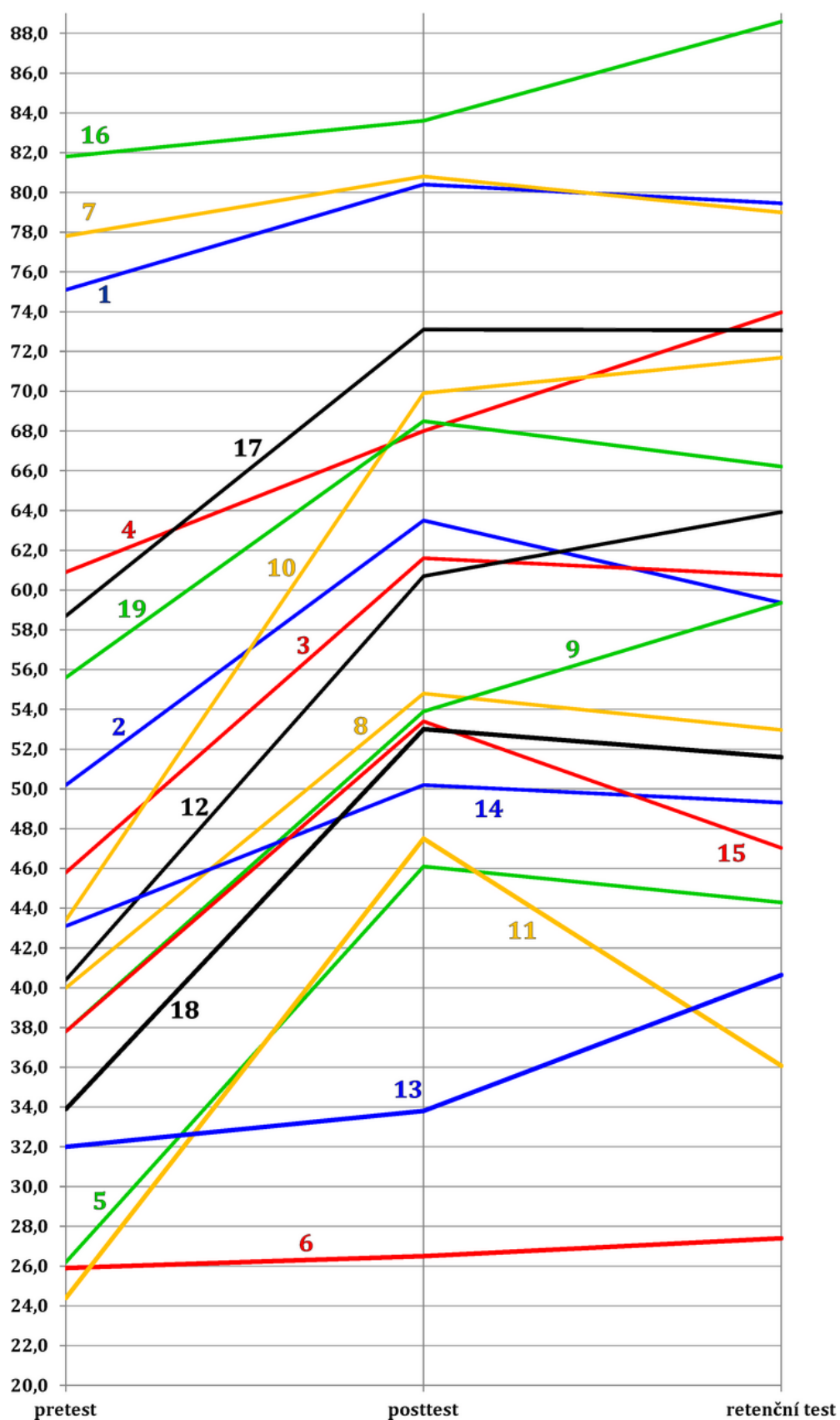
Obrázek 11: Normalizovaný zisk v retenčním testu oproti posttestu ($N = 248$)

Vysoký normalizovaný zisk otázky 16 je dán obecně vysokou úspěšností studentů při jejím řešení, absolutně v ní došlo k nárůstu správných odpovědí pouze o 5 %. Vzájemně srovnatelné zisky v rozmezí 6 až 7 procentních bodů zaznamenaly otázky 4, 9 a 13, které se v tomto pořadí seřadily i na dalších místech pomyslného žebříčku podle normalizovaného zisku. Vůbec nejzásadnějším posunem je pak propad úspěšnosti v otázce 11, kde správnou odpověď vybralo v retenčním testování o 11,5 % méně respondentů než během posttestu.

Ucelený obrázek o vývoji procentuální úspěšnosti studentů v jednotlivých položkách CTCE ukazuje obr. 12, kde je pro všechny otázky graficky znázorněno srovnání výsledků v pretestu, posttestu i retenčním testu. Pozitivně lze vnímat skutečnost, že normalizovaný zisk mezi prvním a posledním zadáváním CTCE je pro všechny otázky kladný; od pretestu nejvýraznější zlepšení je pozorovatelné u otázek 10 ($g = 0,50$) a 12 ($g = 0,40$). Naopak setrvale nejslabších výsledků, navíc s mizivým normalizovaným ziskem, dosahovali respondenti v otázce 6.

úspěšnost (%)

Srovnání pretestu, posttestu a retenčního testu



Obrázek 12: Průměrné skóre studentů v jednotlivých otázkách – srovnání pretestu, posttestu a retenčního testu ($N = 248$). Čísla otázek jsou uvedena podél spojnic.

Z hlediska zkoumaných miskoncepcí lze ve vztahu k retenčnímu testování vyvodit následující závěry:

- Nejproblematičtější partií termodynamiky zůstávají i po retenčním testování skupenské přeměny; otázky 5, 6, 11 a 13 nadále uzavírají žebříček úspěšnosti studentů.
- Naprostou rezistenci vůči konceptuální změně vykazuje otázka 6; i po retenčním testu se téměř 63 % studentů domnívá, že teplota páry nad vařící se vodou je vyšší než 100 °C.
- Nefyzikální koncept chladu, kterému se věnuje tabulka 10, byl mezi posttestem a retenčním testem dále potlačen, s výjimkou položky 10a klesl podíl všech ostatních odpovědí diskutovaných v tabulce 10 pod 5 %.
- Představa tepla coby energie obsažené v látce (podrobněji diskutována v tabulce 11) od posttestu zásadně zesílila v otázce 11, kde 11,5 % respondentů opustilo správnou odpověď 11b a tři čtvrtiny z nich se přiklonily k nesprávné představě, že led a voda obsahují stejné množství tepla (možnost 11c); jde o vůbec největší posun v rámci celého retenčního testování. K miskoncepcím zakotveným v položkách 14b a 18c se přihlásil shodný podíl studentů jako v posttestu.
- V oblasti tepelné vodivosti nebyl zaznamenán statisticky významný posun.
- Za povšimnutí stojí vývoj v dosud nezmiňované otázce 15, kde se oproti posttestu snížila úspěšnost studentů o 6,4 % a současně o 8,7 % vzrostl počet těch, kteří se nesprávně domnívají, že „...pára má vyšší teplotu než vařící se polévka“ (odpověď 15c). Detailnější pohled ukazuje na jistou vnitřní konzistenci s problematickou otázkou 6 – čtyři pětiny těch, kdo vybrali nesprávnou možnost 15c, volili „stejně nesprávné“, ale konzistentní odpovědi 6c a 6d.

Závěrem této podkapitoly lze konstatovat, že výsledky studentů v retenčním testování se oproti posttestu (navzdory očekáváním autora) žádným významným způsobem nezměnily, a to ani z hlediska celkové úspěšnosti respondentů, ani z hlediska zastoupení a síly většiny identifikovaných miskoncepcí (s výjimkami diskutovanými výše). Posttestem nastavené procentuální rozložení odpovědí bylo v drtivé většině otázek retenčním testem pouze potvrzeno.

Přibližně třetina respondentů očekává, že bude fyziku ve svém dalším studiu na vysoké škole potřebovat. Seminář z fyziky navštěvuje každý čtvrtý student, maturitní zkoušku hodlá z tohoto předmětu skládat každý šestý (vše v rámci studovaného vzorku 248 studentů).

5. Experimenty ve středoškolské termodynamice: Status quo

Jak již bylo zmíněno v úvodu práce, je téměř nemožné říci, kdo poprvé experiment ve výuce fyziky použil, pravdou ale je, že představa prvního fyzika-experimentátora je obvykle spojena s osobností italského filozofa a vědce Galileo Galilea (1565 – 1642), byť kvalitativní experimenty již prováděli jiní vědci před ním. Navzdory soudobým pochybnostem, zda Galileo skutečně se svými žáky experimenty prováděl či nikoliv (Segre, 1980), je to právě on, kdo představuje symbol rozbití dogmaticky přijímaného pojetí aristotelovské mechaniky kvantitativními experimenty.

Od Galileových časů uplynula čtyři století a na téma fyzikálních experimentů byly popsány stohy knih; úkolem této kapitoly je extrahovat z nich současné pojetí experimentu a nabídnout přehled relevantních zdrojů, které se zabývají experimenty z termodynamiky.

5. 1. Definice experimentu

Úvodem je vhodné připomenout terminologickou poznámku z úvodu práce, ve které jsou ztotožněny pojmy *experiment* a *pokus*. Dostál (2013) dospěl analýzou jazykových slovníků k tomu, že význam těchto dvou slov je identický. Také autoři didaktických textů se v nich často nedrží jednoho z těchto pojmů a volně je zaměňují; nejinak tomu bude v této práci.

Současné definice experimentu obvykle akcentují jeho cílené zinscenování a opakovatelnost. Pro tuto práci bude výchozí definice Košťála a Mechlové (2001), kteří uvádějí, že „*pokus je záměrné, umělé navození děje s předem stanovenými podmínkami tak, aby bylo možné ho za stejných podmínek opakovat.*“ Téměř identickou formulaci udávají Tillich a kol. (1988).

Z dalších pojetí lze zmínit to, jež nabízejí Průcha, Walterová a Mareš (2013), kteří přistupují k experimentu jako „*metodě systematického ověřování vědeckých hypotéz*“. Bez požadavku opakovatelnosti – zato ale s důrazem na jeho výstupy – pak experiment definuje Dostál (2013), a to jako „*záměrně vyvolaný proces, ve kterém jsou cíleně ovlivňovány podmínky a následně prováděno vyhodnocení jeho průběhu nebo výsledku*“.

V této práci budou odlišovány experimenty kvalitativní a kvantitativní. Košťál a Mechlová (1999) i Svoboda a Kolářová (2006) ve shodě definují kvalitativní experiment jako takový, který především prokazuje existenci či neexistenci jevu, zatímco experiment kvantitativní „*slouží ke zjišťování zákonitostí a jejich vyjadřování ve formě fyzikálních zákonů či teorií*“. Mezi kvantitativní experimenty se řadí všechna měření, tj. takové experimenty, jejichž výsledkem je určení hodnot(y) nějaké veličiny – ať již ve formě čísla, tabulky či grafu.

5. 2. Možné zdroje námětů na experimenty z termodynamiky

Smyslem následujícího přehledu je sumarizovat dostupné zdroje, které obsahují náměty na experimenty z oblasti molekulové fyziky a termiky. Rozhodně nelze očekávat, že jejich výčet bude kompletní a vyčerpávající – zejména internetových zdrojů je k dispozici velké množství a je technicky nemožné je všechny nalézt a systematizovat; rozsáhlejší relevantní zdroje ale tento přehled pokrývá. Protože mnoho experimentů zpracovaných v rámci této práce využívá termovizní kameru, tvoří pokusy s tímto nástrojem samostatnou podkapitolu.

5. 2. 1. Anglicky psané texty

Anglicky psaná literatura zahrnuje především sbírky demonstračních experimentů, někdy značně obsáhlé. Dílo, které se stalo výchozím pro mnoho jeho následovníků, sepsal Sutton (1938), a jenom v kapitole věnující se tepelným jevům nabízí popis přibližně 150 pokusů. Jednotlivé experimenty jsou popisovány výhradně slovně, zcela bez ilustrací a také bez jakéhokoli členění textu, což této knize na přehlednosti nepřidává. Vzhledem k roku publikování knihy nejsou výjimkou experimenty, které by bylo na dnešní škole obtížné provést – ať už z absence potřebného vybavení, nebo vzhledem k bezpečnostním opatřením souvisejícím s některými používanými chemikáliemi.

Ještě rozsáhlejší přehled zpracoval v 70. letech Meiners (1970), který kromě vlastních experimentů uvádí i poměrně robustní teoretický úvod týkající se jejich provádění a role. Popis experimentů je ve srovnání se Suttonem detailnější, nechybějí náčrtů některých situací apod.

Více než devadesát experimentů z molekulové fyziky a termiky popisují Freier & Anderson (1972); popisy jsou ovšem velmi stručné – ne delší než deset vět – a jsou doplněny ilustracemi, jejichž vypovídací hodnota je vzhledem k jejich nezřetelnosti bohužel omezená. Knihu lze vnímat spíše jako soubor námětů na experimentování pro někoho, kdo má čas a prostor je dále rozvíjet, než jako materiál určený k bezprostřednímu použití.

Materiál výrazně stručnější než knihy dosud uvedené publikoval v 90. letech Ehrlich (1990) – z jeho 175 uvedených experimentů lze do termodynamiky zařadit pouze 11 z nich; na druhou stranu jsou tyto experimenty zpracovány poměrně detailně, obsahují seznam pomůcek, postup při provádění i vysvětlení demonstrovaného jevu, což je užitečné zejména s ohledem na to, že jde o experimenty spíše náročnější. Naproti tomu Gibbs (1999) volí popisy spíše stručné, doplněné tematickými ilustracemi; z jeho 75 experimentů, které přiřadil k termodynamice a molekulové fyzice, se většina zabývá mechanismy tepelné výměny a skupenskými přeměnami.

Z novějších publikací patří mezi často citované zdroje Sprott (2006), který do kapitoly termodynamika zařadil 26 demonstračních experimentů. Přehledně členěné popisy zahrnují seznam pomůcek, popis postupu, diskusi problému a v neposlední řadě

barevné fotografie ukazující uspořádání, průběh či výsledek pokusu; nechybí upozornění na bezpečnostní rizika a zdrojová literatura. Ke každému experimentu je dále na DVD přidruženo video zachycující jeho provedení.

Výrazně odlišný formát nabízejí Robinson & Hewitt (2006), jejichž práce je zaměřena na konceptuální porozumění fyzikálním jevům a náměty na experimenty jsou přímo propojeny s pracovními listy pro studenty, do kterých lze zaznamenávat dílčí či celkové výpočty a výsledky; v termodynamice jsou takto připravena čtyři měření.

Kromě tištěných knih dnes představují více či méně relevantní zdroje také webové databáze pokusů, v anglickém prostředí často zaštiťované pracovišti univerzit. Více než 1600 experimentů nabízí univerzita v College Park v Marylandu (Physics Lecture Demonstration Facility, b.r.), termodynamikou se zabývá téměř 150 z nich. Doprovodné fotografie sice ukazují uspořádání experimentů, slovní doprovod je ale heslovitý a příliš stručný; web působí spíše dojmem katalogu, interní univerzitní databáze.

Podobný charakter má skromnější databáze Wake Forest University (b.r.), kde lze nalézt přibližně 20 experimentů z termodynamiky, opět s fotografiemi a velmi stručným popisem; přidanou hodnotu představují videa zachycující průběh u přibližně poloviny publikovaných experimentů.

Kvalitně zpracované doprovodné texty nabízí webové stránky Nuffield Foundation (b.r.), kde je přibližně 25 experimentů z termodynamiky rozprostřeno do tematického celku *Energie*. Přiměřeně rozsáhlé materiály jsou přehledně členěny, obsahují přehled pomůcek, popis postupu, názorné ilustrace a zejména cenné technické poznámky užitečné při provádění experimentů.

5. 2. 2. Česky psané texty

V porovnání s anglicky psanou literaturou jsou české zdroje omezenější. Poměrně rozsáhlý text, který shrnuje celkem 100 demonstračních experimentů z molekulové fyziky a termodynamiky, vytvořil na konci 80. let Svoboda (1989). Kniha sleduje učivo v pořadí, jež respektují i současné gymnaziální učebnice fyziky, a ke každému experimentu uvádí přehled pomůcek, popis přípravy experimentu a jeho provedení; publikace je doplněna schematickými obrázky. Většina obsažených experimentů je pak ve více či méně pozměněné podobě zahrnuta do sbírky *Pokusy z fyziky na střední škole 2* (Svoboda & kol., 1997), která nabízí kvalitnější grafické provedení a oddělenou část věnovanou vysvětlení experimentu, jež byla v původní publikaci integrována do textu.⁵

⁵ Některé další, typicky mladší autory (např. tematicky relevantních bakalářských a diplomových prací) neuvádí tato práce z toho důvodu, že často vycházejí z původních Svobodových námětů a odlišují se pouze technikou vlastního provedení.

Přibližně deset jednoduchých, převážně kvalitativních experimentů z termiky zařadili do své publikace *Pokusy z volné ruky* Brockmeyerová & Drozd (2003). Každý experiment je tematicky zařazen do učiva základní či střední školy a jeho popis je přehledně členěn do sekcí popisujících obvykle potřebné pomůcky, přípravu, provedení pokusu a jeho rozbor či diskusi výsledku (ne všechny části jsou u každého pokusu přítomny). Zásadním prvkem publikace jsou související otázky, které doprovázejí některé experimenty a jež může učitel klást studentům pro rozšíření jejich porozumění či jako motivaci k vytváření dalších hypotéz.

Dvacet námětů nabízí ve své brožuře Polák (2007), přičemž uváděné experimenty využívají převážně jednoduchých pomůcek, které si může učitel s jistou manuální zručností vyrobit, případně zakoupit. Popis přípravy experimentů i jejich vysvětlení jsou velmi podrobné a názorné, čtenářský komfort zvyšují četné fotografie. Pokusy byly zjevně vybrány tak, aby studenty zaujaly předváděným jevem či svojí neotřelou formou a některé lze kromě demonstračních využití také při samostatné práci žáků.

Novou publikací je pak *Experimentář* (Rakušan, Votrubcová & Havlíček, 2014), který je sice primárně věnován základoškolské fyzice, ale mnohé experimenty je možné přenést na půdu střední školy. V netradičně členěné graficky atraktivní knize je v různých kapitolách rozmístěno více než 30 jednoduchých experimentů z oblasti termodynamiky, které jsou podrobně okomentovány a vhodně doplněny fotografiemi.

Z webových stránek zabývajících se experimenty z termodynamiky lze mezi ty relevantní zařadit například Fyzikální šuplík (Piskač, b.r.), web Fyzmatik (b.r.) či firemní materiály distributorů měřicích systémů Vernier, PASCO a ISES; více než 60 námětů nabízejí také příspěvky na webu Veletrhu nápadů učitelů fyziky (Veletrh nápadů učitelů fyziky, b.r.). Řádově jednotky experimentů lze pak najít na webových stránkách škol či jednotlivých učitelů; často jde o známé experimenty prováděné neotřelým způsobem či s netradičními pomůckami.

5. 2. 3. Experimenty s termovizní kamerou

Specifickou skupinu experimentů z termodynamiky tvoří ty, které využívají bezkontaktní vizualizaci teplotního rozložení na površích těles, tj. experimenty s termovizní kamerou. Vzhledem k tomu, že využívání tohoto nástroje ve výuce má relativně krátkou historii, nenajdeme tyto experimenty v klasických knižních sbírkách, ale spíše v publikacích věnovaných obecně termografii, případně v jednotlivých článcích autorů, kteří mají s termografií osobní zkušenost.

Autory jakési „bible“ současné termografie jsou Vollmer & Möllmann (2010), jejichž komplexní pojednání o této technice zahrnuje také 50 stran věnovaných možnému využití termovizních kamer ve výuce fyziky, a to na příkladech konkrétních experimentů, které jsou precizně fyzikálně okomentované a doplněné vzorovými termogramy.

Na mechanismy tepelné výměny se společně se skupenskými přeměnami zaměřují ve svém článku Xie & Hazzard (2011). Ve své další publikaci pak Xie (2012) tyto náměty rozvíjí a publikuje k nim natočená videa na webu *Infrared Tube* (Xie, 2015). Tato webová stránka dnes obsahuje přibližně 50 experimentů, z nichž většina je zaměřena na studium skupenských přeměn pomocí termovizní kamery; experimenty vždy obsahují krátkou, ale názornou videosekvenci a popis předváděného jevu.

Jednoduché kvalitativní experimenty dále popisují Haglund a kol. (2015), naopak, na vysokoškolské využití termovizní kamery spojené s kvantitativními výstupy se zaměřili Vollmer & Möllmann (2007). Ze zahraničních neanglicky psaných zdrojů dále zasluhuje pozornost bakalářská práce z univerzity v Lipsku, ve které Neupert (2010) akcentuje především experimenty demonstrující mechanismy tepelné výměny a změny vnitřní energie třením.

Kromě tištěných materiálů mohou jako inspirace k experimentování sloužit také galerie termogramů – např. *Infrared Gallery* (b.r.).

V českém prostředí je situace o poznání skromnější – přestože termovizní kamery se na našem trhu pohybují již relativně dlouhou dobu, jejich potenciál ve vzdělávání dosud příliš publikační pozornosti nepřitáhl a většina materiálů, která se termovizním kamerám věnuje, pochází z rukou výrobců či distributorů a vzdělávání neakcentuje.

Dvě ucelenější práce vznikly v nedávné době díky studentům na univerzitní půdě. Frňková (2013) ve své diplomové práci popisuje využití termovizní kamery při detekci vlhkosti, hledání tepelných mostů, posuzování kvality tepelných izolací apod. Přestože práce navzdory svému názvu směřuje spíše ke stavebnickým aplikacím, lze navrhované experimenty modelovat i do hodin fyziky. Kubecová (2013) pak využívá termovizní kameru v typicky školních experimentech a zaměřuje se na zahřívání předmětů průchodem elektrického proudu, zejména v pokusech svázaných s elektromagnetickou indukcí; její práce má také hlubší fyzikální základ týkající se emise záření povrchy předmětů.

Použití termovizní kamery ve výuce se věnuje také několik příspěvků z konference Veletrh nápadů učitelů fyziky a semináře Jak získat žáky pro fyziku (např. Hubeňák, 2013; Chalupníková & Korberová, 2013; Tesař & Vochozka, 2013); většinou jde o experimenty jednoduché a názorné, vhodné spíše při prvním kontaktu studentů s termografií.

Jediným nalezeným českým zdrojem, který zachycuje experimenty s termovizní kamerou dynamicky (tedy ve formě videí), je kanál *Videoexperimenty* (b.r.) na serveru YouTube, na kterém je publikováno 10 pokusů s termovizní kamerou doprovázených velmi stručným popisem předváděného jevu.

5. 3. Co nabízejí česká science centra

Populární cestou, jak studentům všech typů škol, ale i širší veřejnosti přiblížit přírodní vědy zábavnou formou, jsou v současné době tzv. science centra, postavená

většinou právě na ukázkách fyzikálních jevů. Rozsáhlé expozice různých center se značně liší kvalitou doprovodných textů a stupněm interaktivity, jedno mají ale společné – experimenty týkající se molekulové fyziky a termodynamiky jsou na první pohled spíše raritní. Následující podkapitoly popisují možnosti, které v tomto ohledu česká, moravská a slezská science centra nabízejí.

5. 3. 1. iQpark a iQLANDIA Liberec

Nejstarší science centrum v ČR, liberecký iQpark, disponuje databází přibližně 90 exponátů, které si mohou návštěvníci vyzkoušet. Webové stránky umožňují jejich přehledné třídění podle mnoha různých kritérií (FyzWeb iQpark, b.r.); každý experiment je přitom opatřen stručným popisem, fotografií a v odůvodněných případech také krátkou videosekvencí. Tabulka 15 ukazuje počty experimentů podle tematických celků.

tematický celek	počet experimentů
mechanika	35
elektřina a magnetismus	26
optika	20
mechanické kmitání a vlnění	7
astronomie	2
termodynamika a molekulová fyzika	2

Tabulka 15: Třídění experimentů v iQparku podle tematických celků

Termodynamika uzavírá pořadí tematických celků s pouhými dvěma exponáty, které se k ní vztahují – jde o řez tepelným motorem a stanoviště snímané termovizní kamerou.

5. 3. 2. Techmania Plzeň

V současné době nabízí zřejmě nejširší servis pro své potenciální návštěvníky plzeňská Techmania. Na jejích webových stránkách (Techmania Science Center, b.r.) je publikováno přibližně 70 experimentů, které tvoří hlavní expozici Edutorium a jsou pečlivě zdokumentovány – každý experiment je opatřen několika anotacemi (to pro adresáty různých věkových skupin), teorií, fotografií, klíčovými slovy či návazností na Rámcové vzdělávací programy. Kromě toho je vždy uvedena historická, technická či jiná zajímavost, odkazy na server YouTube apod. Třídění experimentů není dáno tematickými celky, ale věkem návštěvníků (mateřská škola, 1. stupeň ZŠ apod.)

Také v tomto případě představuje termodynamika a molekulová fyzika okrajovou disciplínu, jak je patrné z tabulky 16, která shrnuje zastoupení experimentů z různých tematických celků v expozici Edutorium.

tematický celek	počet experimentů
optika	21
elektrina a magnetismus	15
mechanické kmitání a vlnění	14
mechanika	11
termodynamika a molekulová fyzika	6

Tabulka 16: Třídění experimentů v Edutoriu Techmanie podle tematických celků

Z uvedených šesti experimentů, které jsou zajímavé z hlediska této práce, se dva věnují Brownovu pohybu, zbylé pak tepelné vodivosti dřeva a kovu, tepelnému čerpadlu, Curieově teplotě (která ovšem také spadá velkou měrou do teorie elektromagnetismu) a ochlazování vody intenzivním odpařováním.

5. 3. 3. VIDA! science centrum Brno

Na rozdíl od předcházejících dvou science center není brněnská VIDA! postavena na převážně fyzikálních experimentech – srovnatelnou roli hrají exponáty inspirované biologií, environmentální výchovou či geografii, poměrně velká pozornost je věnována šifrářům, hlavolamům a dalším logickým hříčkám. Přestože u některých exponátů není snadné rozhodnout, kterou oblast přírodních věd zastupují, vybral autor práce 38 experimentů, které považuje za dominantně fyzikální, a pokusil se je opět roztrdit v tabulce 17.

tematický celek	počet experimentů
mechanika	14
elektrina a magnetismus	9
optika	6
mechanické kmitání a vlnění	6
termodynamika a molekulová fyzika	3

Tabulka 17: Třídění experimentů v centru VIDA! podle tematických celků

Z uvedených tří termodynamických exponátů je jeden pouze virtuální – jde o animace fungování různých druhů tepelných motorů. Druhým exponátem je model parního stroje a posledním termovizní kamera, jež snímá osoby poblíž vchodu do science centra a přenáší tento obraz na projekční plátno.

5. 3. 4. Technická herna Brno

Útulné prostředí herny umístěné v brněnském Technickém muzeu nabízí na malé ploše soubor neokázalých, ale velmi názorných fyzikálních experimentů. Webové

stránky muzea žádné podrobnější informace v elektronické podobě nepřinášejí, na místě jsou ale jednotlivé exponáty jednoduše a přímočaře popsány. Tematické rozdělení 32 připravených pokusů nabízí tabulka 18.

tematický celek	počet experimentů
mechanika	10
optika	9
mechanické kmitání a vlnění	7
elektrina a magnetismus	4
astronomie	1
termodynamika a molekulová fyzika	1

Tabulka 18: Třídění experimentů v Technické herně podle tematických celků

Jediný experiment, který spadá do současného vymezení středoškolské termodynamiky a molekulové fyziky, je věnován povrchovým jevům kapalin – na nejrůznějších drátěných modelech namáčených do saponátové pěny ukazuje, že kapaliny mají tendenci minimalizovat svůj povrch v zájmu minimalizace povrchové energie.

5. 3. 5. Svět techniky Ostrava

Ostravské science centrum otevřené v září roku 2014 nabízí celkem čtyři hlavní expozice, z nichž dvě (*Svět vědy a objevů* a *Svět přírody*) jsou z větší části vystavěné převážně na přírodovědně zaměřených exponátech. Jejich kompletní přehled je možné najít na webových stránkách science centra (*Svět techniky, b.r.*), kde je každému exponátu přiřazena fotogalerie nebo krátká videosekvence; často bohužel chybí textový doprovod, a i pokud existuje, bývá velmi stručný. Protože charakter expozic je takový, že zcela maže hranice mezi jednotlivými přírodními vědami, pokusil se autor práce vybrat z exponátů ty, které dle současného středoškolského kurikula spadají do oblasti fyziky. Tematické rozdělení těchto 40 pokusů nabízí tabulka 19.

tematický celek	počet experimentů
optika	11
elektrina a magnetismus	10
mechanika	9
termodynamika a molekulová fyzika	5
mechanické kmitání a vlnění	4
speciální teorie relativity	1

Tabulka 19: Třídění experimentů ve Světě techniky podle tematických celků

Do kapitoly termodynamika a molekulová fyzika lze zařadit model Brownova pohybu, zahřívání bimetalového pásku, vytváření mýdlových blán s minimálním povrchem, model „funkčního“ perpetua mobile 1. druhu a stanoviště opatřené termovizní kamerou.

5. 3. 6. Pevnost poznání Olomouc

Vzdělávací centrum situované do prostor bývalé olomoucké pevnosti je v současné době nejmladším členem rodiny českých science center, otevřeno bylo v dubnu roku 2015 pod záštitou Univerzity Palackého. Z celkem pěti expozic, které nesou označení *Věda v pevnosti*, *Vědecká výtvarka*, *Živá voda*, *Rozum v hrsti* a *Světlo a tma*, jsou z hlediska fyziky zajímavé poslední dvě. Expozice *Rozum v hrsti* obsahuje kromě mnoha hlavolamů a her také 8 experimentů z mechaniky či mechanického kmitání, dva z optiky a dva spadající do elektřiny a magnetismu; vše si mohou návštěvníci vlastnoručně vyzkoušet. Expozice *Světlo a tma* je pak až na několik výjimek věnována výhradně optice, kterou zde přibližuje celkem 14 experimentů. Do oblasti termodynamiky je možné zařadit dvě z výše uvedených výjimek – jde o stanoviště s termovizní kamerou a model Planckova vyzařovacího zákona.

5. 3. 7. Shrnutí průzkumu science center

Na základě návštěvy šesti výše uvedených českých science center vznikla tabulka 20, která orientačně udává zastoupení exponátů dle jednotlivých fyzikálních témat. Z hlediska science center minoritní oblasti fyziky (částicová fyzika, astronomie, speciální teorie relativity apod.) nejsou vzhledem k mizivým počtům pokusů uvedeny.

Lze konstatovat, že experimenty z termodynamiky a molekulové fyziky stojí zcela na okraji zájmu science center. Jejich počet zásadně neodpovídá významu tohoto oboru v základoškolské i středoškolské výuce a i v tomto malém počtu se najdou exponáty (řez tepelným motorem, animace motorů,...), jež navíc nesplňují požadavek interaktivity, který je od science center očekávaný. Kromě toho je z výše uvedených 19 experimentů pouze 11 navzájem odlišných; naopak, stanoviště s termovizní kamerou se nachází hned ve čtyřech science centrech, aniž by jí byl ovšem pozorován jakýkoli záměrně navozený fyzikální jev. Návštěva center nepřinesla žádnou novou inspiraci použitelnou při tvorbě této práce.

tematický celek	počet experimentů ⁶						
	iQpark	Techmania	VIDA!	Technická herna	Svět techniky	Pevnost poznání	Σ
mechanika	35	11	14	10	9	6	85
optika	20	21	6	9	11	16	83
elektřina a magnetismus	26	15	9	4	10	3	67
mechanické kmitání a vlnění	7	14	6	7	4	3	41
termodynamika, molekulová fyzika	2	6	3	1	5	2	19

Tabulka 20: Celkový přehled exponátů v českých science centrech; poslední sloupec označený symbolem „Σ“ udává součty experimentů pro jednotlivé tematické celky

⁶ Popsaný stav platil k 16. prosinci 2015. Udávané údaje je nutné brát skutečně jako orientační – exponáty v science centrech se v čase vyvíjejí, nové přibývají, jiné se stahují. Stejně tak může být rozporováno jejich přiřazení k jednotlivým tématům, které vycházelo ze současných středoškolských učebnic.

6. Zpracované experimenty: Návod k rukám učitelů

V úvodu této kapitoly budou diskutovány obecné charakteristiky zpracovaných experimentů, kritéria, podle kterých byly do práce zařazeny, a také forma, jakou byly připraveny a publikovány. Následně bude přiložen kompletní výčet zpracovaných námětů na experimenty v jejich značně zhuštěné podobě; plná verze všech textů je zveřejněna v elektronické Sbírce fyzikálních pokusů (b.r.).

6. 1. Kritéria výběru experimentů

Přestože z rešerše uvedené v kapitole 5 plyne, že námětů na experimentování v oblasti molekulové fyziky a termiky není tolik jako v jiných partiích fyziky, zůstává jejich množství úctyhodné a bylo tedy nezbytné stanovit kritéria, podle kterých budou experimenty do této práce vybírány. Pro zařazení experimentu do práce byla požadována jeho příslušnost k alespoň jedné z následujících pěti kategorií experimentů⁷:

- **(E1) Experimenty vycházející z výzkumu miskonceptí:** Nejrozsáhlejší skupina pokusů, která je vystavěna na výsledcích testu CTCE popsaného v první části této práce. Vzhledem k tomu, že nejproblematičtějšími partiemi se pro studenty dle výše uvedeného testu staly partie zabývající se skupenskými přeměnami a tepelnou vodivostí, jsou experimenty z této skupiny zaměřeny právě na tyto dvě oblasti termodynamiky. Experimenty jsou ve většině případů původní, nepřejímané z žádných zdrojů; za původní jsou považovány i ty experimenty, které byly po jejich první prezentaci autorem této práce publikovány někým jiným. Velká část těchto pokusů využívá jako nástroj pro vizualizaci termovizní kameru.
- **(E2) Experimenty inspirované zahraničními zdroji, ale absentující v českém prostředí:** Během rešerše zahraničních materiálů byly nalezeny popisy experimentů, se kterými se lze v českém prostředí setkat zřídka či vůbec; pokud tyto pokusy svým charakterem a obsahem zapadaly do kontextu českého kurikula, byly také zpracovány (určení skupenského tepla vypařování z tepelného výkonu plynového hořáku, Stirlingův stroj apod.).
- **(E3) Experimenty vyžádané učiteli:** Některé experimenty, které původně neměly být do práce zařazeny, se do ní dostaly takřka „na přání“. Protože

⁷ U některých experimentů pochopitelně není zařazení jednoznačné a uvedené kategorie se překrývají.

autor práce měl možnost během jejího vzniku interagovat s desítkami středoškolských učitelů v prostředí *Interaktivní fyzikální laboratoře MFF UK*, setkával se také s jejich tipy, jaké pokusy by bylo vhodné zpracovat a zveřejnit tak, aby to bylo pro jejich učitelskou praxi přínosné. V případě tipů, které padaly opakovaně, pak skutečně k zařazení experimentu mezi zpracovávané došlo – mezi jinými jmenujme například Brownův pohyb, kritický stav látky, Hopeho experiment prokazující anomálii vody a několik dalších; typicky jde o experimenty, které jsou pro průměrnou školu z hlediska vybavení či náročnosti (časové, bezpečnostní) provedení nerealizovatelné.

- **(E4) Termografické zobrazování:** Řadí se sem pokusy s termovizní kamerou, které nespádají do žádné z předcházejících kategorií a současně umožňují znázornit jevy, které by se bez termografie do školního prostředí nedostaly. Část těchto pokusů vznikla díky inspiraci získané od učitelů na seminářích, konferencích apod. Protože pro většinu učitelů je v současné době setkání s termovizní kamerou často setkáním prvním, vznikl v rámci této práce stručný materiál *Experimentujeme s termovizní kamerou*, který popisuje fyzikální základy, možnosti i obvyklá úskalí termografických měření; text je k této práci přiložen jako příloha 6.
- **(E5) Známé experimenty jinak:** Několik experimentů bylo do práce zahrnuto i přesto, že jde o experimenty dobře známé, a přesto nepatří do předcházející kategorie – zmiňme například ukázkou poklesu teploty varu s klesajícím tlakem, porovnávání tepelné vodivosti kovů apod. Důvodem zařazení těchto pokusů je využití nových či netradičních, často jednoduchých pomůcek, které mohou učinit známé experimenty buď názornější, nebo snazší z hlediska provedení.

6. 2. Obecné rysy zpracovávaných experimentů

Jak předesílá zadání práce, náročnost experimentů primárně cílí na středoškolskou úroveň vzdělávání, byť mnohé jednodušší experimenty jsou vhodné i pro použití na základní škole; několik experimentů naopak sahá spíše do pater vysokoškolských.

Experimenty jsou primárně popisovány jako demonstrační, ale v mnoha případech nic nebrání tomu, aby se staly základem samostatné experimentální práce studentů v hodinách či námětem na laboratorní cvičení. Obecným cílem autora je inspirovat učitele fyziky k experimentování, ale ponechávat jim značnou volnost v tom, jakou formu provádění pokusů ve své výuce zvolí a nakolik do ní studenty zapojí.

V žádném případě není ambicí této práce předkládat univerzálně platné pravdy (v duchu: „*takto je to správně a jinak pokus provést nelze*“), vždy jde o doporučení vycházející z opakovaných zkušeností s jednotlivými experimenty. Tyto zkušenosti se

opírají jak o vlastní experimentování autora práce, tak o experimentování středoškolských studentů pod jeho dohledem – každý ze zpracovaných experimentů byl přímo studenty alespoň dvakrát vyzkoušen, a to buď v podmínkách *Interaktivní fyzikální laboratoře* MFF UK nebo ve výuce fyziky na Soukromém gymnáziu ARCUS, kde autor práce v současné době pátým rokem vyučuje. Návody na experimenty pak byly dále připomínkovány dvěma zkušenými středoškolskými učiteli s dlouholetou praxí.

Pokusy všech pěti výše uvedených kategorií se snaží maximálně využívat jednoduchých pomůcek; z této filozofie vybočují experimenty s termovizní kamerou, které vyžadují vlastnictví relativně drahé kamery, jež ale může otevírat při studiu tepelných jevů nové, bezprecedentní možnosti.

6. 3. Struktura experimentů a jejich publikování

Jak již bylo uvedeno výše, zpracované experimenty byly uveřejněny v elektronické Sbírce fyzikálních pokusů⁸ (Sbírka fyzikálních pokusů, b.r.), jejímž primárním cílem je shromažďovat náměty na pokusy z různých partií fyziky a předkládat je jako inspiraci učitelům všech typů škol. Mezi podobnými elektronickými projekty, které jsou v prostředí internetu dohledatelné (např. Fyzikální experimenty, b.r.), má Sbírka fyzikálních pokusů (dále jen: *Sbírka*) ambici vyčnívat nejen kvalitním zpracováním experimentů (včetně fotografií, videí apod.), ale zejména důkladným ověřením jejich funkčnosti a seznamem technických a metodických poznámek, které vycházejí ze zkušeností autora pokusu a slouží jako doporučení usnadňující učitelům zařazení experimentů do jejich výuky. Elektronické prostředí pak zaručuje snadnou tvorbu i editaci textů, obrazového materiálu a videosekvencí.

Ve své současné podobě (obr. 13), která se ustálila na konci roku 2014, je *Sbírka* vytvářena tak, aby měly všechny experimenty rámcově stejnou strukturu – ta vykryštovala postupným vývojem *Sbírky* a v současné době zahrnuje následující doporučené části:

- **Cíl:** Stručné shrnutí cíle experimentu – co má pokus demonstrovat, ukázat.
- **Teorie:** Fyzikální pozadí předváděného či měřeného jevu; popis těchto teoretických východisek se odehrává na úrovni středoškolské matematiky a fyziky, nevyužívá tedy prostředků infinitezimálního počtu.
- **Pomůcky:** Co nejkonkrétnější výčet vybavení potřebného k provedení pokusu, případně s doporučením, kde danou pomůcku opatřit.

⁸ Autor této práce je současně koordinátorem *Sbírky* a autorem vize, jakým způsobem by měla *Sbírka* vypadat a kterým směrem se vyvíjet; není ale spojen s jejím technickým řešením.

Cíl pokusu

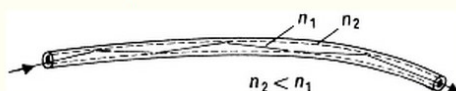
Tento pokus slouží k demonstraci totálního odrazu a znázornění principu optických vláken.

Teorie

Lom světla na rozhraní dvou optických prostředí se řídí Snellovým zákonem

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta,$$

kde α je úhel dopadu, β úhel lomu a n_1 , n_2 jsou indexy lomu příslušejících prostředí. Aby mohl nastat totální odraz, musí světlo procházet z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího. Dochází k lomu od kolmice a s rostoucím úhlem dopadu se zvětšuje i úhel lomu. Při tzv. mezním úhlu dosáhne úhel lomu největší možné hodnoty, tedy 90° . Mezní úhel je tedy největším úhlem dopadu, při kterém ještě nastává lom světla. Při větších úhlech dopadu už k lomu světla nedochází a paprsek se jen odráží od rozhraní. Říkáme, že dochází k totálnímu odrazu. Právě na tomto jevu jsou založena optická vlákna. Průchod paprsku vláknem je vidět na obrázku níže.



Převzato z: [Encyklopedie fyziky](#)

Pomůcky

Laserové ukazovátko, plastová láhev, mléko, nádoba na vytékající vodu, hřebík.

Postup

1. Pomocí hřebíku uděláme do láhve otvor zhruba 5 cm nad dnem.
2. Láhev postavíme na vyvýšené místo a naplníme vodou.
3. Nádobu umístíme do místa, kam bude dopadat vytékající voda z láhve.
4. Laserovým ukazovátkem posvítíme tak, aby paprsek procházel vodorovně skrz láhev a dopadal na výtokový otvor.
5. Pozorujeme chod paprsku ve vytékající vodě.

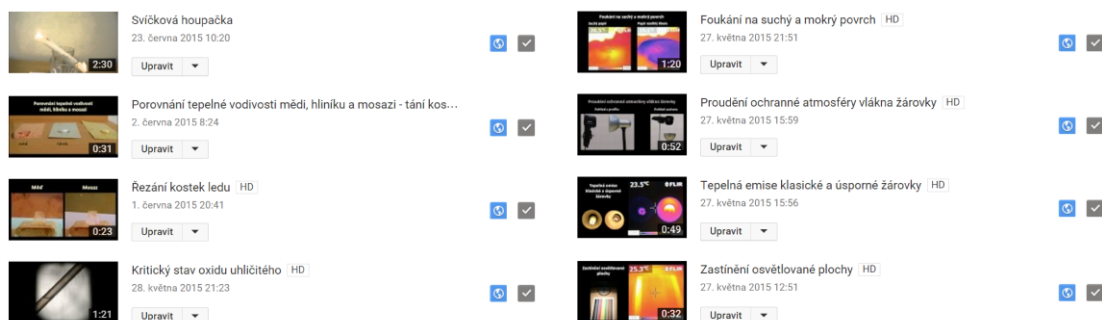
Vzorový výsledek

Video níže ilustruje průběh pokusu.



Obrázek 13: Vzhled Sbírký fyzikálních pokusů

- **Postup:** Do bodů rozepsané a chronologicky seřazené kroky při provádění experimentů.⁹
- **Vzorový výsledek:** Popis toho, co mohou studenti pozorovat či měřit, obvykle doplněný tabulkou, grafem, fotografií či videosekvencí. Video, která jsou publikována v rámci *Sbírk*y, jsou současně nahrána na serveru YouTube v rámci kanálu Fyzlab (b.r.), který je ke *Sbírc*e přidružen (obr. 14). Dále sem patří také vlastní vysvětlení jevu, pokud již nezaznělo v části „Teorie“.
- **Technické poznámky:** Praktická doporučení související s prováděním experimentu – bezpečnostní upozornění, rady týkající se uspořádání pokusu, využití alternativních pomůcek, jejich dostupnost atd.
- **Metodické poznámky:** Doporučení vycházející z použití experimentů přímo ve výuce – zařazení do hodin, související otázky pro studenty, problémové úlohy navázané na experiment, použití experimentu při potvrzování či vyvracení hypotéz apod.
- **Komentáře:** Libovolné další sdělení, které tematicky nepřísluší do předcházejících kategorií; často jde o odkaz na podobný experiment nebo na související článek či video. Do této kategorie patří také odkazy na kvantitativní úlohy v sesterské *Sbírc*e řešených úloh (*Sbírc*ka řešených úloh, b.r.), se kterými jsou experimenty v opodstatněných případech provazovány.



Obrázek 14: YouTube kanál Fyzlab přidružený ke *Sbírc*e fyzikálních pokusů

⁹ Přestože ambicí této části je popsat provádění experimentu úplně, přehledně a srozumitelně, nelze ve výuce provádět experiment pouze podle bodů postupu bez jeho předchozího vyzkoušení!

Z technického hlediska jsou texty do *Sbírk*y vkládány ve formě modifikovaného XHTML kódu, pro sazbu matematických formulí se užívá jazyku LaTeX. Grafy byly vytvořeny v tabulkovém editoru MS Excel 2013, pro zpracování obrázků byly využity programy CorelDRAW X4, GIMP 2.8.14 a FastStone Image Viewer 4.6. Střih a editace videa byly prováděny pomocí softwaru VSDC Free Video Editor (verze 3.3.0.394) a Windows Movie Maker (verze 6.1). K pořizování fotografií a videí ve vzdáleném infračerveném oboru sloužila termovizní kamera FLIR i7.

6. 4. Přehled zpracovaných experimentů





Celkem bylo v rámci této práce zpracováno 46 experimentů z molekulové fyziky a termiky použitelných ve výuce na střední škole. Tyto pokusy jsou rozděleny do 11 tematických celků tak, jak ukazuje tabulka 21.

tematický celek	počet experimentů
částicová stavba látek	1
změny vnitřní energie konáním práce	5
teplo a tepelná kapacita	4
tepelná vodivost	9
tepelná výměna prouděním a zářením	7
tání a tuhnutí	3
vypařování a kondenzace	11
struktura a vlastnosti plynů	1
struktura a vlastnosti pevných látek	1
struktura a vlastnosti kapalin	1
tepelné jevy v elektromagnetismu	3

Tabulka 21: Statistika zpracovaných experimentů

Jak již bylo řečeno výše, kompletní znění všech experimentů jsou publikována ve Sbírce fyzikálních pokusů (b.r.) – každý níže uvedený experiment má v hranaté závorce za svým názvem uvedený čtyřmístný číselný kód, pod kterým je možné jej v této elektronické sbírce nalézt. Cílem této podkapitoly je nabídnout zhuštěný popis jednotlivých experimentů – zásadně je zde zkrácena jak úvodní teoretická pasáž a popis provádění experimentů, tak také technické a metodické poznámky.

Názvy všech experimentů jsou dále doplněny grafickými symboly, které nesou rozšiřující informaci o pokusu – jde o tyto piktogramy:

-  : Kvantitativní experiment v duchu definice uvedené v podkapitole 5. 1.
-  : Kvalitativní experiment v duchu definice uvedené v podkapitole 5. 1.
-  : Experiment je zachycen na videu publikovaném ve *Sbírce*.
-  : Experiment využívá termovizní kameru.

- ①: Experiment je založen na použití termocitlivých folií nebo existuje i ve variantě, která s nimi pracuje.

Každý experiment dále obsahuje záhlaví, kde je uvedena pro něj nejrelevantnější kategorie z podkapitoly 6. 1. (E1 – E5), případný zdroj inspirace a seznam potřebných pomůcek. Tyto informace jsou doplněny odhadem času potřebného na přípravu a provedení experimentu. Přípravou se zde přitom myslí fyzické naaranžování experimentálního pracoviště – rozmístění pomůcek, zapojení elektrického obvodu, odměření vody, nastavení softwaru apod.; nepatří sem ale například výroba některých pomůcek (kostky ledu apod.). Provedením pokusu se pak rozumí pouze vlastní experimentování, nikoliv navazující diskuse se studenty, výpočty se získanými hodnotami či úklid pracoviště; naopak, do času provedení jsou zahrnuty ty úseky výuky, kdy může experiment probíhat „na pozadí“ a učitel má možnost tento čas využít k dalšímu výkladu, testu apod. Veškeré časové odhady plynou z osobní zkušenosti, kterou má s uvedenými pokusy autor této práce a pro různé učitele se samozřejmě mohou a budou lišit.

Zbylá část kapitoly 6. 4. je formulována v 1. osobě množného čísla, neboť tato forma koresponduje s formou používanou ve Sbírce fyzikálních pokusů.

6. 4. 1. ČÁSTICOVÁ STAVBA LÁTEK

(1) Brownův pohyb [1876]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E3, INSPIROVÁNO POKUSY PRO STŘEDNÍ ŠKOLY PŘEDVÁDĚNÝMI NA MFF UK

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 10 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: MIKROSKOP, SMETANA DO KÁVY, KRYCÍ A PODLOŽNÍ SKLÍČKO, ŠTĚTEČEK, NÁDOBK A S VODOU

V roce 1827 skotský botanik Robert Brown jako první pozoroval chaotický pohyb pylových zrněk ve vodě, který dnes nese jeho jméno a bývá považován za jeden z experimentálních důkazů skutečnosti, že částice v látkách se neustále neuspořádaně pohybují; cílem experimentu je tento pohyb demonstrovat. Roztok pro studium Brownova pohybu připravíme přidáním několika kapek smetany do kávy do přibližně 20 ml vody (obr. 15 vlevo); právě tukové kapénky smetany budou v našem pokusu nahrazovat Brownova pylová zrnka. Vzorek roztoku nanese na podložní sklíčko a přikryjeme sklíčkem krycím, vložíme jej pod mikroskop a podle potřeby obraz doostříme. Pohyb pozorujeme přímo okulárem mikroskopu nebo k němu přiložíme kameru (obr. 15 vpravo) a promítáme obraz na plátno.

Poznámky: Průběh experimentu si zaslouhuje komentář vyučujícího, protože se v něm typicky odehrává více dějů naráz. Kromě chaotického kmitání částic se často vzorek jako celek pohybuje jedním daným směrem – hovoříme o tzv. tečení a je nutné zdůraznit, že tento jev s Brownovým pohybem nesouvisí. K tečení dochází například při proudění vzorku po podložním sklíčku vlivem tíhové síly nebo při jeho nerovnoměrném prohřívání lampou mikroskopu. Dále můžeme kromě Brownova pohybu zaznamenat i pohyb živých mikroorganismů.



Obrázek 15: Vlevo nádobka s vodou a smetana do kávy, vpravo kamera přiložená k okuláru mikroskopu tak, jak byla použita ve vzorovém experimentu

6. 4. 2. ZMĚNY VNITŘNÍ ENERGIE KONÁNÍM PRÁCE

(2) Přeměna kinetické energie na vnitřní energii: Úder palicí [1585]

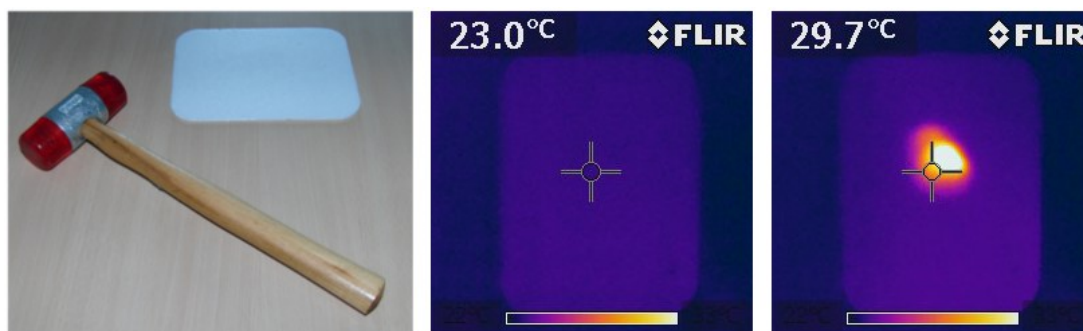
KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E4

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, POLYSTYRENOVÁ DESTIČKA, GUMOVÁ PALICE

Cílem pokusu je přesvědčit se, že při úderu palicí (kladivem) do podložky se podložka i palice (kladivo) zahřívají. Při dopadu palice na podložku se část její kinetické energie využije na konání práce při nepružné deformaci podložky a část se přemění na vnitřní energii palice a podložky. Tento nárůst vnitřní energie se projeví lokálním zvýšením teploty v řádech stupňů Celsia (obr. 16).

Poznámky: Pokus lze provést i s obyčejným kladivem, pak je ale část tepla odvedena jeho kovovým tělem a zvýšení teploty není tak výrazné. Je důležité, aby si žáci uvědomili, že při experimentu se nezahřívá pouze podložka, ale také samotná palice – to můžeme pomocí termovizní kamery samozřejmě také ukázat.



Obrázek 16: Uprostřed polystyren před experimentem, vpravo po pěti úderech palicí

(3) Přeměna kinetické energie na vnitřní energii: Pád závaží [1587]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E4

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, POLYSTYRENOVÁ DESTIČKA, ZÁVAŽÍ 1 KG

Pokus je obdobou experimentu (2) – budeme vizualizovat nárůst teploty v místě dopadu kilogramového závaží puštěného volným pádem z výšky 1 metr na polystyrenovou destičku. Kinetická energie padajícího předmětu se v okamžiku jeho dopadu na podložku zčásti využije na konání práce při její nepružné deformaci a zčásti na zvýšení vnitřní energie předmětu a podložky, což vede k lokálnímu růstu teploty v místě dopadu.

Poznámky: Již pád kilogramového závaží z výšky okolo jednoho metru může být nebezpečný, pokud by došlo k zasažení žáků; stejně tak může poškodit podlahu pod destičkou – věnujeme tedy zvýšenou pozornost podmínkám, ve kterých experiment provádíme! Experiment je vhodný při zavádění pojmu vnitřní energie U , respektive při přechodu od zákona zachování mechanické energie k obecnějšímu zákonu zachování energie.

(4) Změna vnitřní energie konáním práce: Vrtání do dřeva [1588]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E4

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

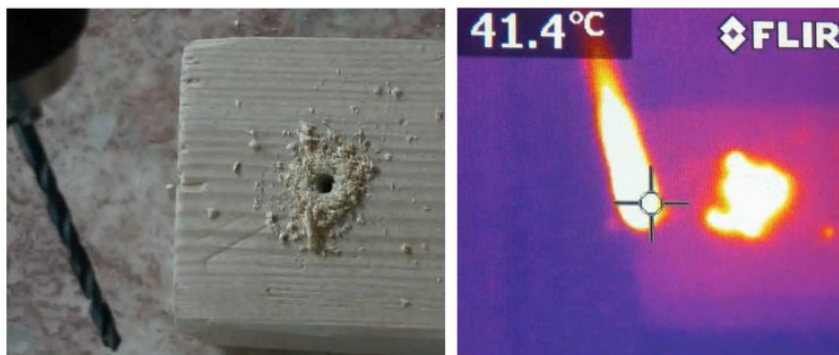
POMŮCKY: TERMOVIZNÍ KAMERA, PRKÉNKO S VHDNOU PODLOŽKOU, VRTAČKA NEBO MIKROVRTAČKA

Ukážeme, jak při vrtání do dřeva roste teplota použitého vrtáku i navrtávaného prkénka. První termodynamický zákon ve tvaru

$$\Delta U = W + Q, \quad (1)$$

kde ΔU je změna vnitřní energie systému, W je práce vykonaná okolím na systému a Q dodané teplo, povoluje změnu vnitřní energie libovolné termodynamické soustavy (nevyměňující s okolím částice) právě dvěma způsoby – tepelnou výměnou a konáním mechanické práce. V našem případě koná mechanickou práci rotující vrták vnikající do dřeva. Tření mezi vrtákem a prkénkem vede k výraznějšímu rozkmitávání částic na styčných plochách kovu a dřeva, čímž teplota obou materiálů roste (obr. 17).

Poznámky: Ať už bude tento pokus provádět učitel či žák, měli bychom vždy zkontrolovat, že prkénko je bezpečně uchycené, aby nehrozilo, že bude při vrtání vymrštěno. Experiment můžeme propojit s konceptem různé měrné tepelné kapacity látek a ukázat, že vrták se zahřívá snáze než dřevo.



Obrázek 17: Vrtání do dřeva – stejná situace očima klasické a termovizní kamery

(5) Změna vnitřní energie konáním práce: Zatloukání hřebíku [1589]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E4

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMOVIZNÍ KAMERA, PRKÉNKO, KLADIVO, HŘEBÍK

Experiment je obdobou pokusu předcházejícího. Opět budeme demonstrovat růst vnitřní energie konáním mechanické práce, které bude ale nyní reprezentováno zatloukáním hřebíku do dřeva. Při úderech do hřebíku se kinetická energie dopadajícího kladiva přeměňuje na vnitřní energii kladiva a hřebíku, na práci třecích sil mezi hřebíkem a dřevem, ale také na energii elastických vln, šířících se dřevem od místa jeho styku s hřebíkem; společně tyto jevy vedou k růstu teploty obou materiálů.

Poznámky: Je dobré rozebrat, že kromě místa vniku kovu do dřeva dochází samozřejmě k nárůstu teploty podél hřebíku i uvnitř prkénka, to ovšem již pomocí termovizní kamery neodhalíme.

(6) Změna vnitřní energie konáním práce: Tažení po podložce [1591]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E4

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, DOSTATEČNĚ HMOTNÝ PŘEDMĚT TAŽENÝ NA PROVÁZKU (VE VZOROVÉM PROVEDENÍ 11 KG)

Třetí alternativa demonstrace změny vnitřní energie konáním práce vizualizuje nárůst teploty při smýkání tělesa po podložce. Svižně za sebou táhneme těžký předmět po podlaze a pohyb přitom sledujeme termovizní kamerou. Za předmětem zůstává tepelná stopa kopírující jeho trajektorii, stejně tak se zahřívá i podstava předmětu. Příčinou nárůstu teploty obou povrchů, jež jsou v kontaktu, je opět tření (přesněji práce třecích sil) vedoucí k rozkmitávání částic na styčných plochách.

Poznámky: Vzorový experiment byl prováděn na klasickém hladkém linoleu, v případě provádění na dlaždičkách nebo koberci může být obtížné nějakou změnu teploty zaznamenat (zejména dlaždičky mají typicky velmi dobrou tepelnou vodivost a lokální zvýšení teploty tak okamžitě zaniká rozvedením tepla do okolí). V případě provádění experimentu na linoleu je zase třeba vyzkoušet, zda tažením těžkého předmětu nedochází k jeho odření či jinému poškození.

6. 4. 3. TEPLA A TEPELNÁ KAPACITA

(7) Experimentální určení měrné tepelné kapacity vody [1619]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E3

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA 10 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN (JEDNO MĚŘENÍ)

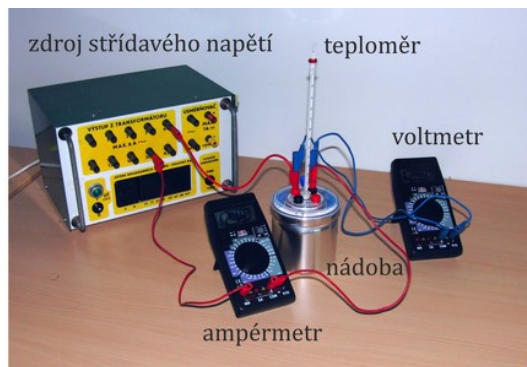
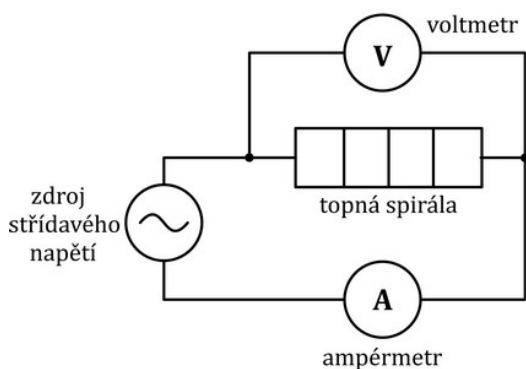
POMŮCKY: KALORIMETR S TOPNOU SPIRÁLOU, DVA MULTIMETRY, TEPLOMĚR, ZDROJ STŘÍDAVÉHO NAPĚTÍ, VÁHY

Měrná tepelná kapacita určuje, jaké dodané (odevzdané) teplo způsobí ohřátí (ochlazení) 1 kg látky o 1 K; vyjadřuje tedy jakousi „ochotu“ látky měnit teplotu – čím je její hodnota nižší, tím ochotněji se teplota mění. Cílem tohoto měření je experimentální určení měrné tepelné kapacity vody a její následné porovnání s tabulkovou hodnotou.

Zvážíme vnitřní nádobu kalorimetru a nalijeme do ní přibližně 100 g vody. Zapojíme topnou spirálu kalorimetru do obvodu na obr. 18 a zvolíme takovou kombinaci napětí zdroje a odporu spirály, aby obvodem při měření protékal proud přibližně 2 A. Změříme počáteční teplotu vody v kalorimetru, zapneme zdroj a současně začneme měřit dobu průchodu proudu obvodem; poznamenejme si také hodnoty napětí U na spirále a proudu I v obvodu. Po 3 až 4 minutách zdroj vypneme, vodu promícháme vestavěným míchadlem a odečteme její koncovou teplotu; poznamenejme si čas ohřevu τ . Ze získaných údajů lze dopočítat měrnou tepelnou kapacitu vody c_v jako

$$c_v = \frac{UI\tau - c_k m_k \Delta t}{m_v \Delta t}, \quad (2)$$

kde Δt je rozdíl koncové a počáteční teploty, m_v hmotnost vody, m_k hmotnost kalorimetru a c_k měrná tepelná kapacita materiálu, ze kterého je vyrobena jeho vnitřní nádoba. Průměrná hodnota získaná vyhodnocením sedmi měření je $c_v = (4410 \pm 70) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, což představuje odchylku asi 5 % od běžně udávaných hodnot.



Obrázek 18: Schéma a fyzické uspořádání zapojovaného elektrického obvodu

Poznámky: Před zaznamenáním koncové teploty je skutečně nezbytné vodu v kalorimetru promíchat; na základě zkušeností autora je vhodné míchat po celou poslední minutu měření. Fyzikálně zdatnější studenti mohou namítat, že při intenzivním míchání konáme mechanickou práci, což může vést k zahřívání vody v kalorimetru. Tato myšlenka je principiálně správná a zaslouží ocenění, přestože vliv takového zahřívání na výsledek měření je prakticky nulový. Chceme-li o tom studenty přesvědčit, můžeme je nechat odhadnout jejich mechanický výkon při míchání a porovnat ho s elektrickým výkonem topné spirály.

(8) Porovnání měrné tepelné kapacity lihu a vody [1884]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E5

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

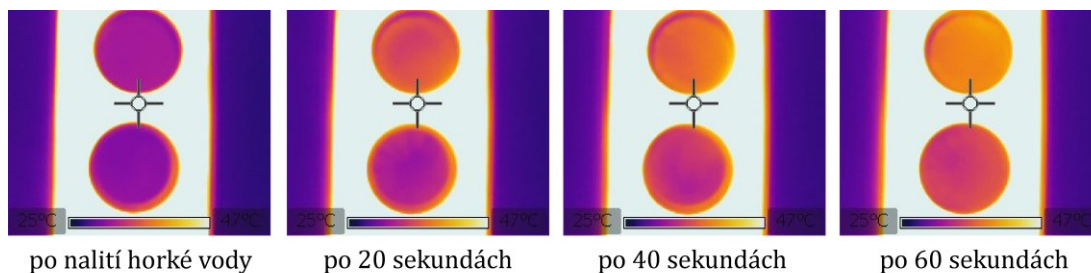
POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, DVĚ IDENTICKÉ PLASTOVÉ NÁDOBKY (KELÍMKY), NÍZKÁ NÁDOBA NA VODU, RYCHLOVARNÁ KONVICE, VODA A TECHNICKÝ LIH

Experimentem kvalitativně prokážeme rozdílnou měrnou tepelnou kapacitu vody a technického lihu; v duchu výše uvedeného pokusu budeme tuto veličinu chápat jako jakousi ochotu látky měnit její teplotu.

Do dvou identických plastových kelímků odvážíme stejnou hmotnost vody a technického lihu a kelímky umístíme na dno nízké nádoby. Do ní vzápětí nalijeme vroucí vodu z rychlovarné konvice tak, aby smáčela nádoby přibližně do čtvrtiny jejich výšky – připravili jsme si tedy vodní lázeň a termovizní kamerou můžeme pozorovat, jakým způsobem se obě kapaliny v malých nádobkách zahřívají. Ze vzorového výsledku na obr. 19 je patrné, že líh (v horní nádobce) zvyšuje svoji teplotu rychleji než voda, což koresponduje se skutečností, že ve srovnání s vodou je jeho měrná tepelná kapacita téměř poloviční.

Poznámky: Horkou vodu je třeba lít do ploché nádoby tak, aby plastové kelímky s kapalinami neodplavaly mimo zorné pole termovizní kamery, případně se nezvrhly; tomuto požadavku přizpůsobujeme i množství nalévané vody.

Aby byl pokus vypovídající, musí mít voda a líh v nádobkách stejnou hmotnost – technického lihu budeme tedy vzhledem k jeho hustotě potřebovat větší objem.



Obrázek 19: Vizualizace rozdílné měrné tepelné kapacity vody v dolní nádobce a lihu v horní nádobce

(9) Porovnání měrné tepelné kapacity oleje a vody [1675] 📄

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E5

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 10 MIN

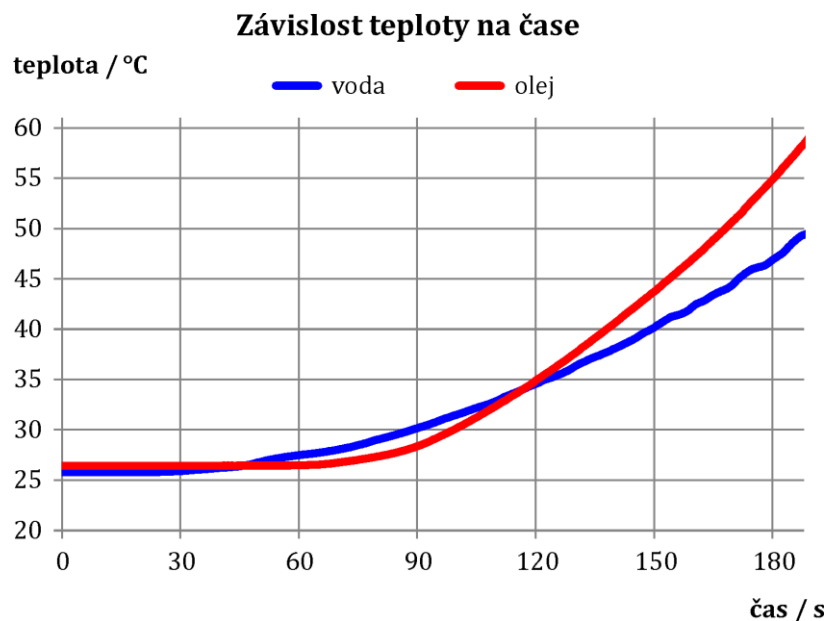
POMŮCKY: DVĚ IDENTICKÉ NÁDOBKY, VODA A OLEJ, LABORATORNÍ VÁHY, ZDROJ TEPLA (PLYNOVÝ HOŘÁK, KAHAN, VAŘIČ APOD.), DVĚ TEPLTNÍ ČIDLA SPOLUPRACUJÍCÍ S POČÍTAČEM; V PŘÍPADĚ POTŘEBY LABORATORNÍ STOJAN

Cílem tohoto experimentu je porovnat měrné tepelné kapacity slunečnicového oleje a vody; na rozdíl od předcházejícího experimentu zde nebudeme využívat termovizní kameru, ale teplotní čidla, což nám během měření umožní zaznamenat jeden zajímavý jev (více v *Poznámkách* k tomuto experimentu).

Jednu ze dvou identických nádobek naplníme vodou a druhou olejem stejné hmotnosti (protože olej má nižší hustotu, musí být jeho objem větší). Nádobky umístíme nad kahan či na vařič tak, aby bylo oběma dodáváno stejné teplo – tj. například symetricky kolem plamene kahanu či středu vařiče. Do každé nádoby zasuneme jedno teplotní čidlo a měříme vývoj teploty při zahřívání. Po provedení měření obdržíme graf závislosti teploty oleje a vody na čase, který bude typově podobný grafu na obr. 20. Protože olej se ohřál více než voda, je jeho měrná kapacita ve srovnání s vodou nižší.

Poznámky: Graf na obr. 20 nám dává informaci, že olej se za dobu měření ohřál výrazněji než voda a jeho měrná tepelná kapacita je tedy menší. Na první pohled je ale zřejmé, že kdybychom měření ukončili např. v jeho 90. sekundě, dostaneme výsledek opačný – v tomto čase dosahuje vyšší teploty voda. Opakováním experimentu dospějeme k tomu, že nejde o nahodilou chybu měření, podobný výsledek dostáváme systematicky. Vysvětlení tohoto paradoxu se skrývá v mechanismu tepelné výměny v kapalinách, kterým je zejména proudění. Zatímco málo viskózní voda proudí poměrně snadno, olej s mnohem větší dynamickou viskozitou cirkuluje ztlačně pomaleji. Jestliže tedy zahříváme nádoby zespoda, trvá relativně dlouhou dobu, než ohřátý olej vystoupá ode dna k teplotnímu čidlu a to tak může nárůst teploty zaregistrovat.

Teplotní čidla by se během měření neměla dotýkat stěn ani dna nádobek. Je vhodné, aby byla v obou nádobkách umístěna ve stejné výšce nade dnem. Je nutné vyvarovat se toho, aby byla jedna nádobka výrazně blíže zdroji tepla než druhá – potřebujeme zajistit rovnoměrný ohřev obou kapalin. Po celou dobu trvání experimentu je třeba dbát zvýšené opatrnosti při práci s kahanem či vařičem!



Obrázek 20: Vzorový výsledek při porovnání měrných tepelných kapacit oleje a vody

(10) Teplotní změny v ústí nosní dutiny během dýchání [1879]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E4

ODHADOVANÝ ČAS: BEZ PŘÍPRAVY, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, SPOLUPRÁCE DOBROVOLNÍKA

Primární vstupní cestou vzduchu do organismu zdravého člověka je nosní dutina, v jejíchž skořepinách dochází ke zvlhčení vzduchu a k jeho ohřátí před vstupem do plic na teplotu blízkou vnitřní teplotě těla. Naopak při výstupu vzduchu z organismu zde dochází k jeho částečnému ochlazení tak, aby tělo vydechováním neztrácelo velké množství tepla; nosní dutina tedy plní funkci jakéhosi tepelného výměníku. V tomto experimentu budeme pozorovat teplotní změny v ústí dutiny nosní při nádechu a výdechu. Dobrovolníka vyzveme ke klidnému, hlubokému dýchání a termovizní kamerou sledujeme ústí nosních dírek. Z pozorování je patrné, že během nádechů, kdy do nosní dutiny vstupuje vzduch o pokojové teplotě, se ústí nosních dírek prochlazuje na nižší teplotu než okolní kůže, zatímco při výdeších, kdy tělo opouští ohřátý vzduch, žádné výrazné odchylky od okolní povrchové tělesné teploty nezaznamenáváme.

Poznámky: Popsaný experiment nemusí fungovat za extrémně vysokých teplot (např. 35 °C a více), kdy je teplota nadechaného vzduchu blízká teplotě lidského těla a tedy i vzduchu v dýchací soustavě. Pokus umožňuje propojení fyziky a biologie, kdy procesy zajišťující fungování lidského těla měříme a vysvětlujeme z fyzikálního pohledu.

6. 4. 4. TEPELNÁ VODIVOST

(11) Tepelná vodivost plastu a kovu I. [1584]

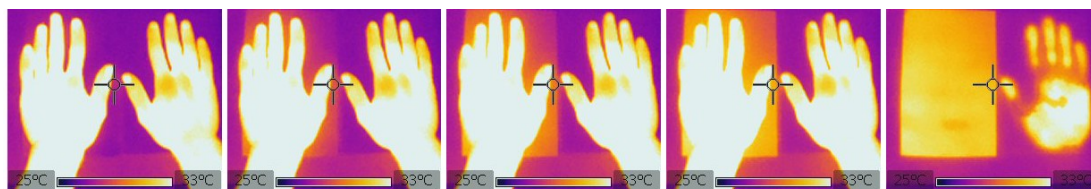
KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E1

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMOVIZNÍ KAMERA, KOVOVÁ A PLASTOVÁ DESTIČKA PŘIBLIŽNĚ STEJNÝCH ROZMĚRŮ

Budeme vizualizovat prohřívání kovové a plastové destičky; cílem je poukázat na rozdílnou tepelnou vodivost těchto materiálů. Veličina, která popisuje schopnost látky vést teplo, se nazývá součinitel tepelné vodivosti λ , [λ] = $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, a sama lehce závisí na teplotě. Pro velmi dobré tepelné vodiče (kovy) dosahuje hodnot desítek až stovek wattů na metr a kelvin, nejlepší tepelné izolanty (některé plasty nebo vzduch) vykazují tepelnou vodivost cca 0,02–0,05 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$.

Při provádění experimentu položíme současně jednu dlaň na kovovou a druhou dlaň na plastovou destičku a necháme je na destičkách po dobu cca 20 sekund položené; přitom sledujeme celou situaci termovizní kamerou. Zatímco kovová destička se za tuto dobu téměř rovnoměrně prohřeje, plastová zvýší svoji teplotu pouze v místě kontaktu s přiloženou dlaní – plast coby tepelný izolant neumožní prohřátí okrajových částí destičky (obr. 21).



Obrázek 21: Průběh experimentu očima termovizní kamery – vlevo kov, vpravo plast

Poznámky: Postupná změna barvy zahříváných ploch může vést k časté dezinterpretaci, že některé části destiček obsahují více tepla než jiné, tedy chybné pojetí tepla coby stavové veličiny. Je proto nezbytné zdůrazňovat, že to, co na termogramu vidíme, je rozložení teploty (!), nikoliv tepla, které pouze popisuje výměnu energie.

(12) Tepelná vodivost plastu a kovu II. [1586]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E1

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMOVIZNÍ KAMERA, KOVOVÁ A PLASTOVÁ DESTIČKA PŘIBLIŽNĚ STEJNÝCH ROZMĚRŮ, DVA KELÍMKY S LEDEM

Jde o doplnění předcházejícího experimentu, které je odlišné tím, že kovovou a plastovou destičku nebudeme dlaněmi prohřívát, ale pomocí kelímků s ledem prochlazovat. Položíme současně jeden kelímek na kovovou a druhý na plastovou destičku a po dobu cca 100 sekund sledujeme obě destičky termovizní kamerou. Zatímco kovová destička se za tuto dobu téměř rovnoměrně ochladí, plastová sníží svoji teplotu pouze v místě kontaktu s kelímkem – plast coby tepelný izolant neumožní prohřátí ochlazovaného místa přivedením tepla z okolí.

Poznámky: Velkou pozornost je třeba věnovat interpretaci experimentu. Naše vizualizace může vést k dojmu, že stejně tak, jako se materiálem šíří teplo, se jím může šířit i cosi jako „chlad“. Měli bychom si být vědomi toho, že bez dostatečného vysvětlení můžeme posílit v žácích miskoncepci, že teplo a „chlad“ jsou dva nezávislé fyzikální fenomény, pomáhající nám vysvětlovat různé jevy v různých situacích. Proto bychom měli při experimentu zdůraznit, že v případě kovové destičky nejde o „šíření chladu z kelímku“, ale o „odebírání tepla kelímkem“.

(13) Nehořlavý papír [1745]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: **E1**

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: MĚDĚNÁ TRUBIČKA, DRŽÁK NA ZAFIXOVÁNÍ TRUBIČKY VE VODOROVNÉ POLOZE, NOVINOVÝ PAPÍR, ZÁPALKY

V experimentu využijeme trubičku z mědi, kterou obalíme na jednom jejím konci novinovým papírem, jehož typická zápalná teplota je okolo 200 °C. Když poté papír vložíme do plamene zápalky (teplota více než 700 °C), nevznítí se – měděná trubička odvádí teplo dále do svého objemu dostatečně rychle na to, aby papír svoji zápalnou teplotu nepřekročil.

Poznámky: Pokud necháme zahřívat trubičku příliš dlouho, stoupne její teplota natolik, že nebude schopna odvádět dostatečné množství tepla z místa zahřívání do svých ostatních částí a papír skutečně vzplane. Dodržujte zásady bezpečné práce s ohněm. Nikdy nadržte měděnou trubičku v ruce – i její od plamene vzdálenější konec se během experimentu rychle prohřívá!

(14) Odvod tepla měděnou spirálkou [1866]

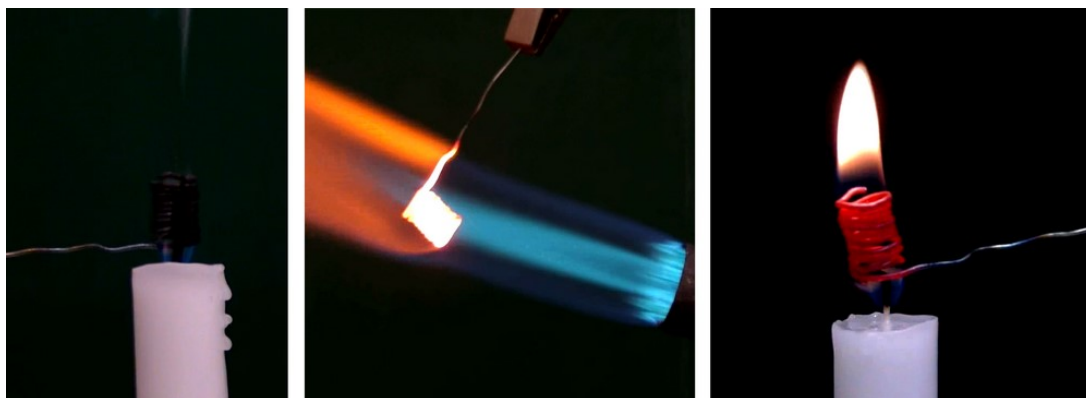
KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: **E1**, INSPIRACE: SVOBODA (2003)

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 10 MIN

POMŮCKY: MĚDĚNÝ DRÁT SMOTANÝ DO SPIRÁLY, SVÍČKA, ZÁPALKY, KLEŠTĚ, PLYNOVÝ KAHAN ČI HOŘÁK

Měď patří mezi látky s velmi dobrou tepelnou vodivostí, jinými slovy, mezi látky s velkou schopností vyrovnávat teplotní rozdíly. Pokud do plamene svíčky, jehož teplota se obvykle pohybuje mezi 700 °C a 800 °C, vložíme z mědi vyrobenou spirálku, začne tato spirálka odvádět teplo z plamene do svého objemu – plamen tedy ztrácí část své vnitřní energie a snižuje svoji teplotu. Pokles teploty plamene se projeví jeho zmenšením, případně úplným pohasnutím (obr. 22 vlevo) – plamen nadále emituje elektromagnetické záření, ale vzhledem k poklesu své teploty výhradně v infračerveném oboru.

Přesto je možné naaranžovat experiment tak, aby plamen nemizel – pak ovšem musí být teplota spirálky srovnatelná s teplotou plamene, případně vyšší. Jestliže tedy spirálku předejeme plynovým hořákem tak, aby se rozžhavía doruda (obr. 22 uprostřed), můžeme dosáhnout i stavu, kdy spirálka předává teplo plamenu; žádné podstatné změny jeho tvaru či velikosti pak již nepozorujeme (obr. 22 vpravo).



Obrázek 22: Vlevo spirálka o pokojové teplotě vložená do plamene, uprostřed nahřívání spirálky, vpravo nahřátá spirálka vložená do plamene

Poznámky: Nejsnazším způsobem výroby spirálky je namotání měděného drátu na válcový předmět (např. tužku). Při nahřívání spirálky plynovým hořákem ve druhé části experimentu je třeba vyčkat, dokud se spirálka viditelně nerozžhaví, poté ji ale v plamenu příliš dlouho nenechávat – při delším pobytu v plamenu hořáku se mohou některé části spirálky přiblížit k teplotě tání mědi (1085 °C), spirálka se může snadněji lámat, deformovat či tavit.

(15) Porovnání tepelné vodivosti mědi, hliníku a mosazi [1652]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E5

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMOCITLIVÁ FOLIE S TEPLOTNÍM ROZSAHEM 25 °C AŽ 30 °C, TŘI PLECHY Z RŮZNÝCH KOVŮ O STEJNÝCH ROZMĚRECH, NÁDOBKA NA HORKOU VODU, RYCHLOVARNÁ KONVICE

S využitím termocitlivých folií porovnáme rozdílnou dynamiku vedení tepla ve třech různých kovech. Ve vzorovém experimentu byly použity 0,3 mm tlusté plechy z mědi, hliníku a mosazi o shodných rozměrech. Plechy opatřené termocitlivými foliemi upevníme rovnoběžně vedle sebe a ve svislé poloze uchytníme do laboratorního stojanu tak, aby byly dolní konce plechů ve výšce několika centimetrů nad stolem. Pod tyto konce postavíme nádobku a nalijeme do ní teplou vodu tak, aby smáčela konce plechů. Pozorujeme, jak termocitlivé folie mění svoji barvu. To, jakou teplotu jednotlivé barvy představují, vždy závisí na konkrétním typu folie. Exmplář použitý ve vzorovém experimentu je za teploty nižší než 25 °C zbarven černě. Při růstu teploty v intervalu 25 °C až 30 °C mění svoji barvu postupně na hnědou, zelenou, modrou až sytě modrou, která nakonec při překročení teploty 30 °C přechází opět do černé. Z výsledku experimentu (obr. 23) je tedy patrné, že z uvedených kovů vede teplo nejlépe měď a nejhůře mosaz.



Obrázek 23: Výsledek experimentu – zleva měď, hliník a mosaz

Poznámky: Je vhodné, aby přiléváná voda nebyla vroucí, postačuje například teplota 60 °C. Při vyšších teplotách již z hladiny uniká velké množství horké páry, jejíž proudění směrem vzhůru může měření termocitlivými foliemi ovlivnit a znevěrohodnit. Je-li pokus prováděn v létě, je dobré se přesvědčit, že teplota v učebně je nižší než dolní hranice citlivosti folie (zde 25 °C). Pokud je v učebně tepleji, zbarví se folie již před pokusem podle aktuální teploty a pokus může být méně průkazný.

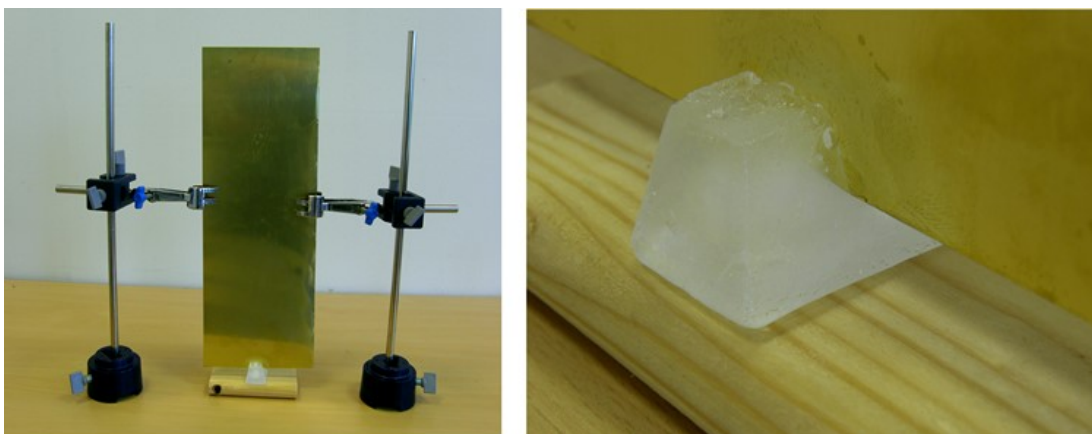
(16) Řezání kostek ledu [1676]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: **E2**, INSPIRACE: XLED TECHNOLOGY (B.R.)

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: DVĚ STEJNÉ KOSTKY LEDU, MOSAZNÝ A MĚDĚNÝ PLECH STEJNÝCH ROZMĚRŮ, IZOLUJÍCÍ PODLOŽKA (DŘEVĚNÝ ŠPALÍK, POLYSTYREN), V PŘÍPADĚ POTŘEBY LABORATORNÍ STOJANY

Tento experiment je analogický předcházejícímu pokusu, ale nevyžaduje použití termocitlivých folií. Obě kostky ledu položíme na izolující podložku a nad ně umístíme oba plechy tak, aby na kostku tlačily kolmo svou kratší hranou (obr. 24; plech není v držácích upevněn, pouze se o ně opírá, aby zůstal ve vertikální poloze). Nyní necháme kostky rozříznout působením vlastní tíhy plechu. Měděný plech proniká ledem výrazně rychleji ve srovnání s plechem mosazným – měď má zhruba třikrát lepší tepelnou vodivost než mosaz, takže měděný plech je schopen odevzdávat do svých chladnějších částí mnohem více tepla, což urychluje tání ledu.



Obrázek 24: Uspořádání experimentu

Poznámky: Experiment můžeme provést pochopitelně i bez stojanů tak, že vezmeme plech do ruky a za použití síly naší ruky začneme kostku rozřezávat. V takovém případě je ale obtížné zajistit, aby působící síla byla v čase stálá (a tedy srovnatelná pro oba plechy). Kromě mědi a mosazi samozřejmě můžeme použít i jiné materiály – železo, hliník apod. Je ale důležité zajistit, aby oba plechy měly přibližně stejnou hmotnost. V opačném případě se snadno potkáme s přirozeným názorem žáků, že rychleji se bude prořezávat těžší plech. Zvolíme-li právě dvojici mosaz a měď jako ve vzorovém experimentu, stačí zajistit stejné rozměry plechů – hustota mosazi a mědi je téměř identická.

(17) Davyho bezpečnostní kahan [1867]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: **E1**, INSPIRACE: KOPECKÁ (2012)

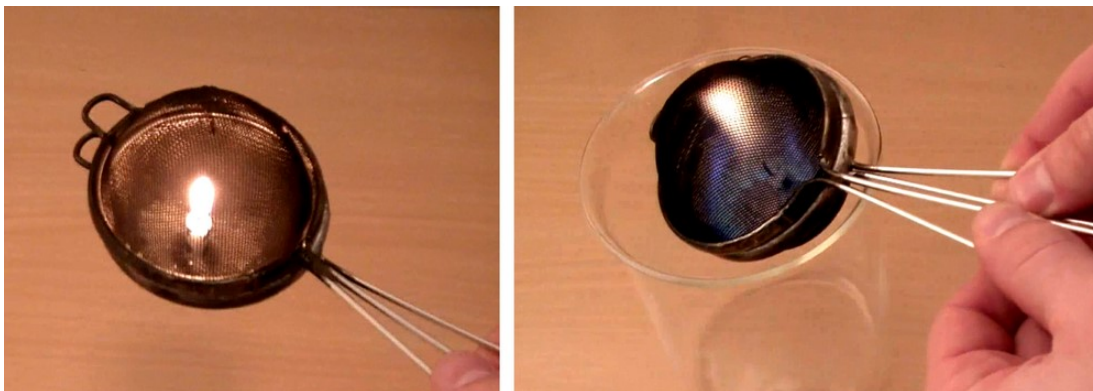
ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: DVĚ IDENTICKÁ KOVOVÁ KUCHYŇSKÁ SÍTKA, PLYN DO ZAPALOVAČŮ (TYPICKY BUTAN), DORTOVÁ SVÍČKA, ZÁPALKY, PRŮHLEDNÁ SKLENĚNÁ KÁDINKA, KLEŠTĚ, ŠPEJLE

Cílem experimentu je demonstrovat zásadní roli tepelné vodivosti kovů ve fungování bezpečnostního kahanu, který poprvé zkonstruoval r. 1815 anglický fyzik a chemik Humphry Davy. Jeho kahan byl sestaven tak, aby ochránil horníky před explozemi důlních plynů, které tvoří se vzduchem třaskavou směs a jejichž vznícení obvykle iniciovaly hornické kahany s otevřeným plamenem. Davyho elegantní řešení spočívá v uzavření plamene do kovové klece – protože kov intenzivně odváděl teplo od plamene, zabráňovala tato konstrukce tomu, aby teplota v okolí plamene překročila zápalnou teplotu třaskavé směsi. V našem pokusu nahradíme kahan svíčkou, důlní plyn butanem a kovovou klec dvěma spojenými kuchyňskými sítka (obr. 25 vlevo).

Je vhodné rozdělit experiment na dvě části – v první vstříkneme do kádinky malé množství butanu, uchopíme zapálenou svíčku představující kahan s otevřeným plamenem do kleští a přiblížíme ji k ústí kádinky; plyn prudce vzplane. Ve druhé části se zaměříme na model Davyho bezpečnostního kahanu – průběh pokusu bude stejný, pouze svíčku po zapálení umístíme do kovové klece tvořené kuchyňskými sítka. Vložíme-li tuto klec do kádinky s butanem, vzplane plyn pouze v malém objemu mezi

sítky (obr. 25 vpravo), nikoliv ale ve zbytku kádinky – k masivní explozi jako v případě otevřeného plamene nedojde.



Obrázek 25: Model Davyho bezpečnostního kahanu

Poznámky: Pro úspěšné provedení experimentu je nezbytné držet sítku těsně u sebe tak, aby mezi nimi nevznikala mezera. Jakákoliv netěsnost kovové klece může vést ke vzplanutí plynu v kádince.

V zásadě je možné vynechat první část experimentu a ukazovat pouze funkci Davyho kahanu, méně tak ale vynikne role tepelné vodivosti jako hlavního fyzikálního principu, který chceme demonstrovat

Fakt, že v případě Davyho kahanu vzplane plyn pouze uvnitř klece, někdy studenti vysvětlují tím, že většina plynu už jednoduše nádobku opustila a nemá v ní tedy co hořet. V takovém případě je možné vyzkoušet, že i po vyjmutí Davyho kahanu z kádinky v ní lze zbylý plyn špejlí zapálit.

(18) Tepelné stopy kolem nás [1878]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E4

ODHADOVANÝ ČAS: BEZ PŘÍPRAVY, PROVEDENÍ DLE ZAUJETÍ ŽÁKŮ

POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, DALŠÍ PŘEDMĚTY DLE UVÁŽENÍ

Jednoduchá sada experimentů si klade za cíl ukázat, jaké tepelné stopy po sobě jako lidé zanecháváme v našem okolí. Průměrná vnitřní teplota lidského organismu se pohybuje v okolí 37 °C, na různých částech těla ovšem můžeme naměřit značně rozdílnou teplotu povrchovou – zejména na periferiích, jako jsou konečky prstů, mohou být naměřené hodnoty i zdatně nižší. V každém případě je ale povrchová teplota lidského těla obvykle vyšší než teplota pokojová, takže při kontaktu s předměty o pokojové teplotě dochází díky tepelné výměně k jejich zahřátí. Detekovat takovéto zahřátí je snadné v případě, kdy je předmětem tepelný izolant a zvýšení teploty je patrné pouze v místě jeho dotyku s lidským tělem, vzniká zřetelná tepelná stopa. V případě dobrých vodičů tepla je teplo z místa dotyku okamžitě rozváděno do celého objemu vodiče a ohřev tělesa jako celku může být téměř neměřitelný. Druhotným cílem

experimentu tedy může být právě kvalitativní odlišení tepelných vodičů a izolantů podle toho, jakým způsobem (ne)uchovávají tepelné stopy.

Experiment může mít rozličné podoby, standardizovaný postup tedy není uveden; spíše jsou shrnuty některé náměty na jevy, které lze termovizní kamerou pozorovat:

- tepelné otisky dlaní či chodidel na tepelně vodivém a tepelně izolujícím podkladu
- tepelné otisky na židli, ze které právě někdo vstal, případně na zdi, o kterou se někdo opíral
- tepelné stopy na klice nedávno otevřených dveří, na vodovodních kohoutcích, na nedávno odložené knize, plastové lahvi apod.
- tepelné stopy na aktuálně používané počítačové myši či klávesnici (podrobněji zpracováno ve vzorovém experimentu) atd.

(19) Chladnutí vody v termoizolačním hrnku [1885]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E5

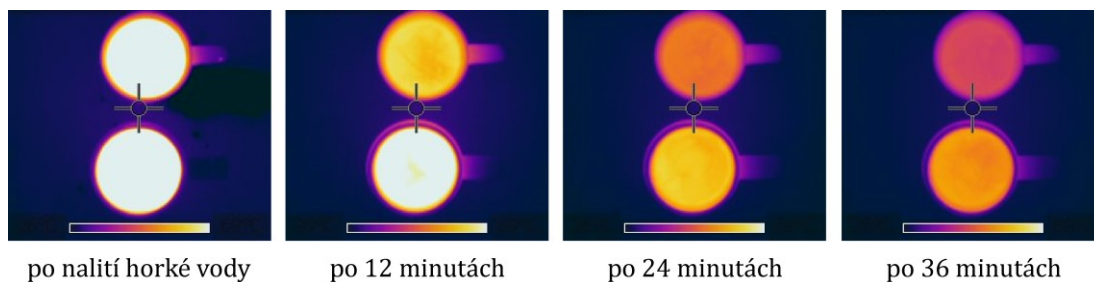
ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ AŽ 45 MIN

POMŮCKY: TERMOVIZNÍ KAMERA, RYCHLOVARNÁ KONVICE, TERMOIZOLAČNÍ A OBYČEJNÝ HRNEK SHODNÝCH ROZMĚRŮ

Pomocí termovizní kamery porovnáme rychlost chladnutí stejného objemu vody v obyčejném a termoizolačním hrnku, jehož úkolem je obvykle minimalizovat tepelnou výměnu mezi vnitřní částí hrnku a okolím.

V našem experimentu si připravíme v rychlovarné konvici horkou vodu, stejný objem nalijeme současně do obou hrnků a sledujeme vývoj teploty termovizní kamerou. Obr. 26, který tento vývoj zachycuje, potvrzuje očekávaný fakt, že voda v běžném hrnku chladne rychleji – zatímco tento hrnek odevzdává energii do okolí vedením, prouděním i zářením, u termoizolačního hrnku je jeho konstrukcí do značné míry potlačeno jak vedení tepla, tak vyzařování.

Poznámky: Aby byl experiment dostatečně průkazný, snažíme se vybrat takovou dvojici hrnků, která bude mít nejen stejný objem, ale ideálně i shodné rozměry – odpadá tak diskuse, jak povrch nádoby ovlivňuje vedení tepla, jak souvisí intenzita proudění s obsahem plochy hladiny apod. Zejména v prvních minutách experimentu se s termovizní kamerou nepřibližujeme k hladině kapalin na méně jak 20 cm, abychom se vyhnuli kondenzaci vody na čipu kamery a jeho následnému zamlžení a zvlhnutí.



Obrázek 26: Chladnutí vody v obyčejném (nahore) a termoizolačním (dole) hrnku

6. 4. 5. TEPELNÁ VÝMĚNA PROUDĚNÍM A ZÁŘENÍM

(20) Proudění v rychlovarné konvici [1894]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E4

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, RYCHLOVARNÁ KONVICE

Pomocí termovizní kamery budeme vizualizovat proudění vody v rychlovarné konvici. Proudění v kapalinách vzniká jako důsledek rozdílných hustot, které mají části kapaliny o různé teplotě – voda o vyšší teplotě vlivem objemové teplotní roztažnosti snižuje svoji hustotu a stoupá tak v tíhovém poli vzhůru (vzhledem k tzv. anomálii vody neplatí v teplotním intervalu 0 °C až 4 °C).

Během experimentu sledujeme pomocí termovizní kamery rychlovarnou konvici, ve které se ohřívá voda, a to ze dvou pohledů – seshora a z boku. Zatímco pohled seshora umožňuje při otevřeném víku konvice sledovat na hladině výrony prohřáté vody stoupající od topné spirály, boční pohled ukazuje, že ačkoliv je tato spirála umístěna u dna, nejrychleji se vlivem proudění prohřívá voda u hladiny.

Poznámky: Pro názornost je výhodné použít konvici, ve které spirála není skryta pod kovovým dnem, ale je fyzicky viditelná. Při snímání hladiny seshora se k ní s termovizní kamerou nepřibližujeme na méně jak 20 cm, abychom se vyhnuli kondenzaci vody na čipu kamery a jeho následnému zamlžení a zvlhnutí.

(21) Porovnání tepelné emise klasické a úsporné žárovky [1590]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E5

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 10 MIN

POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, DVĚ IDENTICKÉ LAMPÍČKY, KLASICKÁ ŽÁROVKA A KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA POSKYTUJÍCÍ STEJNÝ SVĚTELNÝ TOK (VE VZOROVÉM PŘÍPADĚ 60 W A 13 W, SVĚTELNÝ TOK V OBOU PŘÍPADECH 700 lm)

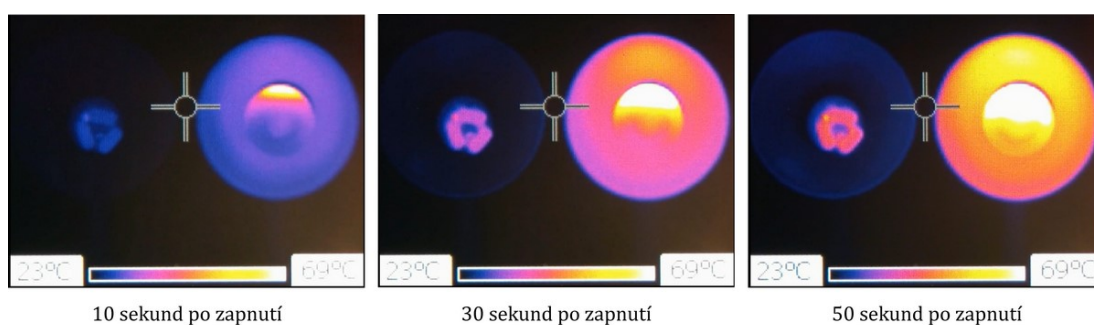
Ukážeme, jakým způsobem emitují tepelné záření klasická a úsporná žárovka poskytující stejný světelný tok. Zatímco v klasické žárovce je světlo získáváno emisí z wolframového vlákna zahřátého průchodem elektrického proudu, nízkotlaké kompaktní zářivky (nesprávně označované jako úsporné žárovky) pracují na principu doutnavého výboje v parách rtuti, který produkuje ultrafialové záření; to je pak pomocí luminoforu přeměňováno na záření viditelné.

Při provádění experimentu umístíme obě lampičky se žárovkami do vodorovné vzdálenosti cca 25 cm od termovizní kamery, obě je současně zapneme a několik minut sledujeme prohřívání obou zdrojů světla i jejich okolí termovizní kamerou. Ačkoliv oba světelné zdroje poskytují srovnatelný světelný tok, klasická žárovka emituje významně více energie ve formě tepla – její vlastní povrch i povrch blízké konstrukce zvýšil svoji teplotu mnohem výrazněji než v případě kompaktní zářivky (obr. 27).

Poznámky: Pro srovnání efektivity zdrojů světla se obvykle používá tzv. světelná účinnost zdroje K , $[K] = \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$, která vyjadřuje, jaký světelný tok zdroj světla poskytuje na 1 W svého příkonu. Hodnoty světelné účinnosti můžeme odhadnout z údajů, které výrobci světelných zdrojů udávají na obalech svých produktů; ve

vzorovém experimentu používáme klasickou žárovku s nominálními parametry 700 lm/60 W (tj. $K \approx 12 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$) a kompaktní zářivku 700 lm/13 W ($K \approx 54 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$). Z tohoto srovnání je patrné, že klasická žárovka posílá z každého wattu svého příkonu do světelného oboru výrazně méně energie než kompaktní zářivka; o to více ovšem emituje v infračervené oblasti spektra.

Při pozorném sledování ohřevu baňky klasické žárovky si lze všimnout toho, že její teplota roste odshora, spodní část se ohřívá jako poslední. Z této situace lze udělat pro žáky problémovou úlohu – proč zahřívání probíhá právě takto? Zopakujeme-li experiment vícekrát, zjistíme, že nejde o nahodilý jev, ale skutečně o kauzální souvislost. Žáci pravděpodobně přijdou po nějaké chvilce se správným vysvětlením – tj. s tím, že plyn uvnitř baňky (ochranná atmosféra vlákna) se od vlákna ohřívá, snižuje svoji hustotu a proudí vzhůru, kde tak roste teplota nejrychleji. Dostáváme tak učebnicový příklad tepelné výměny prouděním.



Obrázek 27: Prohřívání klasické žárovky (vždy vpravo) a kompaktní zářivky (vlevo)

(22) Pohlcování tepelného záření povrchy různých barev [1653]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E5, INSPIRACE: XIE (2012)

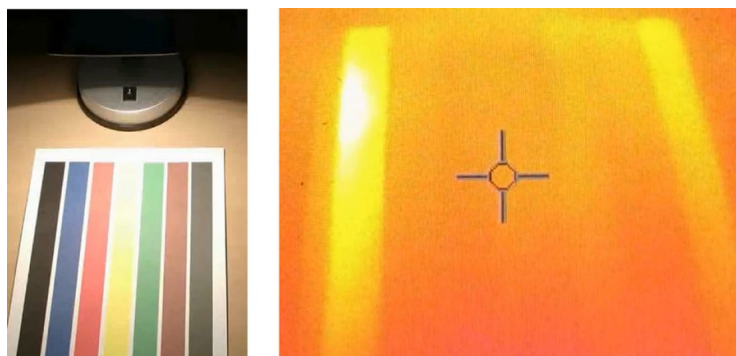
ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMOVIZNÍ KAMERA, ČTVRTKA S VYTIŠTĚNÝMI PRUHY RŮZNÝCH BAREV, KLASICKÁ ŽÁROVKA

Ukážeme, že různé části papírové čtvrtky se zahřívají různě rychle v závislosti na tom, jakou barvou jsou opatřeny. Obecně lze říct, že tmavé povrchy pohlcují tepelné záření více než povrchy světlých odstínů, které záření převážně odrážejí; v důsledku toho se tedy tmavé povrchy zahřívají rychleji.

K experimentování využijeme čtvrtku s vytištěnými barevnými pruhy – položíme ji na stůl, ze vzdálenosti několika centimetrů na ni svítíme klasickou žárovkou a termovizní kamerou pozorujeme, jakým způsobem se mění teplota jednotlivých barevných proužků (obr. 28). Je patrné, že významněji se zahřívají pouze dva nejtmaší odstíny (černá a šedá), zatímco plochy ostatních barev nárůst teploty téměř nevykazují.

Poznámky: Při vytváření barevných pruhů je vhodné umístit tmavé, nejvíce se zahřívající pruhy na okraje čtvrtky. Pokud je umístíme doprostřed, riskujeme oprávněné reakce žáků, že tyto barvy se zahřívají nejvýrazněji jednoduše proto, že jsou žárovce nejbližší. Pokud zvolíme uspořádání jako ve vzorovém videu, nemůže se tato argumentace objevit.



Obrázek 28: Čtvrťka s barevnými pruhy ve viditelném i infračerveném oboru

(23) Tepelné účinky laserového svazku [1720]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E4

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, ČERNÁ POLYSTYRENOVÁ DESTIČKA, LASEROVÉ UKAZOVÁTKO (5 mW, 532 nm) S DRŽÁKEM, KTERÝ HO ZAFIXUJE VE VODOROVNÉ POLOZE

Pokud se ve školním prostředí hovoří o tepelných účincích elektromagnetického záření, obvykle se tak děje v souvislosti se zářením infračerveným, které podle Wienova posunovacího zákona převládá ve spektru vyzařovaném předměty o pokojové teplotě. Reálně je ovšem absorpce záření libovolné vlnové délky spojena se zvýšením teploty absorbujícího předmětu – cílem tohoto experimentu je ukázat, že také viditelná komponenta elektromagnetického záření je nositelem energie, jejíž absorpce vede k zahřívání předmětů.

Pokud nám to typ termovizní kamery umožňuje, přepneme kameru před vlastním experimentem do režimu maximálních hodnot, který měří teplotu nejteplejšího místa ve vyznačené části snímku. Zafixujeme laserové ukazovátko vůči polystyrenové destičce tak, aby nepřerušovaně svítilo stále do jednoho místa (obr. 29), a toto místo termovizní kamerou sledujeme. V řádu několika sekund až desítek sekund zde může teplota lokálně vystoupat až na 100 °C.

Poznámky: Při měření je samozřejmě možné použít také destičku z jiného izolujícího materiálu, obecně lze doporučit plastové předměty s černě zbarveným matným povrchem. Je třeba počítat s tím, že vlivem vysoké teploty se může plast lokálně zdeformovat – natavit, zohýbat apod.

Představa, že laserový svazek má měřitelné tepelné účinky, je studentům vlastní – zčásti i díky vlivu vědeckofantastických filmů a knih. Když si ale zkusíme stejným laserovým ukazovátkem, se kterým jsme prováděli experiment, posvítit například na ruku, žádné zvýšení teploty necítíme – a to přesto, že plast se zahřívá k teplotě 100 °C. Přirozenou otázkou na studenty tedy je, jak by tento rozpor vysvětlili. Rozřešení se skrývá v rozdílné tepelné vodivosti plastu a kůže – zatímco v případě plastu, výborného izolantu, se veškerá dopadající energie koncentruje do velmi malé plochy, lidská kůže částečně rozvádí dodané teplo po svém povrchu a k výraznějšímu lokálnímu prohřátí tedy nedochází; svoji roli hraje v souladu s experimentem (22) také barva povrchu.



Obrázek 29: Uspořádání experimentu

(24) Propustnost plastů pro tepelné záření [1627]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: **E4**

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

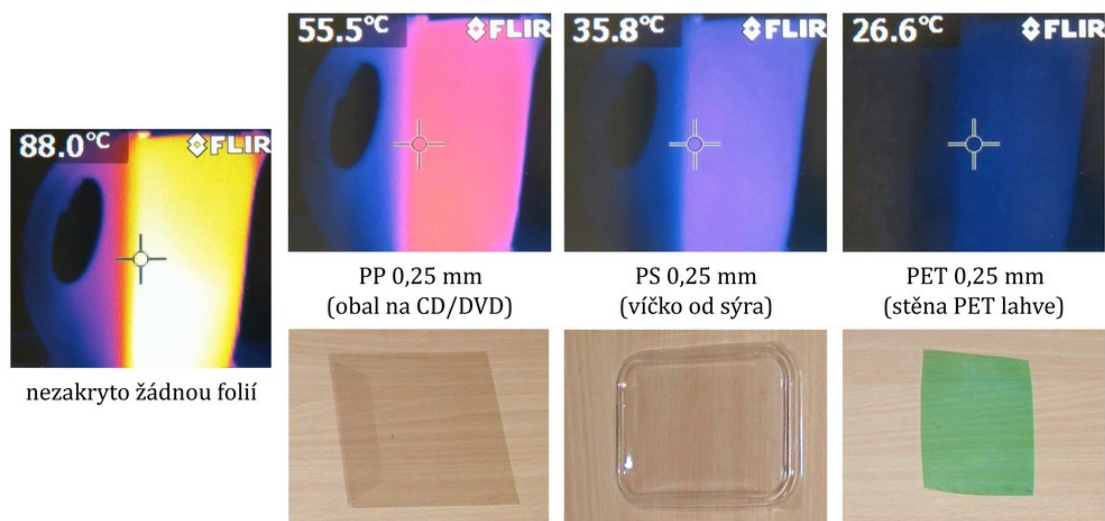
POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, PLASTOVÉ FILTRY (RŮZNÉ MATERIÁLY STEJNÉ TLOUŠŤKY), MIKROMETRICKÉ MĚŘÍTKO, PŘEDMĚT O STÁLÉ, ZNATELNĚ VYŠŠÍ TEPLOTĚ, NEŽ JE TEPLOTA OKOLÍ

Experiment si klade za cíl pomocí termovizní kamery demonstrovat rozdílnou propustnost různých plastů pro tepelné záření. Obecně lze říci, že toto záření emitované studovaným předmětem může s libovolným materiálem, na jehož povrch dopadá, interagovat třemi způsoby – buď je materiálem odraženo, pohlceno, nebo jím prochází. V reálné situaci obvykle nastávají všechny tyto tři jevy současně a o významu každého z nich rozhoduje vlnová délka záření společně s vlastnostmi materiálu.

V tomto pokusu porovnáme chování tří různých plastových folií přibližně stejné tloušťky, konkrétně polypropylenu (PP), polystyrenu (PS) a polyethylentereftalátu (PET). Folie jsou ve vzorovém experimentu realizovány předměty každodenní spotřeby – víčkem od sýra, obalem na DVD a stěnou PET lahve; jejich shodná tloušťka přibližně 0,25 mm byla před experimentem ověřena pomocí mikrometrického měřítka.

Sledovaným předmětem emitujícím záření bude rychlovarná konvice, jejíž víko necháme otevřené a zajistíme tak kontinuální var vody při teplotě blízké 100 °C. Mezi konvicí a termovizní kamerou vkládáme jednotlivé filtry a zaznamenáváme snímky pro pozdější porovnání, které nabízí obr. 30. Je patrné, že ze tří srovnávaných materiálů pohlcuje nejvíce záření polyethylentereftalát, nejméně pak polypropylen.

Poznámky: Lze ukázat, že použití folie z PET lahve bude dávat pro různé barvy lahve takřka identické výsledky. Rychlovarná konvice vyzařuje vzhledem ke své teplotě dominantně ve vzdálené infračervené oblasti, emitované záření je tedy především infračervené a barva folie tak, jak ji vnímáme ve viditelném spektru, jeho průchod v zásadě neovlivňuje.



Obrázek 30: Propustnost PP, PS a PET pro tepelné záření

(25) Pohlcování tepelného záření plastovými filtry [1743] 📄 🖨️

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E4, INSPIRACE: FYZWEB (B.R.)

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 10 MIN

POMŮCKY: TERMOVIZNÍ KAMERA, PLASTOVÉ FILTRY (CCA 10 KS), PŘEDMĚT O STÁLÉ, ZNATELNĚ VYŠŠÍ TEPLOTĚ, NEŽ JE TEPLOTA OKOLÍ

Cílem experimentu je proměřit, jak je tepelné záření emitované předmětem zeslabováno při průchodu plastovými filtry. Pokud záření o počáteční intenzitě M_{e0} prochází materiálem tloušťky d , je v něm pohlcováno a jeho intenzita M_e exponenciálně klesá v závislosti na tloušťce materiálu podle vztahu:

$$M_e(d) = M_{e0}e^{-\beta d}, \quad (3)$$

kde β je tzv. absorpční koeficient charakterizující materiál; vztah (3) bývá označován jako Lambertův-Beerův zákon. Protože máme k dispozici termovizní kameru, můžeme převést měření intenzity M_e na měření povrchové teploty T předmětu o emisivitě ε , které spojuje Stefanův-Boltzmannův zákon vztahem

$$M_e = \varepsilon\sigma T^4, \quad (4)$$

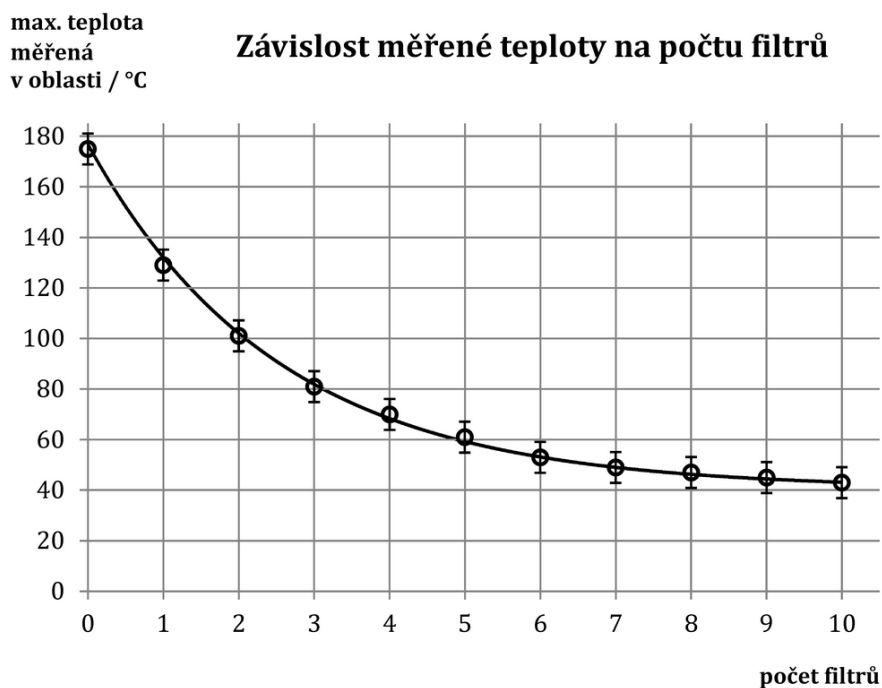
kde σ je Stefanova-Boltzmannova konstanta. Spojením vztahů (3) a (4) dostáváme hledanou teoretickou závislost teploty měřené termovizní kamerou na tloušťce materiálu d , který mezi kameru a zdroj záření vložíme:

$$T(d) = T_0e^{-\frac{1}{4}\beta d} \quad (5)$$

Podobně jako v případě intenzity záření bychom tedy měli očekávat exponenciální pokles měřené teploty, různou tloušťku materiálu d budeme realizovat zvyšováním počtu plastových folií umístěných mezi zdroj záření a termovizní kameru.

Ve vzorovém experimentu byla jako předmět emitující tepelné záření použita klasická žárovka s ustálenou povrchovou teplotou, plastové folie velikosti 4x5 cm² byly vystříhány z polypropylenového obalu. Před začátkem měření termovizní kameru

zafixujeme vůči studovanému předmětu a poznamenáme si teplotu, kterou kamera měří, není-li před ní vložen žádný filtr. Postupně vkládáme rostoucí počet filtrů a zaznamenáváme měřené hodnoty teploty; výsledek měření ukazuje graf na obr. 31 s proloženou exponenciální závislostí.



Obrázek 31: Vzorově zpracovaná závislost měřené povrchové teploty předmětu na počtu filtrů vložených mezi předmět a termovizní kameru

Poznámky: Stejně jako v experimentu 23 budeme termovizní kameru používat v režimu maximálních hodnot.

Aby bylo možné pokládat povrchovou teplotu žárovky za přibližně stálou, je nezbytné ji nechat svítit alespoň 20 minut před začátkem experimentu, aby se stačila ustálit dynamická rovnováha.

Vztah (5) je značným zjednodušením skutečné situace. Předpokládá, že měřený objekt lze modelovat tzv. šedým tělesem, zanedbává záření okolí, atmosféry i vlastní záření čipu termokamery atd. Dále je zřejmé, že při zvyšování tloušťky materiálu k nekonečnu se měřená teplota rozhodně nebude blížit hodnotě 0 K, jak by teoretický model dle vztahu (5) napovídal, nýbrž asymptoticky zamíří k teplotě pokojové. Výše uvedené odvození je tedy třeba brát jako ilustrační a jeho hlavním cílem je při zanedbání okrajových vlivů ukázat exponenciální charakter studované závislosti.

Chceme-li zdůraznit, že v experimentu nejde pouze o pohlcování viditelného světla, ale také – a zejména – o pohlcování infračerveného záření, použijeme jako studovaný předmět těleso, které viditelné záření nevydává; k tomuto účelu může posloužit například rychlovarná konvice, která při maximálním naplnění vodou a otevřeném víku bránícím vypnutí velmi dobře udržuje konstantní povrchovou teplotu.

(26) Pohlcování tepelného záření vzduchem [1761]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E4, INSPIRACE: BIOFYZIKÁLNÍ ÚSTAV LF MU (B.R.)

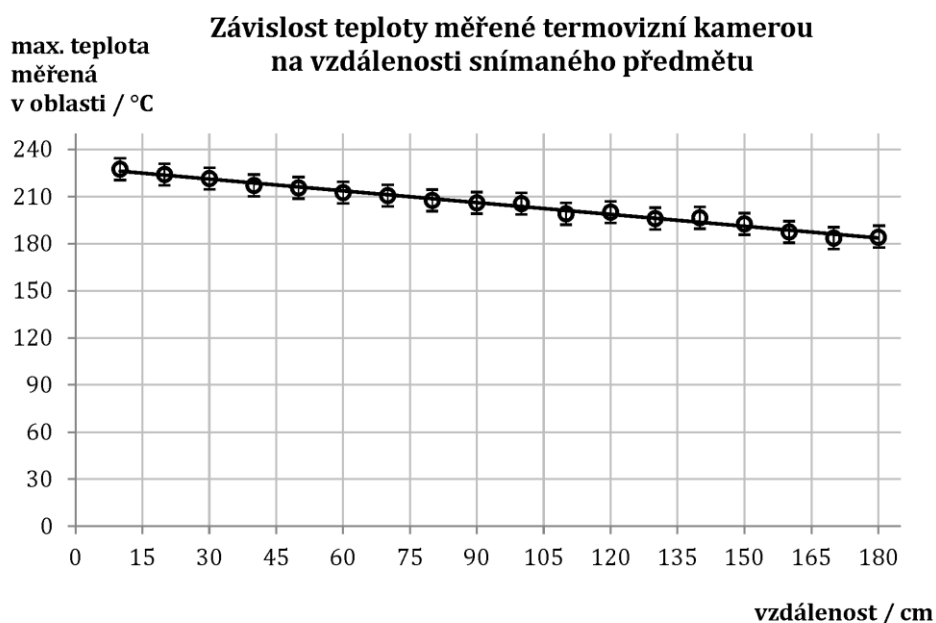
ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ 10 - 15 MIN

POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA; PŘEDMĚT O STÁLÉ, ZNATELNĚ VYŠŠÍ TEPLOTĚ, NEŽ JE TEPLOTA OKOLÍ; DÉLKOVÉ MĚŘIDLO (SVINOVACÍ METR, PÁSMO)

Pokus přímo navazuje na předcházející experiment – jeho cílem je ukázat, že podobně jako plastové filtry pohlcuje emitované záření také vzduch oddělující předmět od termovizní kamery. Budeme-li tedy čip kamery vzdalovat od zahřátého předmětu, bude klesat intenzita záření, které do čipu dopadá, a s ní i měřená teplota. Jinými slovy, vztah (5) odvozený pro plastové filtry můžeme v kontextu tohoto experimentu nahlížet tak, že d představuje vzdálenost mezi kamerou a předmětem a β je absorpční koeficient pohlcujícího prostředí – vzduchu.

Stejně jako v předcházejícím experimentu byla jako předmět emitující tepelné záření použita klasická žárovka s ustálenou povrchovou teplotou. Termovizní kamerou změříme tuto teplotu ze vzdálenosti 10 cm, zapíšeme ji a s krokem 10 cm vzdálenost postupně zvětšujeme; zaznamenané přibližně 15 hodnot. Vzorově naměřené body proložené exponenciální závislostí (jež se v dané situaci blíží lineárnímu průběhu) ukazuje graf na obr. 32.

Poznámky: Aktuální zůstávají všechny poznámky uvedené u předcházejícího experimentu. Zajímavé může být zamyšlení nad tím, jak by vypadala zjišťovaná závislost ve chvíli, kdy bychom pozorovali nikoliv těleso s vyšší než pokojovou teplotou, ale naopak předmět výrazně chladnější – například o teplotě $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Úvahou dospějeme k závěru, že pokud mezi takovýto předmět a kameru budeme „umístovat“ silnější vrstvu vzduchu, bude růst role jeho vlastního záření a s rostoucí vzdáleností bude tedy měřená teplota růst, až se v limitě nekonečné vzdálenosti asymptoticky přimkne k teplotě pokojové.



Obrázek 32: Vzorově zpracovaná závislost měřené povrchové teploty předmětu na jeho vzdálenosti od termovizní kamery

6. 4. 6. TÁNÍ A TUHNUTÍ

(27) Teplota tání pentahydrátu thiosíranu sodného [1615] ■

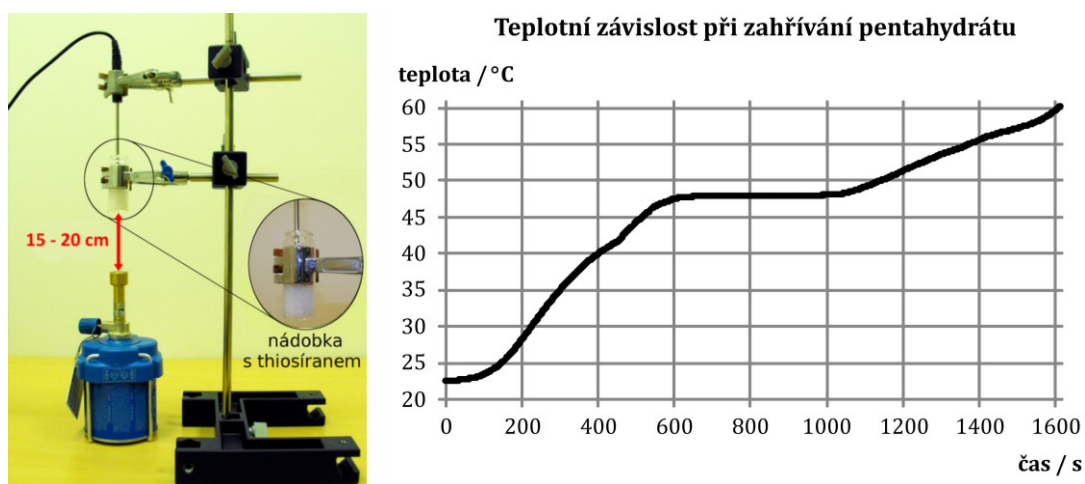
KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E1

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 10 MIN, PROVEDENÍ AŽ 30 MIN

POMŮCKY: PENTAHYDRÁT THIOSÍRANU SODNÉHO, SKLENĚNÁ NÁDOBK A NEBO ZKUMAVKA, LABORATORNÍ STOJAN S DRŽÁKY, TEPLOTNÍ ČIDLO SPOLUPRACUJÍCÍ S POČÍTAČEM, KAHAN NEBO SVÍČKA, ZÁPALKY.

Teplota, při které pevná krystalická látka mění své skupenství na kapalné, se nazývá teplotou tání. Jde o jednu ze základních fyzikálních charakteristik krystalických látek – látky amorfni přecházejí při zahřívání do kapalného skupenství postupným poklesem své viskozity. Jestliže je pevná krystalická látka zahřívána, přestane se po dosažení teploty tání její teplota dále zvyšovat a veškeré dodávané teplo je využíváno na rozrušení struktury krystalické mříže. Teprve když se látka v celém svém objemu změní na kapalinu, začne se vlivem dodávaného tepla její teplota dále zvyšovat. Cílem tohoto pokusu je proměřit vývoj teploty při zahřívání pentahydrátu thiosíranu sodného a odhadnout z něj – na základě výše uvedené teorie – teplotu tání této látky.

Do skleněné nádoby odsypeme přibližně 20 gramů pentahydrátu thiosíranu sodného a umístíme ji do držáku laboratorního stojanu tak, aby bylo její dno vzdáleno od hořáku 15 – 20 cm. Čidlo upevníme tak, aby jeho měřicí prvek (špička) zůstal i po roztátí látky ponořený do vzniklé kapaliny, ale nedotýkal se stěn ani dna nádoby (obr. 33 vlevo). Velmi malým plamenem látku zahříváme, dokud její teplota nepřekročí 60 °C. Vzorově naměřenou závislost ukazuje obr. 33 vpravo, odkud můžeme teplotu tání pentahydrátu odhadnout jako přibližně 48 °C (obvykle udávaná hodnota je 48,3 °C, je však silně ovlivněna čistotou látky).



Obrázek 33: Vlevo uspořádání pokusu (tání thiosíranu), vpravo naměřená závislost

Poznámky: Pentahydrát thiosíranu sodného je bílá krystalická látka, ke které se nevztahují žádné H-věty ani P-věty¹⁰. Během zahřívání nemějte intenzitu plamene. Při intenzivním zahřívání hrozí riziko, že jev ustálení teploty při tání nebude výrazný, resp. bude pozorovatelný po kratší dobu. Budete-li zahřívát nádobku kahanem či propanbutanovým hořákem, zkontrolujte si před měřením, že tento váš zdroj tepla má dostatečné množství náplně, aby vydržel hořet alespoň 25 minut.

(28) Chladicí směs vody, ledu a soli [1614] ■

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E3

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ 5 – 10 MIN

POMŮCKY: LED, KLADÍVKO, KÁDINKA, POLYSTYRENOVÁ PODLOŽKA, KUCHYŇSKÁ SŮL, TEPLoměR

Teploty tání, resp. tuhnutí krystalických látek jsou obecně závislé na chemické čistotě látky – možné příměsi je mohou významně ovlivňovat. Teplota tuhnutí vody, resp. ledu, která je pro čistou látku za normálního tlaku 0 °C, se po přidání soli významně sníží. Jinými slovy, led začne tát i při teplotě mnohem nižší, než je 0 °C, a přitom odebírá ze svého okolí skupenské teplo tání, čímž je okolí ochlazováno.

Několik ledových kostek rozbijeme kladívkem na tříšť a tu přesypeme do kádinky. Za stálého míchání přisypáváme kuchyňskou sůl a teplotním čidlem odečítáme aktuální teplotu směsi. Tímto způsobem lze snadno dosáhnout teplot nižších než –15 °C.

Poznámky: Výhodou je použití teploměru schopného vykreslovat časovou závislost teploty, teploměr s pevným tělem také dobře poslouží při míchání. Praktickým využitím předvedeného experimentu je kromě přípravy chladicích směsí zejména využití při zimním solení namrzlých chodníků.

(29) Podchlazená kapalina [1674] ■

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E3, INSPIRACE: BÍLEK (1995)

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ AŽ 40 MIN

POMŮCKY: PENTAHYDRÁT THIOSÍRANU SODNÉHO, LABORATORNÍ VÁHY, LABORATORNÍ STOJAN S DRŽÁKY, TYČINKA, KAHAN ČI PLYNOVÝ HOŘÁK, TROJNOŽKA SE SÍTKOU, DVĚ KÁDINKY RŮZNÝCH VELIKOSTÍ (CCA 50 ML A 200 ML), TEPLOTNÍ ČIDLO SPOLUPRACUJÍCÍ S POČÍTAČEM

Cílem experimentu je proměřit teplotní závislost při tuhnutí kapalného pentahydrátu thiosíranu sodného a demonstrovat tak existenci podchlazené kapaliny, která existuje v kapalném skupenství i při teplotě nižší než je její teplota tuhnutí. Tento stav je metastabilní a při působení rušivých podnětů (otřesy, nečistoty) se zvyšuje pravděpodobnost, že látka spontánně přejde do stabilnějšího stavu, tj. zkrystalizuje do

¹⁰ Jako H-věty se označují standardní věty o nebezpečnosti chemických látek a jejich směsí, P-věty pak představují pokyny pro bezpečné zacházení s těmito látkami. Jde o nástupce dříve používaných R-vět a S-vět.

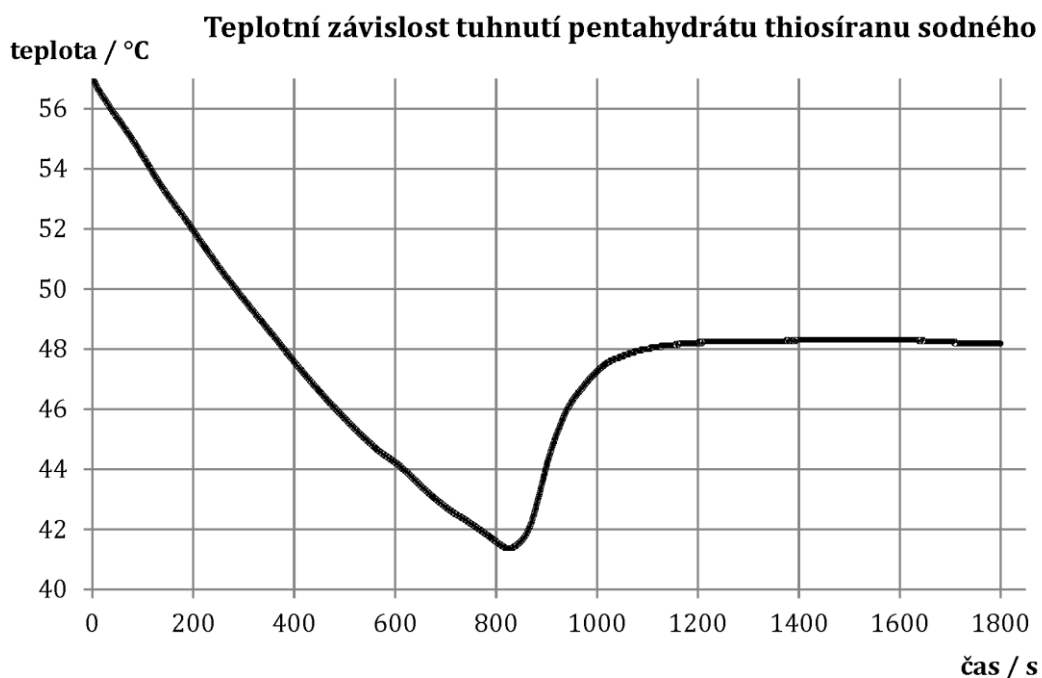
pevného skupenství. Při takovém přechodu se pak uvolní skupenské teplo, které látku ohřeje na její teplotu tuhnutí.

Budeme postupovat stejně jako v experimentu (27), pouze nebudeme zahřívát nádobku s thiosíranem přímo, ale prostřednictvím vodní lázně, kterou bude představovat voda ve větší kádince. Hořák vypneme ihned poté, co thiosíran roztaje, a necháme látku i s vodní lázní zvolna chladnout. Teprve nyní spustíme měření teploty.

Běžně udávaná teplota tuhnutí pentahydrátu je 48,3 °C. Z naměřené křivky (obr. 34) je ale patrné, že teplota látky postupně klesla pod tuto mez, přestože pentahydrát zůstával stále kapalný – stal se tedy podchlazenou kapalinou. Přibližně při teplotě 41,5 °C pak došlo k obratu – látka začala rychle tuhnout, přičemž odevzdávala do okolí skupenské teplo tuhnutí, což způsobuje růst teploty látky až na její teplotu tuhnutí.

Poznámky: Dosažená hloubka podchlazení thiosíranu velice závisí na jeho čistotě a také na čistotě kádinky, event. samotného teplotního čidla. Libovolné nečistoty mohou sloužit jako krystalizační jádra a vliv podchlazení tak výrazně snížit. Pravdou ale je, že pro pentahydrát thiosíranu sodného je tento jev tak silný, že měřitelné podchlazení zaznamenáme i za ne zcela ideálních podmínek.

Během chladnutí pentahydrátu není třeba se experimentu věnovat, může probíhat na pozadí výuky. Na konci hodiny by nám ale mělo zbýt několik minut na okomentování naměřeného grafu.



Obrázek 34: Měření teploty podchlazené kapaliny

6. 4. 7. VYPAŘOVÁNÍ A KONDENZACE

(30) Teplota varu vody [1886] ■

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E1+E5

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ CCA 10 MIN

POMŮCKY: DVA TEPLoměRY (S VÝHODOU TEPLOTNÍ ČIDLA PODPOROVANÁ POČÍTAČEM), DVĚ IDENTICKÉ NÁDOBY (HRNCE, KÁDINKY), VAŘIČ SE DVĚMA PLOTÝNKAMI ČI DVA PLYNOVÉ HOŘÁKY

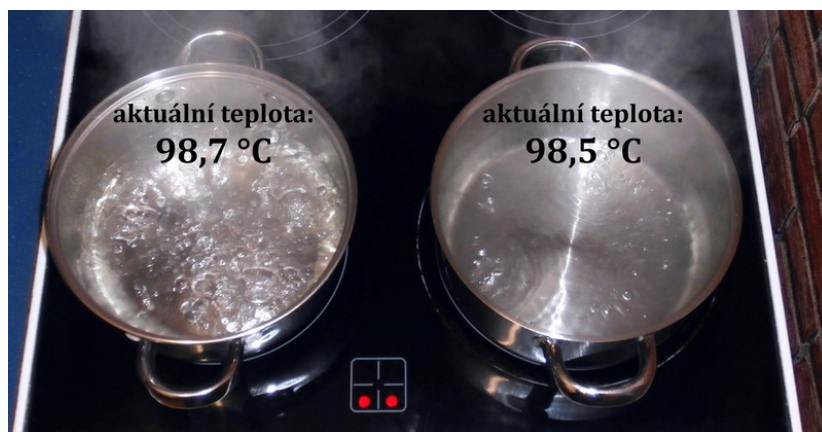
Ačkoliv s teplotou varu vody charakteristickou fyzikální veličinou popisující chování kapalin se žáci a studenti setkávají mnoho let své školní docházky, jsou s ní (jak výzkum popsany v první části práce potvrdil) spojeny některé velmi silné miskoncepce – mezi jinými přesvědčení, že teplota kontinuálně se vařící vody musí nutně překročit 100 °C. Cílem tohoto jednoduchého experimentu je přesvědčivě demonstrovat opak a rozvinout diskusi vedoucí k hlubšímu prozkoumání dalších pozorovaných jevů.

Dvě identické nádoby naplníme přibližně stejným množstvím vody a tu v obou nádobách přivedeme k varu. Nyní zajistíme, aby další dodávání tepla nádobám probíhalo s různým tepelným výkonem – pokud používáme plynové hořáky, změním intenzitu jednoho z nich, v případě plotýnek vařiče na nich nastavíme různý výkon. Naší snahou je zajistit, aby se voda v obou nádobách dále vařila, ale v jednom případě intenzivně a bouřlivě, zatímco ve druhém spíše zvolna, poklidně. Pokud jsme tohoto stavu dosáhli, ponoříme do obou nádob teplotní čidla a porovnáme naměřené teploty – ve vzorovém pokusu byly naměřeny hodnoty 98,7 °C v případě intenzivního varu a 98,5 °C v případě varu pozvolného (obr. 35). Pokud měření zopakujeme za minutu, dvě či deset, teploty se v rámci přesnosti používaných čidel nezmění.

Výsledek experimentu tedy dává hned několik informací. Zaprvé, teplota vody je během jejího varu konstantní, veškeré dodávané teplo se využívá na změnu skupenství. Zadruhé, intenzita varu neovlivňuje teplotu vody, ale pouze rychlost jejího odpařování. A konečně zatřetí – teplota varu vody v našich podmínkách, tj. v ČR typicky výše než 150 metrů nad mořem, reálně nedosahuje důvěrně známé hodnoty 100 °C.

Poznámky: Pokud chceme předvést pouze fakt, že teplota vody nepřekročí při varu 100 °C, stačí nám samozřejmě jediné čidlo a jediný hrnec, případně rychlovarná konvice; popsaná varianta ovšem umožňuje komplexnější uchopení experimentu.

Zjištění, že intenzita varu vody neovlivňuje její teplotu, bývá pro studenty leckdy překvapivé a přirozeně vede k položení otázky, čím se tedy od sebe intenzivní a pozvolný var liší, pokud ne teplotou. Jestliže se studenty dojdeme k tomu, že jde o různou rychlost odpařování kapaliny, pak je vhodné tuto myšlenku potvrdit navazujícím experimentem – zvážíme obě nádoby s vodou, kterou pak necháme s různou intenzitou po nějaký čas vřít a následně porovnáme úbytek hmotnosti v obou nádobách.



Obrázek 35: Vlevo hrnec s bouřlivě se vařící vodou, vpravo pozvolný var

(31) Určení měrného skupenského tepla varu vody [1620] 📖

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: **E1+E2**

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ CCA 15 MIN

POMŮCKY: TEPLOMĚR PODPOROVANÝ POČÍTAČEM, RYCHLOVARNÁ KONVICE, VÁHY, STOPKY

Experiment umožňuje snadné a poměrně přesné určení měrného skupenského tepla varu vody v čase ne delším než 15 minut; ideou měření je využití konstantního tepelného výkonu rychlovarné konvice při ohřívání i varu vody. Tento výkon P lze při ohřevu vody vyjádřit jako

$$P = \frac{cm_1\Delta t}{\tau_1}, \quad (6)$$

kde c je měrná tepelná kapacita vody, m_1 hmotnost ohřívané vody, Δt zvýšení teploty a τ_1 doba ohřevu. Stejný výkon si konvice zachovává i během varu, kdy jej lze vyjádřit pomocí hmotnosti odpařené vody m_2 jako

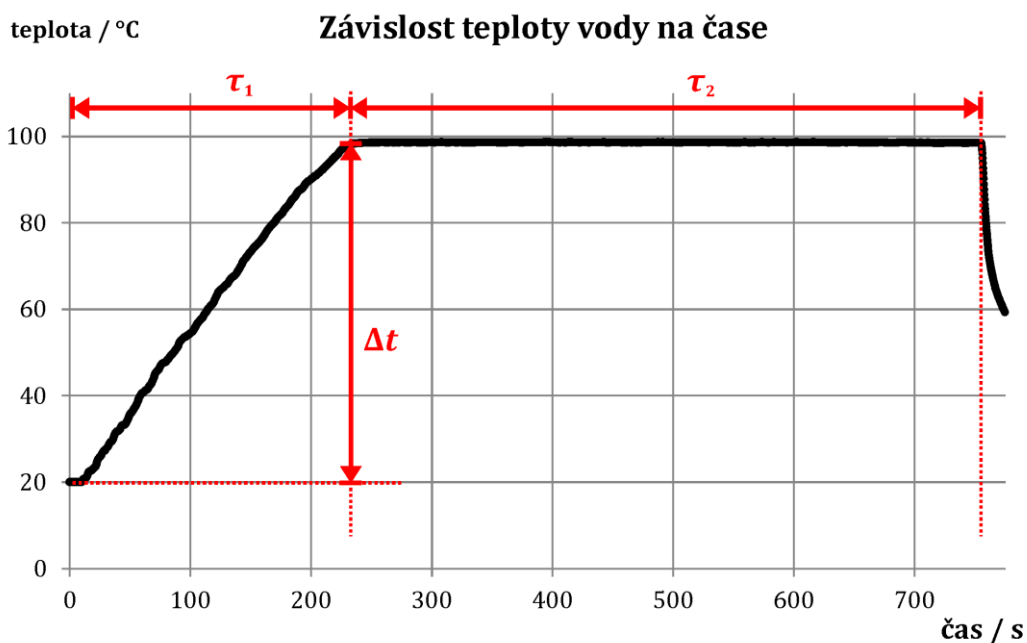
$$P = \frac{m_2 l_v}{\tau_2}, \quad (7)$$

kde l_v je hledané měrné skupenské teplo varu vody a τ_2 doba varu. Z rovnosti obou vyjádření pro výkon dostáváme měrné skupenské teplo varu vody jako

$$l_v = c\Delta t \frac{m_1 \tau_2}{m_2 \tau_1}. \quad (8)$$

Při provedení experimentu naplníme konvici přibližně do poloviny jejího objemu studenou kohoutkovou vodou a zvážíme ji. Současně se zapnutím konvice spustíme měření teploty, přivedeme vodu k varu a poté ji necháme vřít alespoň po dobu srovnatelnou s dobou ohřevu. Po ukončení měření konvici co nejrychleji opět zvážíme a z rozdílu hmotností před a po experimentu zjistíme hmotnost m_2 vyvařené vody. Na závěr vodu vylijeme a zvážíme konvici prázdnou – to nám umožní dopočítat původní hmotnost vody m_1 . Ostatní údaje – tj. Δt , τ_1 a τ_2 vyčteme z naměřené závislosti teploty na čase – viz příklad měření na obr. 36.

Průměrná hodnota měrného skupenského tepla varu vody l_v vzešlá z pěti vzorových měření činí $1,94 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, což představuje odchylku asi 14 % od tabulkové hodnoty ($2,26 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$).



Obrázek 36: Vzorově naměřená závislost při určování měrného skupenského tepla varu

Poznámky: Teploměr upevníme tak, aby měřil teplotu několik centimetrů pod hladinou, ale současně se nedotýkal topné spirály ani dna konvice; víko konvice necháváme po celou dobu experimentu otevřené. Největším zdrojem chyb v tomto experimentu je předpoklad, že během ohřevu vody se tepelný výkon konvice využije pouze na ohřev vody – ve skutečnosti se musí ohřát také vlastní tělo konvice, které vstupuje do tepelné bilance poměrně výrazně. Kdyby se nemuselo ohřívat i tělo konvice, byl by čas τ_1 kratší, dopočítaná hodnota l_v by vzrostla a více se blížila své skutečné hodnotě. Další nepřesností je předpoklad, že vzniklá pára konvici zcela opouští. Ve skutečnosti její část kondenzuje na stěnách konvice, stéká zpět a může tak být „odpařena dvakrát“. Jinak řečeno, hmotnost skutečně odpařené vody m_2 je větší než pouhý rozdíl hmotností vody před a po experimentu. Výše uvedené chyby se svým vlivem na vypočtenou hodnotu měrného skupenského tepla varu vzájemně částečně kompenzují.

Měření lze použít také jako přímý důkaz vyvracející jednu z nejčastějších studentských miskoncepcí vztahených ke skupenským přeměnám, tj. přesvědčení, že při kontinuálním varu teplota vody překračuje $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

(32) Závislost teploty varu vody na tlaku [1671]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E5

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ 5 - 10 MIN

POMŮCKY: PRŮHLEDNÁ KUCHYŇSKÁ VAKUOVACÍ NÁDOBA, RYCHLOVARNÁ KONVICE, DIGITÁLNÍ BAROMETR

Jako var obecně označujeme vypařování kapaliny v celém jejím objemu. Teplota varu kapalin přitom s klesajícím tlakem okolního vzduchu nelineárně klesá.

V pomocné části experimentu nejdříve ukážeme, jak se ve vakuové nádobě mění tlak při odsávání vzduchu. Zapneme barometr a vložíme ho do vakuové nádoby tak, aby byl čitelný jeho displej. Začneme-li nyní pumpováním vysávat z vývěvy vzduch, můžeme sledovat postupný pokles měřených hodnot tlaku.

Barometr vyjmeme a můžeme zahájit vlastní experiment. Přivedeme vodu v rychlovarné konvici k varu, nalijeme ji do vakuové nádoby a opět začneme pumpovat; pozorujeme chování vody uvnitř. Kapalina se začíná během snižování tlaku v nádobě vařit při teplotě prokazatelně nižší než je teplota 100 °C.

Poznámky: Vakuové nádoby jsou finančně dobře dostupné, je možné je zakoupit například v kuchyňských potřebách. Před provedením experimentu je nezbytné zjistit měřicí rozsah barometru, abychom se vyvarovali rizika jeho případného poškození. Ve vakuových nádobách není problém snížit tlak na méně než 40 % tlaku atmosférického!

Experiment je možné demonstrovat v ještě jednodušším provedení pouze s injekční stříkačkou. Tu naplníme přibližně do poloviny jejího objemu vodou z odstavené rychlovarné konvice, utěsníme prstem její ústí a následně vytáhneme píst nejvíce, jak to konstrukce stříkačky dovolí; opět máme možnost pozorovat var (obr. 37 vpravo). Výhodou tohoto provedení je minimalizace potřebných pomůcek, nevýhodou malé rozměry pro frontální předvádění.



Obrázek 37: Různé varianty experimentu ukazujícího závislost teploty varu na tlaku

(33) Chladicí účinky sprejů [1595]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E1

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, SPREJ (DEODORANT, REPELENT APOD.), TEPELNĚ IZOLUJÍCÍ PODLOŽKA PRO APLIKACI SPREJE

Spreje (plným označením aerosolové rozprašovače) slouží k dávkování kapalných látek ve formě malých částic rozptýlených v plynu – tzv. aerosolu. Je-li kapalina rozprášena do podoby aerosolu, tedy v zásadě velmi malých kapiček, dramaticky tím při daném objemu vzroste její povrch a tedy i rychlost jejího odpařování. Protože obvykle jsou součástí aerosolu i těkavé kapaliny užívané ve spreji jako hnací látky, bývá odpařování velmi intenzivní. Přitom kapalina odnímá svému okolí skupenská teplo vypařování a v okolí tak dochází k rychlému poklesu teploty.

Při experimentu aplikujeme sprej na povrch s malou tepelnou vodivostí a sledujeme teplotní změny nastávající v důsledku odpařování rozprašované kapaliny.

Poznámky: Protože předvádíme poměrně rychlé děje, při kterých může být chvilková nepozornost klíčová, je vhodné aplikaci spreje pro žáky několikrát za sebou zopakovat. Věnujte velkou pozornost výběru spreje! Použití deodorantu nebo repelentu by mělo být bezproblémové, naopak vdechování aerosolů některých průmyslových sprejů může být pro citlivější žáky dráždivé, zvažte proto jejich použití v uzavřených a špatně větratelných místnostech!

(34) Psaní zvýrazňovači a popisovači na alkoholové bázi [1714]

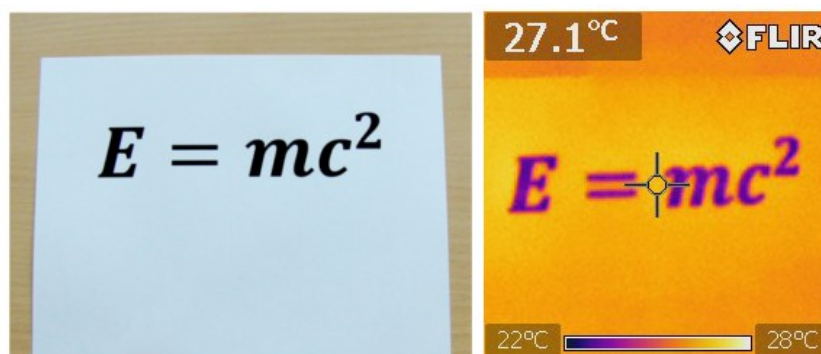
KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E1

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, PAPÍR, ZVÝRAZŇOVAČE ČI FIXY

Experiment ukazuje, že s chladícím efektem provázejícím vypařování kapalin se můžeme setkat například při psaní zvýrazňovači. Zvýrazňovače jsou psací potřeby založené na aplikaci inkoustu prostřednictvím pórovité houbovitě špičky; současné inkousty jsou připravovány na bázi alkoholů, například 1-propanolu či 1-butanolu. Po aplikaci na papír se alkoholová komponenta inkoustu rychle odpařuje, což způsobuje lokální pokles teploty v místě aplikace – tento pokles můžeme snímat termovizní kamerou.

Poznámky: Experiment lze provést i s fixy na vodní bázi, pozorovaný chladicí efekt je pak méně výrazný. Analogický pokus můžeme realizovat také s inkoustovou tiskárnou, která při tisku pokrývá papír vrstvou kapaliny – inkoustu příslušné barvy. Ta část inkoustu, která se nevpíje do papíru, se po vytištění vypařuje a stejně jako odpařování alkoholu ve výše uvedeném experimentu způsobuje lokální pokles teploty (obr. 38).



Obrázek 38: Čerstvě vytištěná stránka pohledem běžné a termovizní kamery

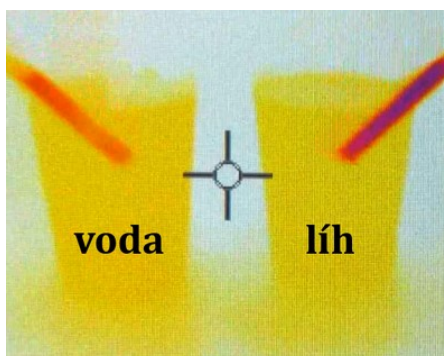
(35) Odpařování vody a lihu [1623]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E1

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMIVIZNÍ KAMERA, DVA KELÍMKY, VODA A TECHNICKÝ LÍH O POKOJOVÉ TEPLITĚ, DVĚ BRČKA

V rámci experimentu porovnáme teplotní změny, ke kterým dochází na povrchu dvou identických brček, přičemž z jednoho se odpařuje voda a ze druhého technický líh. Uvedené kapaliny nalijeme do kelímků a zajistíme, aby obě měly na začátku experimentu přibližně pokojovou teplotu. Nyní ponoříme do obou kelímků identická brčka a po několika sekundách je současně vyjmeme. Termovizní kamerou sledujeme, jak se bude teplota brček měnit. Kapaliny se z brček odpařují a odnímají jim skupenské teplo vypařování, teplota obou brček tedy klesá; pokles je výraznější v případě brčka ponořeného do lihu (obr. 39).



Obrázek 39: Vlevo brčko vyjmuté z vody, vpravo z lihu

Poznámky: Výsledek experimentu nás vede ke zdánlivému rozporu. Brčko ponořené do lihu se ochladilo více než brčko ponořené do vody, tj. líh mu odebral více tepla. Pokud se ale podíváme do tabulek, zjistíme, že měrné skupenské teplo vypařování lihu je při pokojové teplotě přibližně třetinové ve srovnání s vodou; z našich dvou látek je to tedy voda, která by měla odebírat brčku více tepla. Pokud bystřejší student tuto otázku položí, můžeme na ni navázat další debatu; dojdeme k tomu, že líh se odpařuje mnohem intenzivněji – celý jeho objem se vypaří v poměrně krátkém čase, takže okolí nestihne vykompenzovat vzniklý pokles teploty, který pak

také naměříme. Naproti tomu voda se odpařuje pozvolna, takže jejím odpařováním způsobovaný pokles teploty je okolím kompenzován – teplota tedy nikdy neklesne tak nízkou jako v případě technického lihu, ale celkové teplo odebrané vypařující se vodou bude skutečně větší než pro stejnou hmotnost lihu. K žádnému sporu mezi teorií a experimentem tedy ve skutečnosti nedochází.

Aby bylo měření skutečně průkazné, je vhodné mít obě kapaliny v kelímcích připravené dostatečně dlouho před experimentem tak, aby byly v termodynamické rovnováze s okolím.

(36) Jak proudění vzduchu urychluje vypařování kapalin [1625]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E1

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMORIZNÍ KAMERA, TECHNICKÝ LÍH, DVA LISTY PAPÍRU

Cílem experimentu je kvalitativně ukázat, že odstraňování par nad hladinou kapaliny urychluje její vypařování a tedy i prochlazování navlhčeného povrchu. Odstraňování par nad vypařující se kapalinou často bezděčně sami používáme – foukáme na lžici s horkou polévkou či čajem, aby nám dříve vychladly. Vypařující se kapaliny odnímají svému okolí skupenské teplo vypařování a tím jej ochlazují.

K provedení experimentu použijeme dva listy papíru – jeden ponecháme suchý a na druhý vylijeme malé množství technického lihu o pokojové teplotě; papír lihem velmi rychle nasákne. Nyní budeme foukat střídavě na suchý, střídavě na mokrý papír a budeme sledovat teplotní změny termovizní kamerou. Zatímco suchý papír se vzduchem z našich úst zjevně zahřívá, teplota nasáklého papíru při přibližně stejné intenzitě foukání klesá.

Poznámky: Vysvětlení experimentu můžeme postavit jako problémovou úlohu. Foukání na suchý papír jasně ukazuje, že vzduch z našich úst je teplejší než okolí. Jak je tedy možné, že mokrý povrch se jeho vlivem ochlazuje? Diskusí bychom měli dojít k tomu, že vzduch z našich úst sice skutečně je teplejší než okolí, ale jeho proudění způsobí intenzivní vypařování lihu, jež svým chladícím efektem převládne nad ohříváním vyfouknutým vzduchem.

(37) Závislost rychlosti vypařování na obsahu plochy hladiny kapaliny [1721]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E1

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA 10 MIN, PROVEDENÍ > 45 MIN

POMŮCKY: VÁHY (S CITLIVOSTÍ ALESPŮŇ 0,01 G), TECHNICKÝ LÍH, MISTIČKY RŮZNÝCH PRŮMĚRŮ, POSUVNÉ MĚŘÍTKO

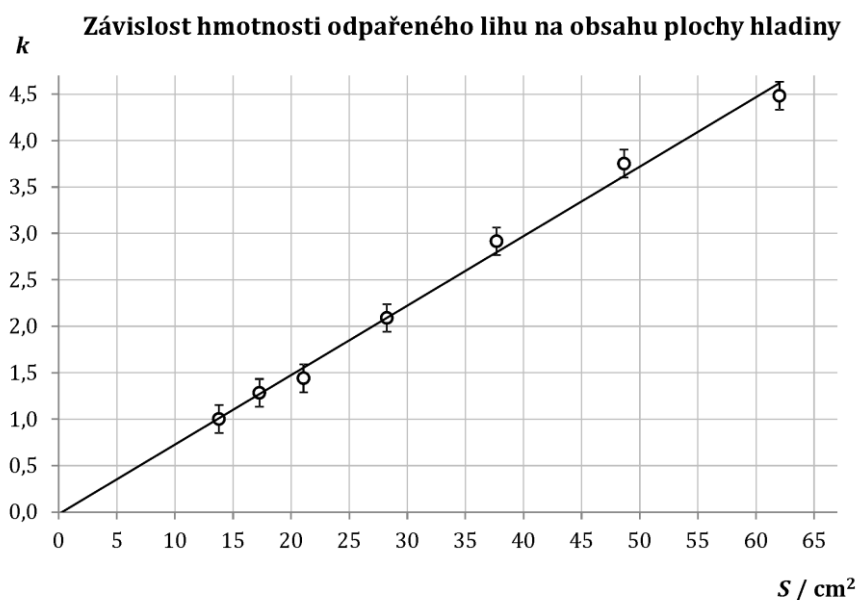
Rychlost vypařování nemá v českém kontextu žádnou ustálenou definici ani označení, z logiky věci se ale zdá být rozumné definovat ji jako hmotnost kapaliny odpařené za jednotku času.

V úvodu experimentu posuvným měřítkem určíme průměry používaných mistichek a nalijeme do nich technický líh (přibližně stejné množství, zvláštní přesnost není nutná); misticcky i s lihem zvážíme. Poté necháme líh odpařovat a po uplynutí alespoň

jedné hodiny zvážíme všechny mističky znovu; rozdíl hmotností představuje pro každou misku hmotnost odpařeného lihu.

Měření bylo vzorově provedeno desetkrát, pokaždé ale trvalo jinak dlouho. Nelze tak přímo průměrovat hmotnosti odpařeného lihu – při kratších měřeních jsou tyto logicky nižší. Proto byl pro účely zpracování dat zaveden bezrozměrný koeficient k , který pro každé měření říká, kolikrát větší hmotnost lihu se z jednotlivých mističek odpařila ve srovnání s mističkou nejmenší (tj. například hodnota $k = 2$ pro danou mističku říká, že se z ní odpařilo dvakrát více lihu než z nejmenší mističky za stejný čas). Při takovémto způsobu zpracování dat již nezáleží na době měření a je možné hodnoty k z různě dlouhých měření zprůměrovat. (Samozřejmě je na zvážení učitele, zda tímto žáky zatěžovat, nebo se spokojit s jediným méně přesným, ale názorným měřením.)

Vzorově naměřené hodnoty ukazuje graf na obr. 40 – je patrné, že se zvyšujícím se obsahem plochy hladiny roste hmotnost odpařeného lihu (prostřednictvím koeficientu k) lineárně a extrapolace na nulový obsah plochy naznačuje dokonce přímou úměrnost.



Obrázek 40: Graf získaný při odpařování lihu ze sedmi nádob různého průměru

Poznámky: Vzhledem k lihovým výparům není ideální měřit ve třídě, kde probíhá výuka – odpařování lze nechat probíhat například v jiné, volné učebně. Po nalití lihu je dobré zkontrolovat, že jsou mističky zvnějšku suché, event. je před zvážením otřít. Jinak riskujeme, že naše data ovlivní rychlé odpařování lihu z vnějšího povrchu misek. Všechny mističky je vhodné mít na stejném místě – zamezíme tak riziku, že se budou nacházet v místech s různou teplotou či jiným prouděním vzduchu, které rychlost odpařování ovlivňují.

Měření průměru misek se může stát samostatnou laboratorní úlohou zahrnující práci s posuvným měřítkem a statistické zpracování dat získaných opakovaným měřením téže veličiny.

(38) Závislost rychlosti vypařování na odstraňování par nad hladinou kapaliny [1729] ■

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E1

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA 10 MIN, PROVEDENÍ > 45 MIN

POMŮCKY: VÁHY (S CITLIVOSTÍ ALESPŮŇ 0,01 G), TECHNICKÝ LÍH, PETRIHO MISKA, VENTILÁTOR Z POČÍTAČE (TYPICKÉ NAPÁJECÍ NAPĚTÍ 12 V), ZDROJ STŘÍDAVÉHO NAPĚTÍ 12 V (S VÝHODOU REGULOVATELNÝ), VOLTMETR/MULTIMETR

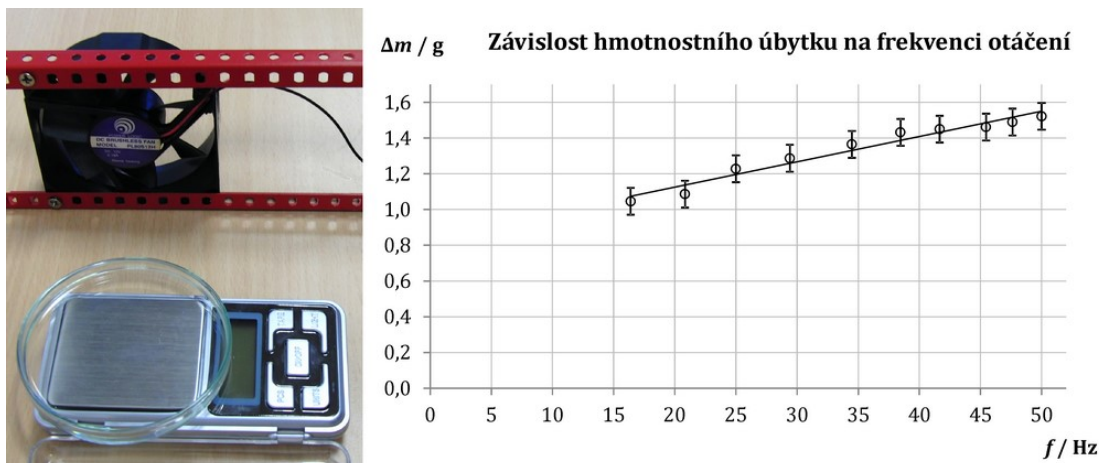
Cílem experimentu je kvantifikovat vliv, který má odstraňování par nad hladinou kapaliny na rychlost jejího odpařování; tuto rychlost vypařování přitom chápeme ve stejném významu jako v předcházejícím pokusu.

Zapneme váhy, Petriho misku naplníme lihem a postavíme ji na vážící plochu; ventilátor připojíme ke zdroji střídavého napětí a umístíme ho do vzdálenosti 5 cm až 10 cm od misky tak, aby po jeho spuštění proud vzduchu směřoval nad hladinu lihu (obr. 41 vlevo). Zaznamenané počáteční hmotnost m_1 , kterou ukazují váhy, a přivedením vhodného napájecího napětí (kontrolováno voltmetrem) uvedeme ventilátor do chodu. Po 5 minutách zdroj odpojíme a zapíšeme koncovou hmotnost m_2 ; zajímá nás úbytek hmotnosti $\Delta m = m_1 - m_2$. Výše uvedený postup opakujeme pro různá napájecí napětí. Snadno ukážeme, že s rostoucím napětím roste nejen intuitivně vnímaná frekvence otáčení ventilátoru, ale také hmotnost lihu odpařená za stejný časový interval.

Poznámky: Ve vzorovém měření byl hmotnostní úbytek Δm proměřen pro deset hodnot napájecího napětí v rozmezí od 3 V do 12 V. Kromě toho bylo napájecí napětí pomocí optické závory převedeno na frekvenci otáčení ventilátoru, což umožnilo vynést graf závislosti hmotnostního úbytku Δm na frekvenci otáčení ventilátoru tak, jak to ukazuje obr. 41 vpravo. Je patrné, že jde o rostoucí závislost, která vykazuje známky linearity; skutečné vlivy turbulentního proudění na odpařování jsou ovšem natolik složité, že lineární aproximaci uvedenou v grafu je třeba brát se značnou rezervou.

Je-li ventilátor zapnutý, mohou váhy ukazovat chaotické nárůsty a úbytky hmotnosti podle toho, jak turbulentní proudění na hladinu lihu právě působí; vzhledem k tomu je nutné odečítat hmotnost tehdy, když je ventilátor odpojen od zdroje.

Proměření celé závislosti tak, jak je popsána výše, je časově náročné a ve výuce tak může být někdy praktičtější ukázat pouze skutečnost, že pokud budeme páry nad hladinou lihu odstraňovat, odpaří se dramaticky více lihu než bez odstraňování, a to bez dalšího matematického zpracování.



Obrázek 41: Vlevo uspořádání experimentu s ventilátorem, vpravo naměřená data

(39) Kritický stav oxidu uhličitého [1689]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E3, INSPIROVÁNO POKUSY PRO STŘEDNÍ ŠKOLY PŘEDVÁDĚNÝMI NA MFF UK

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ CCA 5 MIN

POMŮCKY: SKLENĚNÁ TYČINKA S PODKRITICKÝM KAPALNÝM OXIDEM UHLIČITÝM, KÁDINKA S VODOU O TEPLOTĚ 45 °C AŽ 50 °C, ZPĚTNÝ PROJEKTOR

Cílem experimentu je demonstrovat přechod kapalného oxidu uhličitého a jeho syté páry při zahřívání do superkritického stavu a při ochlazování zpět do stavu podkritického. Přechod mezi těmito stavy představuje tzv. kritický bod, který je charakterizovaný kritickým tlakem p_k a kritickou teplotou T_k . V kritickém bodě (stavu) se stírá rozdíl mezi kapalným a plynným skupenstvím – mizí okem viditelné rozhraní, zanikají rozdíly v hustotě, mizí povrchové napětí a měrné skupenské teplo vypařování.

Při teplotách a tlacích převyšujících kritické hodnoty p_k a T_k se látka nachází ve fázi, kterou nelze nazývat ani plynnou, ani kapalnou; používá se označení superkritická tekutina, někdy také superkritická kapalina.

Při předvádění experimentu si připravíme do kádinky vodu o teplotě 45 °C až 50 °C, která bude sloužit jako vodní lázeň pro tyčinku s oxidem uhličitým. Zapneme zpětný projektor a umístíme před jeho lampu tyčinku tak, aby se nám na plátno/stínítko promítla hladina kapalného oxidu uhličitého. Zasuňme dolní konec tyčinky do vodní lázně a zahříváme v ní tyčinku do té chvíle, dokud nezmizí rozhraní mezi kapalným a plynným skupenstvím. Poté vyjmeme tyčinku z vodní lázně a necháme ji na vzduchu volně chladnout, dokud se v ní neobnoví výchozí stav.

Poznámky: Pozor! Oxid uhličitý je v trubičce uchováván pod tlakem vyšším než 7 MPa, je tedy nezbytné provádět experiment s extrémní opatrností a nevystavovat tyčinku žádným otřesům, event. riziku pádu!

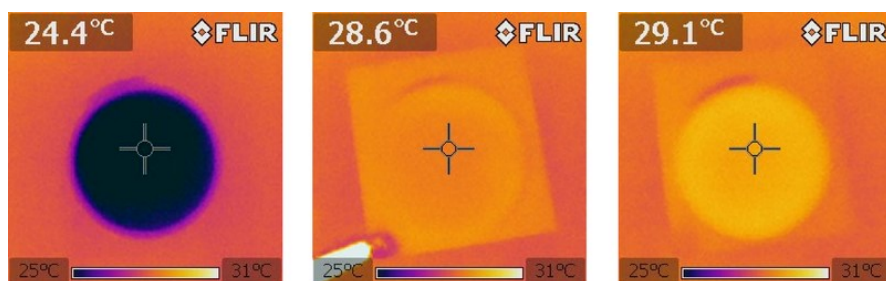
(40) Kondenzace vodních par [1624]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E1+E2, INSPIRACE: XIE (2012)

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMOVIZNÍ KAMERA, KELÍMEK S KOHOUTKOVOU VODOU, LIST PAPIŘU

Naším cílem bude v tomto pokusu vizualizovat nárůst teploty způsobený kondenzací vodní páry. Naplníme kelímek kohoutkovou vodou a překryjeme jeho vrchní okraj listem papíru. Pozorujeme změny teploty papíru termovizní kamerou. V místě, kde papír zakrývá hladinu vody, registrujeme nárůst teploty o jednotky stupňů Celsia, který je způsoben kondenzací vodních par na spodní straně papíru (obr. 42). Tento nárůst je dočasný, poté se opět začíná ustavovat tepelná rovnováha s okolím.



Obrázek 42: Vlevo hladina vody na počátku experimentu, uprostřed v okamžiku pokládání papíru na kelímek, vpravo pět sekund poté

Poznámky: Ideální je provádět experiment s vodou o teplotě nepatrně nižší, než je teplota okolí; pro tento účel může dobře posloužit studená voda z kohoutku, která typicky má teplotu kolem 20 °C (samozřejmě je vhodné si to před experimentem vyzkoušet). S takto zvolenou teplotou vody pak vynívá experiment zcela jednoznačně – zatímco vlastní voda bude chladnější než okolí, papír se kondenzačním teplem zahřeje na teplotu vyšší než okolí. Je přitom důležité nastavit rozsah termovizní kamery tak, aby byl rozdíl mezi maximem a minimem teplotní škály co nejmenší – potřebujeme detekovat skutečně jemné změny teploty v řádu okolo 1 °C.

6. 4. 8. STRUKTURA A VLASTNOSTI PLYNŮ

(41) Stirlingův stroj [1875]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E2

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA CCA 10 MIN, PROVEDENÍ 10 MIN

POMŮCKY: STIRLINGŮV STROJ (VE VZOROVÉM EXPERIMENTU TYPU BETA), PLYNOVÝ HOŘÁK NEBO KAHAN, ZÁPALKY, ELEKTROMOTOR ROZTÁČEJÍCÍ STIRLINGŮV STROJ PŘI DEMONSTRACI FUNKCE TEPELNÉHO ČERPADLA, TERMOVIZNÍ KAMERA

Stirlingův stroj patří do rodiny cyklických tepelných strojů, které pracují se stálou pracovní látkou. V době svého vzniku v r. 1816 byl díky své poměrně vysoké účinnosti a tichému chodu konkurentem parního stroje, dnes jej využíváme například k pohonu zařízení s nízkým výkonem. Cílem pokusu je demonstrovat fungování Stirlingova stroje jak v konfiguraci tepelného motoru, tak v konfiguraci tepelného čerpadla.

Vzorově použitý model Stirlingova stroje je vyveden v konstrukční variantě beta, kdy je celý stroj tvořen jediným válcem. Pracuje-li stroj jako tepelný motor, je tento válec na jednom konci zahříván a na druhém chlazen – např. okolním vzduchem.

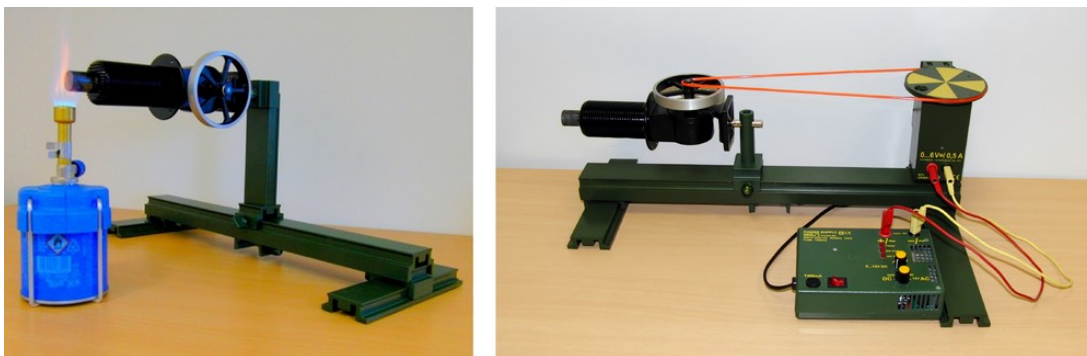
V jediném válci beta modelu je kromě pracovního pístu umístěn ještě přehaněč – píst, který těsně nedoléhá ke stěnám válce, nedodává žádný výkon a jeho úkolem je přemísťovat pracovní látku z teplého konce válce do studeného a naopak.

Jako motor tedy Stirlingův stroj přeměňuje tepelnou energii na energii mechanickou. Stejně tak jej ale můžeme využít jako tepelné čerpadlo (chladicí stroj), které naopak mechanickou energii přeměňuje na energii tepelnou. Pokud chod motoru obrátíme, tj. budeme jej roztáčet dodáváním mechanické energie, vznikne mezi konci válce teplotní rozdíl, aniž bychom konce jinak zahřívali či chladili – jeden konec svoji teplotu zvýší, druhý sníží.

V první části experimentu předvedeme funkci Stirlingova stroje coby tepelného motoru – upevníme jej do nosné konstrukce, pod kovový vývod válce umístíme plynový hořák (obr. 43 vlevo) a zapálíme ho. Necháme kov několik desítek sekund prohřívát, a pokud se motor neroztočí, sami udáme počáteční impuls tím, že setrvačnickem motoru pootočíme rukou. Pozorujeme pracující motor a změnou intenzity plamenu regulujeme jeho otáčky.

Abychom mohli demonstrovat Stirlingův stroj pracující jako tepelné čerpadlo, připojíme jeho setrvačnick k externímu elektromotoru (obr. 43 vpravo) a tím jej roztočíme. Termovizní kamerou můžeme detekovat následný růst teploty v jedné a pokles teploty v druhé polovině pracovního válce.

Poznámky: Stirlingův stroj lze zakoupit v podobě vzdělávací hračky či dárkového předmětu; pro předvedení první části experimentu takovýto model obvykle postačuje.



Obrázek 43: Vlevo Stirlingův stroj coby tepelný motor, vpravo jako tepelné čerpadlo

6. 4. 9. STRUKTURA A VLASTNOSTI PEVNÝCH LÁTEK

(42) Teplotní objemová roztažnost kovů [1873]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E5, INSPIROVÁNO POKUSY PRO STŘEDNÍ ŠKOLY PŘEDVÁDĚNÝMI NA MFF UK

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 10 MIN

POMŮCKY: KOVOVÁ KULIČKA S KOVOVÝM ZÁVĚSEM A OBJÍMKA, KTEROU KULIČKA PŘI POKOJOVÉ TEPLOTĚ TĚSNĚ PROJDE, PLYNOVÝ HOŘÁK NEBO KAHAN, ZÁPALKY, PŘÍPADNĚ KLEŠTĚ

Pokus demonstruje zvětšení objemu kovové koule při jejím zahřátí. Většina pevných látek svůj objem se zvyšující se teplotou zvětšuje, přičemž přírůstek objemu ΔV je při určitém zanedbání přibližně přímo úměrný zvýšení teploty Δt a počátečnímu objemu V_0 . To lze matematicky zapsat jako

$$\Delta V \doteq \beta V_0 \Delta t, \quad (9)$$

kde konstanta β označuje teplotní součinitel objemové roztažnosti a je vlastností jednotlivých látek. Objem tělesa V po zahřátí je pak roven součtu jeho původního objemu V_0 a přírůstku ΔV :

$$V \doteq V_0 + \beta V_0 \Delta t = V_0(1 + \beta \Delta t). \quad (10)$$

Výše uvedené zanedbání omezuje platnost vztahu (10) na malé teplotní rozdíly, kde $\beta \Delta t \ll 1$. Není-li tato podmínka dostatečně splněna, je třeba uvažovat vztah (10) v obecnější podobě:

$$V \doteq V_0(1 + \beta \Delta t + \frac{1}{3} \beta^2 \Delta t^2). \quad (11)$$

V úvodu experimentu předvedeme, že při pokojové teplotě kulička objímkou volně prochází. Následně ji vložíme na několik sekund až desítek sekund do plamene hořáku a poté posadíme na objímku; tou nyní kulička, jež zahřátím zvětšila svůj objem, neprojde.

Toto základní provedení experimentu, které je ve výuce běžně předváděno, lze poněkud rozšířit – poté, co kulička dostatečně zchladne a objímkou propadne, se ji pokusíme vyzvednout opět směrem vzhůru; pro studenty je obvykle překvapením, že v objímce dojde k jejímu opětovnému „zaseknutí“. Také objímka se totiž v předcházející části experimentu roztáhla, ovšem její chladnutí je v porovnání s kuličkou výrazně rychlejší – když se tedy pokusíme protáhnout kuličku směrem vzhůru, narazíme na smršťující se objímku, což způsobí další „zadrhnutí“ kuličky.

Poznámky: Nelze doporučit zahřívání kuličky nad plamenem svíčky – ohřev je pomalý a kulička se obalí vrstvou sazí. Kovový závěs kuličky může být velmi dobrým vodičem tepla, proto je z bezpečnostních důvodů vhodné používat při manipulaci s ním kleště. Kulička se během experimentu rozžhaví na několik stovek stupňů Celsia a práce s ní vyžaduje zvýšenou opatrnost.

Pokud bude kulička při experimentu zahřátá nedostatečně, propadne objímkou podobně, jako při pokojové teplotě; naopak, pokud bude zahřátá příliš, můžeme na její propadnutí čekat dlouhé minuty. Je tedy nezbytné si experiment před provedením vyzkoušet a vhodný čas ohřevu odhadnout.

6. 4. 10. STRUKTURA A VLASTNOSTI KAPALIN

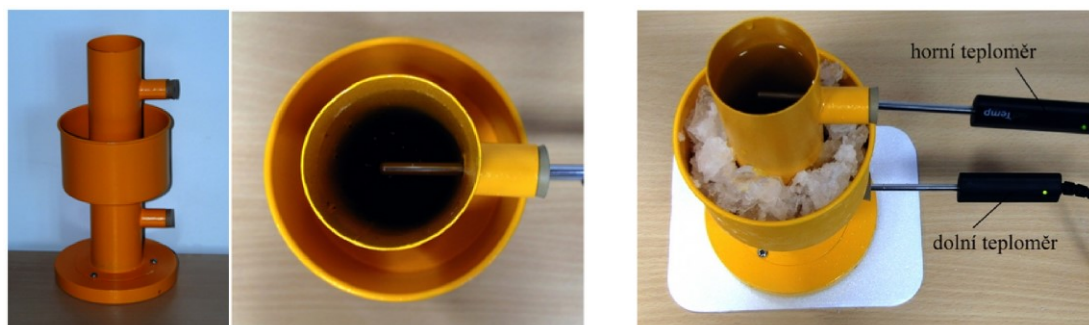
(43) Hopeho experiment: Anomálie vody [1656] 📄

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E3, INSPIRACE: MBD ALCHEMIE (B.R.)

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA CCA 15 MIN, PROVEDENÍ 25 – 30 MIN

POMŮCKY: HOPEHO PŘÍSTROJ, DVA TEPLoměRY (VÝHODOU JSOU ČIDLA SPOLUPRACUJÍCÍ S POČÍTAČEM), LEDOVÁ TŘÍŠT, KUCHYŇSKÁ SŮL, DVĚ VĚTŠÍ KÁDINKY (IDEÁLNĚ 500 ML A VÍCE)

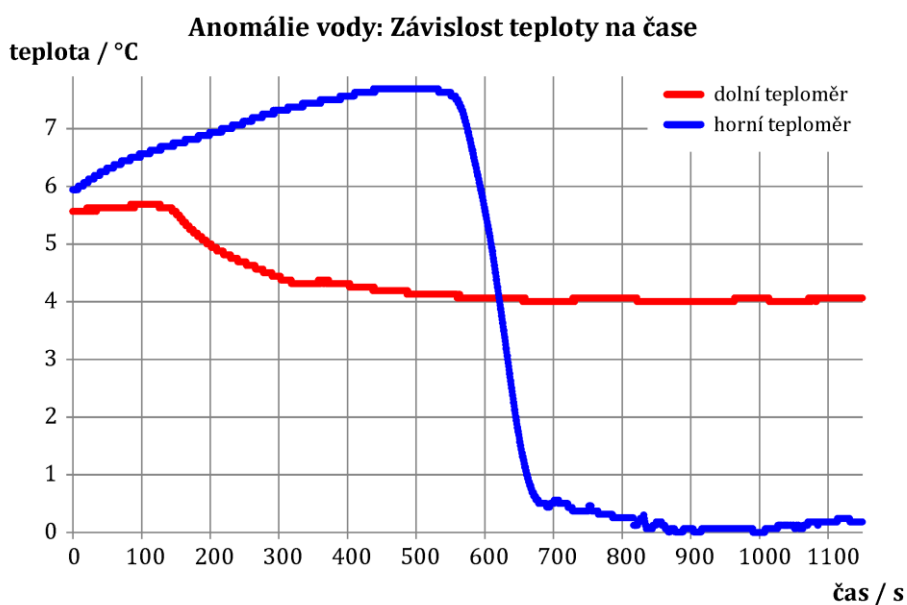
Podobně jako u pevných a plynných látek, také objem kapalin je závislý na jejich aktuální teplotě. Kapaliny svůj objem s rostoucí teplotou obecně zvětšují, čímž klesá jejich hustota. Výjimkou je v tomto ohledu voda, a to v rozmezí 0 °C až 4 °C, kde se její hustota s rostoucí teplotou zvětšuje. Jednoduché zařízení pro demonstraci tohoto jevu (známého pod označením *anomálie vody*) navrhl r. 1805 skotský vědec T. Ch. Hope, proto je dnes známé jako tzv. Hopeho přístroj (obr. 44 vlevo). Tělo zařízení je tvořeno dutým válcem, který se plní vodou a umožňuje dovnitř dvěma otvory na boku zavést do různé výšky teplotní čidla. V polovině své výšky je válec opatřen vnějším rezervoárem na chladicí směs, který ale není s vnitřkem válce nijak spojen.



Obrázek 44: Vlevo Hopeho přístroj, vpravo uspořádání Hopeho experimentu

Prázdný Hopeho přístroj necháme před experimentem důkladně prochladiť v lednici, poté jej vyjmeme, izolujeme od podložky a do obou otvorů zasuneme teploměry (obr. 44 vpravo). Do vnitřního válce nalijeme v lednici předchladenou vodu; teploměry by měly ukazovat přibližně stejnou teplotu. Nyní rezervoár na vnitřním obvodu válce naplníme chladicí směsí ledu a soli (viz experiment 28) a dále již jen sledujeme, jak se vyvíjejí teploty měřené horním a dolním teploměrem. Výsledkem experimentu jsou dvě závislosti (viz obr. 45) teploty vody ve vnitřním válci na čase, modrá pro horní teploměr (t_1) a červená pro dolní teploměr (t_2). Na začátku měření jsou si teploty měřené oběma teploměry blízké, po vložení chladicí směsi se voda ve střední části válce ochlazuje, a klesá ke dnu – dolní část válce se plní chladnou vodou a teplota t_2 klesá, zatímco t_1 díky zahřívání okolním vzduchem zvolna roste. Zvrat nastává ve chvíli, kdy se dolní polovina válce zaplní vodou o teplotě přibližně 4 °C, jež tak dosahuje své maximální hustoty. Další ochlazování vody na teploty nižší než 4 °C vede k poklesu její hustoty – tato chladnější voda se proto začíná hromadit v horní části válce. Zatímco teplota t_2 se tedy stabilizuje v okolí 4 °C, teplota t_1 strmě klesá až k hodnotě 0 °C.

Poznámky: Lepších výsledků bylo dosaženo s destilovanou vodou. Pro úspěšné provedení experimentu je zcela zásadní nechat jak vodu, tak vlastní tělo Hopeho přístroje v dostatečném předstihu dostatečně prochládit (ze zkušenosti lze doporučit prochlazení na cca 6 °C). V opačném případě se snadno může stát, že ani velkým množstvím chladicí směsi se nám nepodaří snížit teplotu vody uvnitř válce na „zajímavé“ hodnoty, tj. pod 4 °C. Po přidání chladicí směsi do rezervoáru již nesmíme vodu ve vnitřním válci zamíchat, zásadně bychom narušili průběh experimentu! Chceme-li výuku zpestřit a nechat studenty aktivně pracovat, svěříme jim přípravu chladicí směsi.



Obrázek 45: Výsledek Hopeho experimentu

6. 4. 11. TEPELNÉ JEVY V ELEKTROMAGNETISMU

(44) Jouleovo teplo [1657]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E4

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMOVIZNÍ KAMERA, ZDROJ STEJNOSMĚRNÉHO NAPĚTÍ (VE VZOROVÉM EXPERIMENTU ČTYŘI PLOCHÉ BATERIE 4,5 V), DVĚ SADY STEJNÝCH REZISTORŮ ZAPOJENÝCH JEDNOU SÉRIOVĚ A PODRUHÉ PARALELNĚ

V experimentu níže budeme demonstrovat, jak odpor rezistorů ovlivňuje jejich zahřívání při průchodu elektrického proudu. Při průchodu proudu vodičem jsou volné nosiče náboje urychlovány elektrickým polem, při svém pohybu narážejí do kmitajících atomů mřížky a předávají jim část své kinetické energie, čímž se materiál vodiče z makroskopického pohledu zahřívá. Teplo, které se při tomto procesu vyvíjí, se označuje jako Jouleovo teplo Q a platí pro něj vztah:

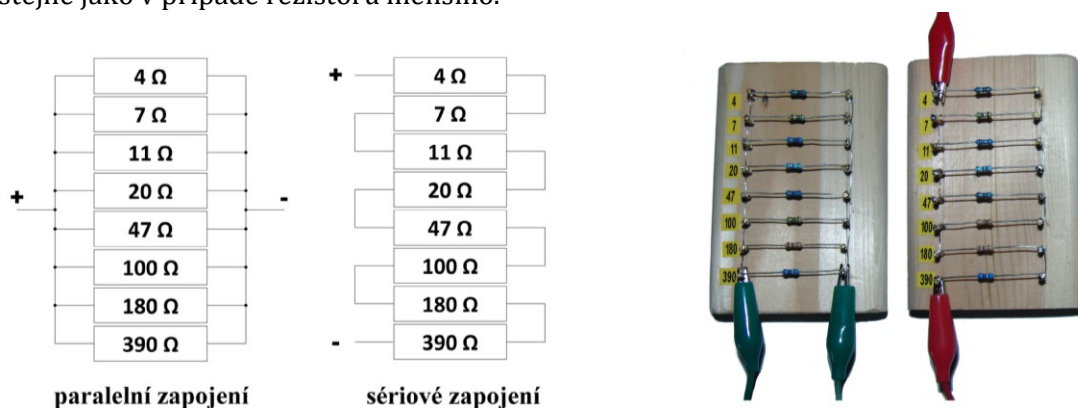
$$Q = RI^2t \quad (12)$$

kde I je proud vodičem, R jeho odpor a t je čas, po který proud vodičem procházel. Pokud neznáme proud vodičem, ale napětí U mezi jeho konci, můžeme za použití Ohmova zákona přepsat vztah (12) do tvaru:

$$Q = \frac{U^2}{R} t \quad (13)$$

Pro tento konkrétní experiment byly zkonstruovány dvě sady rezistorů (obr. 46), každá obsahující rezistory o odporech 4Ω , 7Ω , 11Ω , 20Ω , 47Ω , 100Ω , 180Ω a 390Ω . Paralelně zapojenou sadu připojíme k ploché baterii a sledujeme teploty rezistorů termovizní kamerou; po 15 sekundách baterii odpojíme. Totéž opakujeme se sériově zapojenou sadou; její odpor je vyšší, proto použijeme napájecí napětí 18 V ($4 \times 4,5 \text{ V}$). Je zřejmé, že zatímco v případě paralelního zapojení rezistorů se nejvíce zahřívají ty s nejmenším odporem, v případě zapojení sériového je tomu naopak. Tento poznatek je zcela konzistentní s výše uvedenou teorií – při paralelním zapojení je na všech rezistorech stejné napětí U , pro výpočet Jouleova tepla je tedy vhodné použít vztah (13), který říká, že s rostoucím odporem produkce Jouleova tepla klesá – rezistory s velkým odporem se tedy zahřívají na nižší teplotu. Naopak, pro sériové zapojení je na všech rezistorech stejný proud I , takže s výhodou použijeme vztah (12); podle něj naopak produkce Jouleova tepla s odporem roste a rezistory s velkým odporem se zahřívají na vyšší teploty.

Poznámky: Pro experiment je velmi podstatné, aby všechny rezistory měly stejné rozměry – pokud tomu tak není, může experiment dopadnout zcela neprůkazně. Vezmeme-li například dva rezistory různé velikosti se stejným odporem, bude se objemnější a hmotnější z nich zahřívát pomaleji, přestože vyvinuté Jouleovo teplo bude stejné jako v případě rezistoru menšího.



Obrázek 46: Vlevo schémata zapojení odporových sad, vpravo jejich fyzická podoba

(45) Seebeckův jev [1863]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E2

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ AŽ 40 MIN

POMŮCKY: TERMoeLEKTRICKÝ ČLÁNEK, DVĚ SKLENICE, RYCHLOVARNÁ KONVICE S VODOU, VODIČE, VOLTMETR, DVĚ TEPLOTNÍ ČIDLA (S VÝHODOU SPOLUPRACUJÍCÍ S POČÍTAČEM)

Seebeckův jev patří mezi tzv. termoelektrické jevy, které popisují přeměny tepelné energie na energii elektrickou a naopak. Spojíme-li na obou koncích dva vodiče vyrobené z různých kovů, získáváme dva jejich spoje; pokud mají tyto spoje různou teplotu, naměříme mezi nimi nenulové elektromotorické napětí U_e , někdy označované jako napětí Seebeckovo. V rámci tohoto pokusu budeme studovat závislost Seebeckova napětí na rozdílu teplot mezi rameny termoelektrického článku. Pro malé teplotní rozdíly Δt lze generované napětí považovat za přímo úměrné právě Δt :

$$U_e = \alpha \Delta t, \quad (14)$$

kde konstanta úměrnosti α je tzv. relativní Seebeckův koeficient, který je dán materiálem spojovaných vodičů; pro velké teplotní rozdíly je konstanta α sama závislá na teplotě a linearita vztahu slábně.

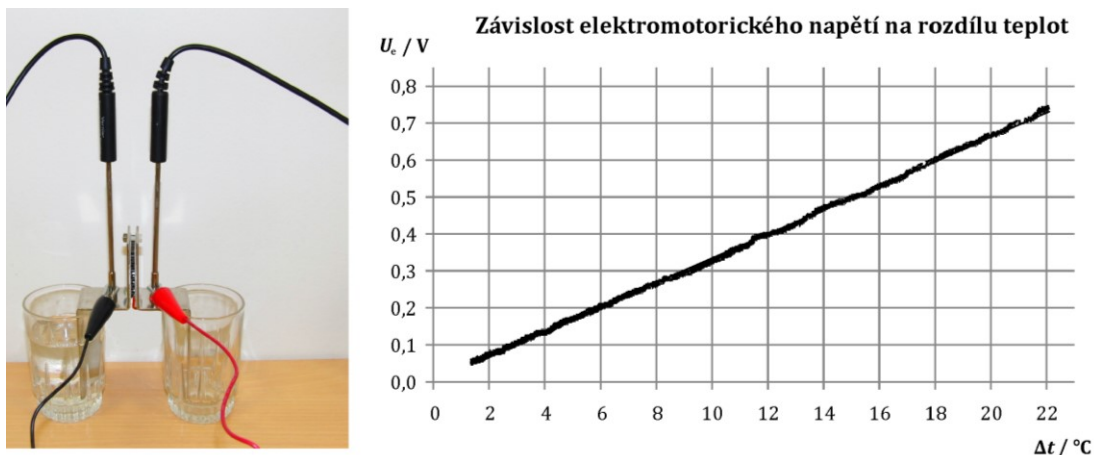
Na začátku experimentu naplníme jednu sklenici studenou kohoutkovou vodou, druhou zatím ponecháme prázdnou. Termoelektrický článek umístíme tak, aby bylo každé jeho rameno zanořeno do jedné sklenice (obr. 47 vlevo). Do otvorů v kovových ramenech připojených ke článku zavedeme teplotní čidla, mezi ramena připojíme voltmetr a do dosud prázdné sklenice nalijeme horkou vodu z rychlovarné konvice. Sledujeme, jak generované elektromotorické napětí postupně roste až do chvíle, kdy dosáhne rozdíl teplot mezi rameny článku svého maxima. Jakmile začne napětí klesat, spustíme měření obou teplot i tohoto napětí a necháváme horkou lázeň volně chladnout, dokud se neustaví – alespoň přibližně – termodynamická rovnováha mezi oběma rameny.

Výše uvedeným postupem bylo provedeno měření, jehož výsledek ukazuje graf na obr. 47 (vpravo). Je patrné, že v případě relativně malých teplotních rozdílů Δt lze skutečně pro generované elektromotorické napětí předpokládat lineární závislost, jejíž lineární regresí získáme v tomto konkrétním vzorovém případě hodnotu relativního Seebeckova koeficientu $\alpha \doteq 33 \text{ mV} \cdot \text{°C}^{-1}$.

Poznámky: Pokud chceme získat podobně „kvalitní“ lineární závislost jako ve vzorovém měření, je skutečně výhodné proměřovat ji při postupném, pozvolném poklesu teplotního rozdílu mezi rameny. Při rychlých teplotních změnách – například krátce po nalití horké vody do sklenky – není ustanovena termodynamická rovnováha mezi jednotlivými částmi článku, a hodnoty měřené teplotními čidly neodpovídají skutečným teplotám na deskách článku.

V jistém smyslu protikladem Seebeckova jevu je jev Peltierův – zatímco v předvedeném experimentu dává teplotní rozdíl za vznik elektromotorickému napětí, při Peltierově jevu je napětí přiváděné na termoelektrický článek příčinou toho, že

jedna strana článku se začne ohřívát a druhá ochlazovat; průběh těchto teplotních změn lze snímat např. termovizní kamerou.



Obrázek 47: Vlevo uspořádání pokusu, vpravo vzorově naměřená závislost

(46) Indukční ohřev vody [1874]

KATEGORIE A PŘÍPADNÝ ZDROJ INSPIRACE: E5

ODHADOVANÝ ČAS: PŘÍPRAVA < 5 MIN, PROVEDENÍ < 5 MIN

POMŮCKY: TERMOVIZNÍ KAMERA, INDUKČNÍ VAŘIČ (RESP. VARNÁ DESKA), HRNEC S MALÝM MNOŽSTVÍM VODY, DRŽÁKY NA UCHYCENÍ HRNCE NAD DESKOU VAŘIČE

Cílem experimentu je názorně ukázat vlastnosti indukčního ohřevu potravin, tj. zejména skutečnost, že primárně se neohřívá vlastní varná deska zařízení (vařiče) a ohřev tedy může probíhat bezkontaktně.

Jak již jejich označení napovídá, indukční vařiče a indukční varné desky využívají k ohřevu potravin jev elektromagnetické indukce. Pod sklokeramickým povrchem varné desky těchto spotřebičů je umístěna plochá cívka napájená vysokofrekvenčním střídavým proudem, který vytváří nad deskou periodicky proměnné magnetické pole. V souladu s teorií elektromagnetické indukce vytváří toto pole vznik indukovaného elektromotorického napětí a indukovaných proudů ve vodiči, který je do něj vložen. Vloženým vodičem je zde dno hrnce, které se začne vlivem průchodu vznikajících vířivých proudů zahřívát a zprostředkovává tak ohřev potravin uvnitř hrnce.

Při provádění experimentu do hrnce nalijeme malé množství vody (např. desetinu jeho objemu) a upevníme jej do držáků nad varnou desku vařiče. Zapneme indukční vařič a z boku sledujeme hrnec termovizní kamerou. Pozorujeme, že nejdříve je růst teploty měřitelný v úrovni dna, teprve později v horní části hrnce, a to aniž by se hrnec plotny dotýkal; plotna přitom zůstává po celou dobu měření chladná – můžeme na ní klidně nechat položenou dlaň (obr. 48).

Poznámky: Drtivá většina dnešních indukčních vařičů funguje pouze s nádobím, které má feromagnetické dno; měděné či hliníkové hrnce, které mají jinak lepší tepelné vlastnosti, při indukčním ohřevu selžou. Přesněji – i v nich dojde ke vzniku vířivých proudů, které budou ale vzhledem k malé relativní permeabilitě těchto prvků řádově

slabší než v případě feromagnetických látek a ohřev dna tak bude zanedbatelný; v každém případě je důležité hrnec před experimentováním vyzkoušet.

Pokud chceme během pokusu pokládat ruku na varnou desku vařiče, musíme tak činit s maximální opatrností! Deska sice zůstává chladná, ale v její blízkosti se nachází rozpálené dno hrnce. V žádném případě si na ruce nenecháváme žádné kovové (tím méně pak feromagnetické) předměty.



Obrázek 48: Hrnec zahříváný nad plotnou indukčního vařiče; nalevo snímek ve viditelné a napravo v infračervené oblasti, ruka je položena na plotně pod hrncem

6. 5. Představení experimentů učitelům

Již v průběhu vytváření jednotlivých materiálů k experimentům byly vybrané zpracovávané pokusy (zejména ty z kategorií E1, E4 a E5) prezentovány učitelům na konferencích, dílnách či workshopech, které měl autor práce možnost navštívit, a to na půdě domácí i zahraniční. Do vznikajících textů se díky tomu mohly promítnout autentické postřehy a připomínky učitelů z praxe, cenné zejména v těch případech, kdy si učitelé mohli v roli studentů jednotlivé experimenty sami vyzkoušet (obr. 49).

Tabulka 22 shrnuje akce, na kterých byly některé pokusy z podkapitoly 6. 4. autorem práce představeny; celkem se těchto akcí zúčastnilo asi 350 českých učitelů ze základních a středních škol. U těch akcí, ze kterých byl vydán sborník příspěvků, lze odkaz na prezentovaný příspěvek najít v Seznamu publikací v závěru této práce.

Akce	termín konání	místo konání	typ vystoupení
Seminář „Jak získat žáky pro fyziku?“	16. – 19. 10. 2013	Vlachovice ČR	ústní prezentace
Seminář Nuevas Tendencias en la Enseñanza de la Física XXII	26. 5. – 1. 6. 2014	Puebla Mexiko	ústní prezentace
Veletrh nápadů učitelů fyziky 19	29. – 31. 8. 2014	Cheb ČR	ústní prezentace
Workshop projektu Otevřená věda 4	13. 10. 2014	Praha ČR	workshop
Konference DIDFYZ 2014	16. – 18. 10. 2014	Pribylina Slovensko	poster
Škola badatelské výuky	2. – 3. 2. 2015	Nový Jičín ČR	workshop
Setkání regionálního centra projektu Elixír do škol	12. 3. 2015	Praha ČR	workshop
Workshop na konferenci projektu Elixír do škol	16. 5. 2015	H. Králové ČR	workshop
Seminář „Jak získat žáky pro fyziku?“	14. – 17. 10. 2015	Vlachovice ČR	ústní prezentace

Tabulka 22: Přehled akcí pro učitele, na kterých byly některé ze zpracovaných experimentů představeny



Obrázek 49: Učitelé experimentující na různých akcích s termovizní kamerou a termocitlivými foliemi

Protože jak novojičínská Škola badatelské výuky, tak obě akce spojené s Elixírem do škol probíhaly v devadesátiminutových blocích, bylo možné si na těchto akcích dovolit také teoretický úvod v podobě seznámení s testem CTCE, jehož výsledky jsou výchozí pro větší část experimentů. Účastníkům byl ve všech případech rozdán test CTCE a jejich úkolem nebylo jej vyřešit, ale odhadnout, které tři otázky by mohly jejich studentům dělat největší potíže a které tři by naopak mohly být nejsnazší. Učitelé základních i středních škol se ve svých odhadech příliš nelišili, z průniku jejich odpovědí vycházejí jako nejsnazší otázky č. 1, 2 a 4 a jako nejobtížnější ty s čísly 11, 13 a 19. Tyto odhady korespondují se skutečnými výsledky CTCE pouze zčásti – v případě otázek č. 1, 4, 11 a 13 byly tipy učitelů poměrně přesné, na druhou stranu, velmi problematické otázky č. 5 a 6 se v odhadech vůbec neobjevily a pokud ano, pak jako kandidáti na otázky nejsnazší.

Kromě této úvodní aktivity motivující navazující experimenty byli učitelé na závěr celého bloku formou jednoduchého dotazníku (je součástí práce jako příloha 7) požádáni, aby stručně ohodnotili každý experiment podle čtyř kritérií:

- nakolik pro ně byl atraktivní
- nakolik by mohl být atraktivní pro jejich studenty
- nakolik pro ně byl přínosný
- nakolik by mohl být přínosný pro jejich studenty

Škála hodnocení začínala na stupni -3 (zcela neatraktivní, resp. zcela nepřínosný) a končila stupněm +3 (velmi atraktivní, velmi přínosný). Vzhledem ke značné

nekritičnosti respondentů ovšem dosáhly všechny experimenty ve všech kategoriích ohodnocení v rozmezí +2 až +3, což jakékoliv jejich porovnání devaluje. Z dotazníků tak nejzajímavější část představovala volná sdělení a komentáře, které mohli účastníci připojit v jeho závěru – zde jsou v autentickém znění některé z nich:

- *„Dílna velice inspirativní, učím na ZŠ a folie se pokusím pořídit, škoda, že cena kamery je tak vysoká.“*
- *„Díky moc za seznámení s novými pomůckami a možností zažít experimenty na vlastní oči.“*
- *„Pořídit kameru je pro školu příliš nákladné, ale videopokusy ve Sbírce jsou vynikající.“*
- *„Fyzikální podstatu znám, proto to pro mě nebyly nové informace. Kameru jsme si pořizovat nechtěli, ale asi do ní po dnešku budeme investovat.“*

Z nekritického hodnocení více než 50 učitelů a zaznamenaných výroků (i těch, které zde nejsou uvedeny) lze tedy zřejmě soudit, že navržené experimenty jsou obecně životaschopné a použitelné v běžné výuce fyziky.

7. Zpracované experimenty: Pracovní listy pro studenty

Kromě návodů pro učitele, které byly představeny v předcházející kapitole, jsou výstupem této práce také materiály, jež mají podporovat experimentování samotných středoškolských studentů. Cílem této kapitoly je zmíněné materiály charakterizovat a popsat jejich využití během experimentování středoškoláků v *Interaktivní fyzikální laboratoři* (dále zkráceně: IFL), jež je zřizována Katedrou didaktiky fyziky Matematicko-fyzikální fakulty UK.

Celkem v rámci této práce pro potřeby IFL vzniklo 10 pracovních listů, z nichž každý studenty provází pokusy z dané oblasti termodynamiky a zároveň slouží jako instruktážní text i jako místo pro odhady, hypotézy, formulace výsledků a závěry.

7. 1. Interaktivní fyzikální laboratoř

Protože obsah celé kapitoly 7 se více či méně vztahuje k aktivitám probíhajícím v IFL, úvodem je vhodné laboratoř stručně charakterizovat.

Cílem IFL je nabízet středoškolákům (potažmo jejich vyučujícím) prostor pro řízené experimentování na dané fyzikální téma, kde všechny pokusy a měření provádějí vlastnoručně samotní studenti. Myšlenka zřídit v prostorách MFF UK takovou laboratoř vznikla zejména na základě inspirace stockholmským House of Science (Vetenskapens Hus, b.r.), který ovšem na rozdíl od IFL necílí pouze na pokusy fyzikální, ale obecně na experimentování v přírodních vědách. IFL byla uvedena do provozu v prosinci roku 2008 a v současné době nabízí pro studenty a jejich učitele následující připravené experimentální sady¹¹:

- Elektrostatika
- Termodynamika I – kvantitativní pojetí
- Termodynamika II – konceptuální pojetí
- Rotační pohyb
- Mechanika tuhého tělesa a mechanické kmitání
- Magnetické pole cívek

Termíny, na které jsou jednotlivé sady vypsány, jsou zveřejněny na webových stránkách laboratoře (Interaktivní fyzikální laboratoř, b.r.) a školy se na ně přihlašují předem pomocí webového formuláře.

Najednou přichází do IFL se svým vyučujícím nejvýše 16 studentů, kteří se obvykle na místě rozdělí do čtyř až pěti skupin, ve kterých následujících 120 minut pracují. Některé sady jsou připraveny tak, že studenti během uvedeného času vystřídají několik různých stanovišť, v případě jiných sad tráví každá skupina celou dobu na svém

¹¹ Stav v dubnu 2016; v rámci této práce vznikly celky Termodynamika I a II.

jediném stanovišti, kde do detailu proniká do konkrétní problematiky. Po celou dobu experimentování jsou studentům k dispozici lektori, kterými jsou vysokoškolští studenti učitelství matematiky-fyziky, tj. budoucí učitelé, případně doktorandi z Katedry didaktiky fyziky; obvykle se do lektorské role víceméně přirozeně situují i samotní vyučující studentů. Role lektorů je nicméně pouze podpůrná, studenti jsou vedeni k maximálně samostatné práci.

Po uplynutí 120 minut se všichni účastníci experimentování sesednou do společného kruhu a úkolem každé skupiny je, aby formou krátké ústní prezentace (doplněné v případě potřeby názornými ukázkami) seznámila ostatní se svým experimentováním, jeho cíli, zásadními momenty, úskalími a závěry. Na rozdíl od školních laboratorních prací není po studentech vyžadováno odevzdání protokolu nebo jiné formy záznamu z měření; vše, co si studenti zaznamenali, si ale odnášejí s sebou a pak je již zcela na jejich vyučujících, zda budou s těmito výstupy nadále ve své výuce pracovat.

Jednotlivé odstavce výše by bylo možné ještě detailněji rozebrat – tím se ve své disertační práci zabývá kolega RNDr. Zdeněk Šabatka (Šabatka, v tisku), který se hlouběji věnuje i metodice používané v IFL a současně je autorem většiny zbývajících, „netermodynamických“ sad experimentů.

7. 2. Termodynamika v Interaktivní fyzikální laboratoři

7. 2. 1. První sada experimentů z termodynamiky (prosinec 2013 – červen 2015)

Sada zabývající se termodynamikou, která byla připravena autorem této práce, se poprvé stala součástí nabídky IFL v prosinci 2013 a zahrnovala čtyři stanoviště nazvaná *Mechanismy tepelné výměny*, *Kalorimetrie*, *Děje s ideálním plynem* a *Skupenské přeměny*. Všechna uvedená stanoviště byla koncipována tak, že vyžadovala minimálně 90 minut soustředěné práce, takže každá skupina studentů trávila celou dobu své návštěvy IFL na jediném stanovišti. Studenti dostávali zvlášť *pokyny k měření*, které nechávali i po svém odchodu na stanovišti pro další návštěvníky, a zvlášť *záznamové listy*, do kterých mohli přímo vpisovat svá řešení a které si po skončení experimentování odnášeli s sebou. Ukázkou těchto materiálů pro stanoviště *Mechanismy tepelné výměny* nabízí přílohy 8 a 9.

Mezi prosincem 2013 a červnem 2015 prošlo experimentálními stanovišti ve výše uvedené podobě celkem 27 skupin studentů, tj. celkem více než 400 návštěvníků. Autor práce byl osobně drtivě většině studentských návštěv přítomen a měl tak možnost sledovat, co je pro studenty snadné a co pro ně naopak představuje problém – včetně toho, zda je problém skryt v přílišné náročnosti měření, komplikované matematizaci, špatné srozumitelnosti zadání, nejasnostech průvodního textu apod. Na základě těchto pozorování byly materiály k jednotlivým stanovištím průběžně aktualizovány a upravovány, a to zejména z formulačního hlediska, doplněním názorných obrázků apod.; po obsahové stránce šlo ale až do června 2015 o změny marginální.

7. 2. 2. Změny provedené na základě zkušeností s první sadou

V létě roku 2015 provedl autor práce vyhodnocení dosavadních pozorování a na jejich základě přistoupil k rozsáhlé inovaci původních materiálů vycházející ze zkušeností získaných praktickým využíváním těchto materiálů v IFL. Níže uvedené body shrnují nejzásadnější provedené změny:

- **Změna časového rozvržení.** Časový model, ve kterém každé stanoviště vytíží studenty na celých 120 minut, se zdá být dobrou cestou, jak umožnit dané skupině proniknout hluboko do jedné konkrétní fyzikální problematiky. Současně ale tento model přináší značné nevýhody, především neumožňuje studentům udělat si o tématu širší (byť méně detailní) přehled. Pokud navíc návštěvníkům jejich stanoviště jednoduše „nesedne“, vede to ke značnému poklesu jejich motivace a snahy, a to bez vyhlídky na změnu (rozumějme na přesun k jinému stanovišti). Tyto dva podstatné důvody jsou příčinou toho, že model časově náročných stanovišť se v IFL v současné době opouští a jsou preferována stanoviště v délce přibližně 30 minut. Termodynamická stanoviště byla proto nově připravena tak, aby bylo každé z nich zvládnutelné průměrnou skupinou studentů za 30 až 40 minut, což v reálu umožňuje, aby každá skupina během své návštěvy vystřídalala přibližně tři stanoviště. Redukce časové náročnosti původních stanovišť nutně vedla k vynechání či zjednodušení některých experimentů.
- **Spojení pokynů k měření se záznamovými listy.** Zkušenost ukázala, že pro studenty je poměrně náročné manipulovat současně se dvěma tištěnými materiály, kde jeden se odkazuje na druhý; oddělení pokynů k měření a záznamových listů bylo těžkopádné a matoucí. Proto byly oba texty integrovány do jednoho celku, který je dále nazýván *pracovním listem* a do nějž studenti přímo k popsaným úkolům zaznamenávali své hypotézy, myšlenky, výpočty atd.
- **Zkrácení úvodních teoretických textů.** Redukce počtu experimentů umožnila také zkrácení úvodních teoretických textů, jejich omezení pouze na základní pojmy a vztahy přímo související s experimenty na stanovišti.
- **Nastavování měřicího softwaru.** V původních materiálech byla špatně odhadnuta schopnost studentů se intuitivně zorientovat v prostředí měřicího softwaru (program Logger Pro), v instrukcích chyběly základní informace o jeho obsluze; mnoho času tak studenti strávili hledáním příslušných příkazů. V nové verzi materiálů jsou již uvedeny příslušné klávesové zkratky a ikony, jež značně usnadňují práci s programem.

- **Méně manipulace při přípravě experimentů.** Manuální zručnost jistě patří mezi dovednosti, které je vhodné rozvíjet a na které v běžné výuce velké množství času nezbyvá – to jsou jistě dostatečné důvody k tomu, aby se jí v IFL dostávalo pozornosti. V úvodu několika málo experimentů se ovšem studenti často věnovali sestavování složitějších aparatur tak dlouho, že následná měření již časově nezvládali; v těchto případech bylo sestavování aparatur z nových pracovních listů vyškrtáno a ponecháno na lektorech (tyto aparatury jsou tedy nyní sestavovány ještě před příchodem studentů).
- **Důsledné vyžadování hypotéz a odhadů.** Již v první verzi materiálů byly po studentech vyžadovány před provedením některých experimentů hypotézy, předpovědi, jak pokus dopadne; nebylo ale vyčleněno místo pro jejich zapsání, a tak studenti tuto pasáž často automaticky přeskakovali, aniž by se nad nějakým odhadem zkusili zamyslet. Nové materiály proto obsahují jasně vymezená místa pro formulování hypotéz a předpovědí; současně se výrazně zvýšil jejich počet.
- **Formulování závěrů.** Krátké závěrečné prezentace jednotlivých skupinek (zmíněné v podkapitole 7. 1.) ukázaly, že někdy studenti správně popíší a okomentují průběh měření, ale nejsou schopni stručně a jasně zformulovat nejpodstatnější závěry, hlavní zjištění. Proto jsou všechny nové pracovní listy zakončeny pasáží, ve které mají studenti právě toto udělat – nejčastěji formou doplňování slov či vět do souvislého shrnujícího textu.

Jak již bylo řečeno výše, změna časového rozvržení s sebou přinesla vyřazení některých experimentů obsažených v původních stanovištích; šlo však o vyzkoušené pokusy, které by bylo chybou zcela opustit. Kromě toho v létě 2015, kdy zásadní přepracování pracovních listů probíhalo, bylo již připraveno a vyzkoušeno mnoho dalších experimentů, které vznikly jako reakce na výsledky zadávání testu CTCE zaměřeného na miskoncepce středoškoláků v oblasti tepelných jevů. Tento „přetlak“ pokusů vyústil v září 2015 v rozhodnutí zařazovat do programu IFL nikoliv jednu, ale hned dvě sady experimentů z termodynamiky – sady nazvané *Termodynamika I* a *II*.

První sada je zaměřena na kvantitativní pokusy a využívá rozsáhlou matematizaci, druhá se pak zaměřuje spíše na konceptuální porozumění jevům a dominují v ní kvalitativní experimenty inspirované výzkumem miskonceptů, který autor práce popsal v její první části. V následujících podkapitolách jsou obě sady detailněji popsány.

7. 2. 3. Sada experimentů *Termodynamika I* – kvantitativní pojetí (od října 2015)

První sada experimentů je víceméně redukovanou a dle výše popsaných změn upravenou verzí původní sady, jež byla popsána v podkapitole 7. 2. 1. Obecným cílem

celé sady je v prostředí termodynamiky seznámit studenty s různými metodami sběru číselných experimentálních dat a s přístupem k jejich následné interpretaci. Zařazené experimenty jsou výhradně kvantitativní a jejich výstupy bývá typicky hodnota konkrétní veličiny či tvar křivky. Tematicky sleduje tato sada partie probírané v rámci středoškolské fyziky a může tak sloužit jako přímý doplněk výuky.

Sadu tvoří následujících pět stanovišť I. A až I. E, každé dimenzované na přibližně půlhodinovou práci studentů; jednotlivé autorsky řešené pracovní listy jsou k této práci přiloženy jako příloha 10.

(I. A) Určení měrné tepelné kapacity vody

Stanoviště vychází z experimentu číslo 7 (popsaného v podkapitole 6. 3. 3.) a cílem studentů je zde naměřit potřebné údaje při zahřívání vody topnou spirálou a následně z těchto údajů dopočítat měrnou tepelnou kapacitu vody.

Důraz je kladen na porozumění vztahu mezi vykonanou elektrickou prací (Jouleovým teplem) a teplem ohřívajícím vodu a nádobu; kromě toho vede pracovní list studenty k zamyšlení nad tím, nakolik bylo jejich měření přesné a jaké vlivy do něj mohly promlouvat. K měření teploty se využívají klasické teploměry, stanoviště nevyžaduje práci s počítačem.

(I. B) Porovnání měrné tepelné kapacity oleje a vody

Stanoviště vychází z experimentu číslo 9 (popsaného v podkapitole 6. 3. 3.) a jeho cílem je poukázat na rozdílnou rychlost, se kterou roste teplota dvou kapalin s různou měrnou tepelnou kapacitou při jejich současném zahřívání v malých nádobkách. Druhotně si pak stanoviště klade za cíl uvést studenty do situace, ve které výsledek měření odporuje jejich předpovědi a je třeba hledat komplexnější vysvětlení zahrnující další, dosud opomíjené vlivy. Studenti totiž během experimentu narazí na zjištění, že ačkoliv voda má větší měrnou kapacitu než olej, roste v první fázi experimentu její teplota rychleji; tento paradox je způsoben značnou viskozitou oleje, která zpočátku omezuje proudění této kapaliny natolik, že zahřátý olej ode dna nemůže vystoupat k měřicí hlavě teplotního čidla.

Přibližně polovina studentů na toto vysvětlení samostatně přijde (ačkoliv často dochází k záměně viskozity s hustotou), druhou polovinu k němu nasměrují návodné otázky; aby prokázali, že vysvětlení rozumí, mají studenti nakonec navrhnout takové uspořádání pokusu, ve kterém by se vliv viskozity oleje neprojevil (míchání kapalin, spuštění čidel až ke dnu nádoby apod.).

Stanoviště využívá dvě teplotní čidla spolupracující s počítačem, který vykresluje časové závislosti teploty.

(I. C) Kalorimetrie

Klasická kalorimetrická úloha směřuje k určení měrné tepelné kapacity neznámého materiálu na základě výpočtu z kalorimetrické rovnice, která je zde chápána jako velmi speciální podoba zákona zachování energie. Aby bylo možné získat

představu o přesnosti měření, jsou studovanými materiály ocel a olovo, kovy se snadno dohledatelnou hodnotou měrné tepelné kapacity.

Důraz je kladen na to, aby studenti samostatně vyhodnotili, které části měření či výpočtu jsou nejzásadnějšími zdroji nepřesností, kde vznikají největší odchylky od tabulkových hodnot a jak by se dal postup zpřesnit (například rozšířením kalorimetrické rovnice o člen odpovídající nádobě apod.). K měření teploty se využívá klasický kapalinový teploměr, stanoviště nevyžaduje práci s počítačem.

(I. D) Ověření Boyleova – Mariottova zákona

Cílem měření je zjistit závislost tlaku ideálního plynu p na jeho objemu V při izotermickém ději a z naměřených hodnot odhadnout jeho látkové množství. Pomocí tlakového čidla a oceňované stříkačky proměří studenti body uvedené závislosti, proloží jimi graf odpovídající nepřímé úměrnosti a z jeho matematického předpisu získají hodnotu odpovídající součinu pV , která otevírá možnosti dalších výpočtů – odhad počtu částic plynu, odhad látkového množství, odhad molární hmotnosti vzduchu apod., podrobněji viz např. Kácovský (2012).

Největším objevem tohoto měření je pro studenty obvykle fakt, že nemusí vybírat, ze které dvojice tlak-objem budou výše uvedené molární veličiny počítat, ale že konstanta v předpisu nepřímé úměry už součin těchto dvou veličin vyjadřuje, a to s maximální možnou přesností, kterou aproximace hyperboly všemi naměřenými body umožňuje; stanoviště tedy slouží i jako ukázka síly matematického popisu fyzikálních dějů.

Protože naměřené body obvykle velmi dobře odpovídají předpisu nepřímé úměrnosti, lze díky měření dále ukázat, že vzduch o pokojové teplotě a běžných tlacích (zde 50 – 200 kPa) lze velmi dobře modelovat rovnicemi ideálního plynu. Stanoviště využívá tlakové čidlo spolupracující s počítačem prostřednictvím softwaru Logger Pro.

(I. E) Ověření Charlesova zákona

Na posledním stanovišti první sady je cílem studentů proměřit závislost tlaku ideálního plynu p na jeho teplotě T při izochorickém ději a z naměřených hodnot odhadnout objem 1 molu plynu za normálních podmínek. Zkoumaný plyn (vzduch) je uzavřen do kulové nádoby, která je připojena k tlakovému čidlu a současně ponořena do vodní lázně; změnou teploty lázně lze tedy měnit tlak plynu uvnitř.

Studenti proměří tlak alespoň pro deset různých teplot a získané body pT závislosti aproximují přímkou; z předpisu přímé úměrnosti získaný podíl p/T pak po manipulaci se stavovou rovnicí ideálního plynu využijí k dopočítání objemu jednoho molu plynu. Podobně jako na předcházejícím stanovišti, i v případě Charlesova zákona bývá pro studenty cennou zkušeností odečítání a interpretace číselné hodnoty z předpisu aproximující křivky.

Naměřené hodnoty obvykle velmi dobře odpovídají lineární závislosti, ne vždy už ale teoreticky předpovídané přímé úměrnosti, což otevírá značný prostor pro diskusi

o přesnosti měření a faktorech, které ji ovlivňují. Stanoviště využívá teplotní a tlakové čidlo spolupracující s počítačem prostřednictvím softwaru Logger Pro.

7. 2. 4. Sada experimentů *Termodynamika II* – konceptuální pojetí (od října 2015)

Druhá sada experimentů se na rozdíl od té první skládá převážně z experimentů kvalitativních a zaměřuje se na konceptuální porozumění; je zde zastoupeno i osmnáct experimentů, které patří mezi ty popsané v podkapitole 6. 4. Obecným cílem celé sady je snaha pomocí vhodných pokusů potlačovat nejčastější miskoncepce v oblasti tepelných jevů.

Podoba sady vychází převážně z výzkumu CTCE, který autor popsal v první části této disertační práce. Pro připomenutí lze uvést, že vyhodnocení tohoto výzkumu (podrobněji diskutované v podkapitole 3. 3.) ukázalo jako nejzásadnější ty miskoncepce studentů, které jsou spojené se skupenskými přeměnami a souvisejícími změnami teploty; dalšími problematickými pasážemi se ukázala být tepelná vodivost a pojmání tepla jako stavové veličiny. Poslední jmenovaná miskoncepce se často projevuje používáním nefyzikální terminologie („jedno těleso obsahuje více tepla než druhé“, „teplo se zvýšilo“ apod.) a vzhledem ke značné abstrakci pojmu *teplo* nenašel autor práce způsob, jak ji experimentálně vyvrátit či alespoň konfrontovat s výsledkem pokusu; témata skupenských přeměn a tepelné vodivosti jsou ale ve druhé sadě obsahově dominantní.

Sadu tvoří následujících pět stanovišť II. A až II. E, každé dimenzované na přibližně půlhodinovou práci studentů; jednotlivé autorsky řešené pracovní listy jsou k této práci přiloženy jako příloha 11.

(II. A) Vedení tepla

Cílem stanoviště je seznámit návštěvníky s vedením tepla coby jedním z mechanismů přeměny vnitřní energie; přestože s pojmy *tepelný vodič* a *tepelný izolant* jsou obvykle studenti obeznámeni, jejich odhady, jak dopadnou reálné experimenty ukazující různou tepelnou vodivost látek, nebývají – aspoň jak lze soudit díky zkušenostem z IFL – přesvědčivé.

V prvním experimentu je úkolem studentů předpovědět a následně pomocí termovizní kamery experimentálně prokázat, jak se od jejich dlaní bude zahřívat kovová a plastová destička – zatímco kov se prohřeje v celém svém objemu, plast zvýší teplotu pouze v místě dotyku. Navazující experiment má stejné zadání, pouze namísto dlaní využívá nádoby s ledem; důraz je kladen na to, aby interpretace obou pokusů pracovala pouze s konceptem dodávání a odevzdávání tepla, nikoliv s konceptem chladu (viz podkapitola 3. 2. 2.), což zde bývá častou chybou studentů.

Po odlišení tepelného vodiče a izolantu mají studenti porovnat tepelnou vodivost různých kovů, a to opět kvalitativně s využitím termocitlivých folií; tato část obvykle nepůsobí žádnou výraznou obtíž.

Stanoviště uzavírají dva experimenty, kdy je úkolem studentů pomocí získaných poznatků o vedení tepla vysvětlit, proč papír omotaný kolem měděné trubky v plamenu zápalky či svíčky nevzplane a jakým způsobem a proč spirála z měděného drátu ovlivňuje tento plamen, je-li do něj vložena.

Volba různých vizualizačních prostředků a využívání jednoduchých situací mohou být důvodem toho, že toto stanoviště je obvykle oceňováno jako atraktivní a studenti zde spontánně vymýšlejí své nové, tematicky navazující pokusy (např. jak je to s tepelnou vodivostí kůže apod.).

(II. B) Termografie

Termografické stanoviště mezi ostatními stanovišti druhé sady poněkud vyčnívá – na rozdíl od nich není nijak napojeno na výzkum o miskoncepcích a navíc se tematicky odchyluje od obsahu běžné středoškolské výuky fyziky. Cílem je přiblížit studentům infračervené záření jako „sourozence“ dobře známého záření viditelného a následně demonstrovat jeho využití při bezkontaktním měření povrchové teploty těles.

V první části studenti zkoumají vlastnosti dlouhovlnného infračerveného záření ve smyslu jeho interakce s povrchem, na který záření dopadá (jde tedy primárně o jeho odraz, průchod či pohlcení), a srovnávají některé tyto vlastnosti s chováním viditelného záření – světla. Druhá část potom využívá termografické zobrazování pro vizualizaci jevů, které jsou ve fyzice studentům předkládány „k věření“, ale nebývají obvykle podpořeny experimentálními důkazy – zde konkrétně jde o zahřátí podložky po úderu gumovou palicí a při smýkání tělesa po podložce, tedy obecně o jevy spojené s růstem teploty (přesněji vnitřní energie) konáním mechanické práce.

Celé stanoviště je vázáno na využívání termovizní kamery.

(II. C) Tání krystalických látek

Třetí stanoviště se skládá ze dvou částí. Ta první si klade za cíl vyvrátit mezi studenty častou miskoncepci, že teplota pevné, chemicky čisté krystalické látky se během jejího tání zvyšuje. Úkolem studentů je zde proměřit vývoj teploty při zahřívání pentahydrátu thiosíranu sodného a následně ze získané závislosti odhadnout teplotu tání této látky; naměřený graf zcela jasně signalizuje, že dokud tání probíhá, teplota látky se nemění.

Ve druhé části připravují studenti směs ledu, vody a kuchyňské soli a měří minimální teplotu, na kterou jsou schopni tuto směs ochladit. Kromě skutečnosti, že lze takto demonstrovat vliv příměsi (soli) na teplotu tání chemicky čisté látky, je sem tento experiment zařazen na základě autorových předcházejících zkušeností z IFL – studenti si jej sice obvykle spojili se solením namrzlých silnic, ale málokdy mu porozuměli. Naopak, spojení pokusu s více či méně známým faktem, že solení zbavuje silnice ledu, vedlo studenty k typickému očekávání, že reakce soli, ledu a vody bude exotermická, teplo se při ní uvolní a led díky zvýšení teploty roztaje. Stanoviště dává prostor experimentálně ukázat, že tomu tak není, a pátrat po pravé příčině pozorovaného děje.

(II. D) Vypařování, kondenzace a var

Mezi vůbec nejsilnější miskoncepce identifikované pomocí výzkumu CTCE patřily ty spojené s vypařováním a varem vody (viz podkapitola 3. 2. 1.). Čtvrté stanoviště druhé sady si proto dává za cíl jasně demonstrovat, že...

1. ... kapaliny při svém vypařování z povrchů tyto povrchy ochlazují
2. ... teplota, při které se voda vaří, neroste při dalším dodávání tepla
3. ... teplota varu vody klesá se snižujícím se tlakem okolního vzduchu

Zejména v hypotézách týkajících se prvního bodu studenti často chybují, když očekávají, že pokud vyjmeme předmět z kapaliny, není důvod, aby se jeho teplota změnila, pokud byly předmět a kapalina společně v rovnováze při pokojové teplotě; efekt vypařování začínají obvykle uvažovat až ve chvíli, kdy je proveden experiment odporující jejich předpovědím.

K prokázání prvního uvedeného bodu využívají studenti na stanovišti mj. i termovizní kameru, pomocí níž ověří nejen existenci skupenského tepla vypařování, ale také skupenského tepla kondenzace. Při měření teploty varu vody je využíván teploměr spolupracující s počítačem, pro demonstraci varu za sníženého tlaku je na stanovišti používána kuchyňská vakuovací nádoba.

(II. E) Jak ovlivnit rychlost vypařování

Poslední stanoviště má jako jediné z druhé sady kvantitativní charakter, ovšem ani zde není cílem určovat hodnoty fyzikálních veličin či průběhy naměřených závislostí; studenti mají pomocí jednoduchých pokusů rozhodnout, jakým způsobem je rychlost vypařování kapaliny ovlivněna plochou její hladiny a případným odstraňováním par nad hladinou. Tyto dva vlivy se obvykle ve školním prostředí v souvislosti s rychlostí vypařování zmiňují, typicky ale bez experimentálních důkazů.

Celý problém rychlosti vypařování je na stanovišti převeden na měření hmotnosti – pomocí přesných vah s citlivostí 1 mg měří studenti hmotnost nádoby s lihem a v reálném čase pozorují a zaznamenávají její pokles způsobený právě vypařováním. Pro posouzení vlivu velikosti hladiny jsou využity nádoby různých průměrů, odstraňování par nad hladinou je modelováno zapnutím ventilátoru z počítače.

Pro studenty jsou výsledky experimentu poměrně snadno předvídatelné, obvykle jsou ale překvapeni, jak silný vliv má odstraňování par ventilátorem, které je v daném experimentálním uspořádání schopné urychlit vypařování více než desetinásobně.

7. 2. 5. Zkušenosti se sadami *Termodynamika I & II*

Od října 2015 do dubna 2016 prošlo sadami experimentů *Termodynamika I* a *Termodynamika II* dohromady přibližně 130 středoškolských studentů z převážně pražských škol.

Nově používané pracovní listy, které byly popsány v podkapitolách 7. 2. 3. a 7. 2. 4., se – na základě pozorování autora této práce i dalších lektorů IFL – ukázaly být funkčním nástrojem, který studenty experimentálními stanovišti srozumitelně provází, a tudíž si od svého vzniku vyžádaly pouze několik kosmetických jazykových úprav.

Za vůbec nejvýraznější benefit nových pracovních listů pak autor této práce považuje fakt, že jejich explicitní důraz na formulování a ověřování hypotéz vedl k nárůstu počtu studentů, kteří touto cestou skutečně poctivě procházejí a nesnaží se ji nějakým způsobem obcházet.

Kromě změn popsaných v podkapitole 7. 2. 2. byl v tomto období uveden do praxe také nový formát experimentování, kdy bylo vždy pro čtyři skupiny studentů připravováno celkem pět stanovišť (I. A až I. E nebo II. A až II. E) – jedno stanoviště tak vždy zůstávalo neobsazené. Tato varianta práce s sebou přinesla dvě podstatné výhody:

- Předně se podařilo odstranit těžkosti, ke kterým docházelo, pokud byly ve výkonnosti a rychlosti jednotlivých skupin studentů velké rozdíly – rychlejší skupiny nemohly obsadit další stanoviště, dokud jej neopustili jejich pomalejší kolegové. Protože je v novém formátu jedno stanoviště ponecháváno volné, je vždy k dispozici právě pro studenty, kteří svoji práci ukončí dříve než jejich kolegové. V praxi se tak stává, že nejvýkonnější skupiny studentů jsou za dobu svého pobytu v laboratoři schopny navštívit čtyři stanoviště, zatímco ty nejpomalejší pouze dvě, aniž by se přitom tyto skupiny jakkoli vzájemně omezovaly.
- Vedlejším příznivým efektem uvedené varianty práce je snazší průběžná údržba či úklid pomůcek, kterou může lektor provádět vždy na aktuálně volném stanovišti tak, aby plnohodnotně sloužilo i skupinám, které na něj ještě zamíří.

7. 3. Vize dalšího využití experimentálních sad v IFL

Autor této disertační práce popisuje v její první části identifikaci existujících miskonceptů středoškolských studentů na poli tepelných jevů, ve druhé se pak věnuje navrhování a přípravě experimentů z této oblasti, jež byly více jak z poloviny těmito miskoncepty přímo inspirovány.

Tyto výstupy naplňují cíle práce vytčené v jejím úvodu, současně se ale otevírají další možnosti, jak se vzniklými materiály v budoucnu výzkumně pracovat. Zcela zásadní otázkou, která spojuje obě části této práce, je otázka, zda a jakým způsobem experimentování studentů v IFL ovlivňuje jejich konceptuální pochopení daného

fyzikálního tématu. Tato otázka je naléhavá zejména v případě experimentální sady *Termodynamika II*, která plně vychází ze zjištěných miskoncepcí a často staví studenty do kognitivního konfliktu mezi jejich představami a výsledky reálných experimentů. Zda jsou ovšem tímto konfliktem typické miskoncepce skutečně účinně redukovány, to zůstává objektivně nezodpovězenou otázkou a velkou inspirací k dalším výzkumným projektům.

Jinou výzkumně atraktivní linkou je studium motivací, se kterými učitelé své studenty do IFL přivádějí, zda s výstupy z měření ve svých hodinách dále pracují, případně zjištění, jaké typy experimentů zde učitelé i studenti preferují. Ze subjektivního pozorování autora práce se například zdá, že zatímco studenty baví zejména kvalitativní experimenty ze sady *Termodynamika II*, učitelé jemně upřednostňují matematizované pokusy ze sady *Termodynamika I*; jde ovšem skutečně pouze o neověřenou hypotézu, která заслужuje podrobnější studium.

Obecně platí, že v *Interaktivní fyzikální laboratoři* se v mimoškolním prostředí setkává svět akademických prací a reálných studentů, čímž toto místo nabízí značný prostor pro výše popsané výzkumné aktivity. Počtem účastníků se studentů i časovou dotací, která je jedné skupině studentů vymezena, pak lze uvažovat jak o výzkumu kvantitativním, tak kvalitativním či smíšeném.

Závěr

Předmětem zájmu této disertační práce byly především experimenty ve výuce termodynamiky, částečně inspirované miskoncepce středoškolských studentů v téže oblasti. Úkolem tohoto závěru je práci zrekapitulovat a posoudit splnění původně vytčených cílů.

První část práce lze označit jako část **výzkumnou** (kapitoly č. 1-4). Po úvodním vymezení pojmu *miskoncepce* a přehledu relevantní zahraniční i domácí literatury je popsán autorův výzkum miskoncepce v oblasti tepelných jevů na vyšším stupni českých gymnázií; cílem výzkumu bylo nejen nejvýraznější miskoncepce identifikovat, ale také pomocí zadání pretestu a posttestu posoudit, jaký vliv na ně má standardně vedená výuka. Výzkumným nástrojem se stal do češtiny přeložený a částečně redukovaný test *Thermal Concept Evaluation* (Yeo & Zadnik, 2001), dále označovaný jako CTCE. Vlastního testování se v pretestu a posttestu účastnilo celkem 520 studentů z 18 gymnázií.

Výsledky testu ukázaly, že nejzásadnější miskoncepce studentů se vztahují k tématu skupenských přeměn a s nimi souvisejících změn teploty – konkrétně jde o přesvědčení, že během varu roste teplota kapaliny, teplota vroucí vody nutně překračuje 100 °C, případně že nelze získat vodu o teplotě 0 °C apod. Další výraznou miskoncepce je pojmání tepla jako stavové veličiny, jakési energie ukryté v látce (zaměňování tepla za vnitřní energii). Obě uvedené miskoncepce vykazaly značnou odolnost vůči změnám a posttest nedetekoval jejich zásadní zeslabení. Dalším fenoménem, na který studenti nahlížejí značně nekonzistentně, je tepelná vodivost, kde ovšem v některých otázkách došlo v posttestu k zásadnímu zlepšení.

Obecně došlo mezi pretestem a posttestem ke zlepšení skóre studentů ve všech 19 otázkách, a ačkoliv je toto zlepšení statisticky významné na hladině $p < 0,001$, celkový normalizovaný zisk $g = 0,23$ značí nízkou efektivitu výuky.

Necelá polovina respondentů byla s dvouletým odstupem požádána o vyplnění testu CTCE i potřetí, a to pro potřeby retenčního testování. Toto testování na vzorku 248 studentů ukázalo, že síla jednotlivých miskoncepce se od posttestu žádným zásadním způsobem nezměnila – původně identifikované miskoncepce spíše přetrvaly a výrazné nové naopak nevznikly. Nejzásadnějším zjištěním retenčního testování je skutečnost, že jeho výsledky se od výsledků posttestu statisticky významně neliší a lze tak konstatovat, že po dvouletém odstupu dosahovali studenti stejných skóre jako při posttestu.

Poněkud mimo hlavní směřování této práce byly v souvislosti s testem CTCE realizovány další dva výzkumné projekty, které se zaměřily na postoje studentů – šlo o krátký dotazník spojený přímo s testem CTCE (podkapitola 4. 1.) a dotazník významu slov ve formě sémantického diferenciálu (podkapitola 4. 2.).

Pomocí krátkého dotazníku bylo zjištěno, že respondenti vnímají fyziku jako užitečnou pro společnost, ale mnohem méně užitečnou pro sebe sama. To, jak studenty

fyzika baví, přitom velmi dobře koreluje s jejich očekáváním, že ji budou ve své budoucnosti potřebovat; pohled dívek na fyziku je přitom ve srovnání s chlapci statisticky významně kritičtější. Obecně pak lze říci, že s klesajícími zisky v pretestu i posttestu CTCE míra kritičnosti studentů vůči fyzice rostla.

Výzkum využívající techniku sémantického diferenciálu se primárně zaměřoval na polohu slov *experiment* a *fyzika* v sémantickém prostoru dalších vybraných pojmů, které měli studenti hodnotit na osmi bipolárních škálách adjektiv. Pojem *experiment* je vnímám jako poměrně zajímavý a logický, studenti ale nejsou přesvědčeni o jeho užitečnosti. *Fyzika* patří spolu s *chemií* k pojmům, které jsou vnímány jako obtížné, těžké, nudné, problémové a nepříliš užitečné, na druhou stranu ale logické. Nekritickým způsobem přistupují studenti k pojmu *zábava*, velmi pozitivně nahlízejí také na *zkušenost*.

Druhá část práce (kapitoly č. 5-7) má charakter **vývojový** a byla zaměřena na přípravu a ověřování pokusů podporujících výuku termodynamiky na středoškolské úrovni a vývoj souvisejících podpůrných materiálů. Úvodní rešeršní část shrnuje aktuálně dostupné české i anglické zdroje termodynamických experimentů a nabídku českých science center ve vztahu k této partii fyziky. Další text je věnován kritériím, podle kterých byly zpracovávány experimenty vybírány – tím hlavním byla jejich vazba na některé identifikované miskoncepce, mnoho relevantních experimentů bylo ale pro následné zpracování zvoleno i na základě jiných motivací (viz podkapitola 6. 1.).

Cílem autora bylo zpracovat experimenty ve dvojí podobě – tak, aby byly užitečné jak ve formě návodů pro učitele (kapitola 6), tak ve formě pracovních listů pro studenty (kapitola 7).

Tvorba a publikování návodů byly úzce spojeny s projektem elektronické Sbírkou fyzikálních pokusů (Sbírka fyzikálních pokusů, b.r.) vznikající na Katedře didaktiky fyziky MFF UK. Pro tuto sbírku vzniklo v rámci této práce 46 strukturovaných podpůrných materiálů pro experimenty doplněných obrazovou dokumentací a celkem 42 videosekvencemi. Cílem těchto experimentů je podpořit a inspirovat učitele v jejich experimentální činnosti ve výuce fyziky; popsané postupy nejsou univerzálně platnými pravdami, ale doporučeními autora této práce, která vzešla z jeho osobních zkušeností při přípravě a provádění pokusů jím či studenty.

U každého experimentu je v elektronické sbírce uveden jeho cíl, související fyzikální teorie, seznam potřebných pomůcek, postup při provádění, vzorový výsledek (tabulka, graf, video, fotografie apod.) a technické a metodické poznámky usnadňující jeho provádění a upozorňující na případné nesnáze. Všechny publikované pokusy byly autorem ověřeny při práci se studenty, ať už v prostředí Matematicko-fyzikální fakulty či Soukromého gymnázia ARCUS, kde autor práce v současné době vyučuje; kromě toho je posoudili a připomínkovali dva zkušení středoškolští učitelé s dlouholetou praxí.

Přibližně polovina z výše uvedených 46 experimentů se současně stala základem pro stanoviště v tzv. *Interaktivní fyzikální laboratoři* (IFL). Tato laboratoř spravovaná

Katedrou didaktiky fyziky MFF UK slouží středoškolským studentům, kteří zde dostávají možnost vlastnoručně experimentovat s připravenými pomůckami, a to v sadách věnovaných různým fyzikálním tématům. V rámci této práce vznikly pracovní listy ke dvěma termodynamicky zaměřeným experimentálním sadám (viz přílohy 10 a 11), z nichž každá se skládá z pěti stanovišť. Sada *Termodynamika I* obsahuje převážně kvantitativní pokusy spojené se značnou matematizací, sada *Termodynamika II* je složena z pokusů převážně kvalitativních, zaměřuje se na konceptuální porozumění a reflektuje svým obsahem výsledky výzkumu CTCE.

Všechny vzniklé pracovní listy slouží v současné době v běžném provozu IFL.

* * *

Závěrem se autor odvažuje konstatovat, že cíle práce uvedené v jejím úvodu byly uspokojivě naplněny. Současně je si ale vědom toho, že tato práce představuje v některých ohledech pouze vykročení po cestě, kterou lze dále sledovat – například velké množství dat získané technikou sémantického diferenciálu stále čeká na své vytěžení, značný prostor pro výzkum nabízí také otázka, zda experimentování studentů v IFL nějakým způsobem ovlivňuje jejich porozumění fyzikálním jevům apod. K těmto otevřeným možnostem se plánuje autor práce vrátit a detailněji se jim dále věnovat.

Seznam použité literatury

- Alwan, A. A. (2011). Misconception of heat and temperature among physics students. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 12, 600-614. ISSN: 1877-0428.
- Bartuška, K., & Svoboda, E. (2010). *Fyzika pro gymnázia: Molekulová fyzika a termika*. Dotisk 5. vydání. Praha: Prometheus. ISBN: 978-807-1963-837.
- Baser, M. (2006). Fostering conceptual change by cognitive conflict based instruction on students' understanding of heat and temperature concepts. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 2 (2), 96-114. ISSN: 1305-8223.
- Bílek, M. (1995). *Chemické experimenty se systémem ISES*. Hradec Králové: Katedra chemie PdF VŠP v Hradci Králové.
- Biofyzikální ústav LF MU. (b.r.). *Měření vzdálenosti pomocí termokamery*. [cit. 24. 3. 2016]. Dostupné z: <http://www.med.muni.cz/biofyz/files/biomedicina/termokamera%20pro%20VUT-student.pdf>
- Brockmeyerová, J., & Drozd, Z. (2003). *Pokusy z volné ruky*. Praha: Prometheus. ISBN: 80-7196-268-6.
- Cortina, J. M. (1993). What Is Coefficient Alpha? An Examination of Theory and Applications. *Journal of Applied Psychology*, 78 (1), 98-104. ISSN: 1939-1854.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16 (3), 297-334. ISSN: 1860-0980.
- Čečák, M. (2015). *Prekoncepce studentů o teple a teplotě*. Diplomová práce. Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha. Vedoucí práce Dana Mandíková.
- Dostál, J. (2013). Experiment jako součást badatelsky orientované výuky. In: *Sborník konference Trendy ve vzdělávání 2013* (ed.: M. Havelka, M. Chráska, M. Klement, Č. Serafín). Olomouc: Pedagogická fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, 9-19. ISBN: 978-80-86768-52-6.
- Dreyfus, B. W., Geller, B. D., Meltzer, D. E., & Sawtelle, V. (2015). Resource Letter TTSM-1: Teaching Thermodynamics and Statistical Mechanics in Introductory Physics, Chemistry, and Biology. *American Journal of Physics*, 83 (1), 5-21. ISSN: 0002-9505.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*. Philadelphia: Open University Press. ISBN: 0335150403.
- Dvořák, L. (ed.) (2008). *Lze učit fyziku zajímavěji a lépe? Příručka pro učitele*. Praha: MATFYZPRESS. ISBN: 978-80-7378-057-9.
- Ehrlich, R. (1990). *Turning the World Inside Out and 174 Other Simple Physics Demonstrations*. Princeton: Princeton University Press. ISBN: 978-0691023953.
- Erickson, G. L. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 63, 221-230. ISSN: 0036-8326.

- Erickson, G. L. (1980). Children's viewpoints of heat: A second look. *Science Education*, 64, 323-336. ISSN: 0036-8326.
- Ferjenčík, J. (2010). *Úvod do metodologie psychologického výzkumu*. Praha: Portál. ISBN: 978-80-7367-815-9.
- Fisher, K. M., Williams, K. S., & Lineback, J. E. (2011). Osmosis and diffusion conceptual assessment. *CBE Life Sciences Education*, 10 (4), 418-429. ISSN: 1931-7913.
- Freier, G. D., & Anderson, F. J. (1972). *A Demonstration Handbook For Physics*. College Park: The American Association of Physics Teachers. ISBN: 978-0917853326.
- Frňková, Z. (2013). *Využití termokamery ve výuce fyziky*. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc. Vedoucí práce Renata Holubová.
- Fyzikální experimenty. (b.r.). *Fyzikální experimenty – online databáze experimentů z fyziky*. [cit. 13. 11. 2015]. Dostupné z: <http://www.fyzikalni-experimenty.cz/cz/>
- Fyzlab. (b.r.). In: *YouTube*. [cit. 13. 11. 2015]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/user/fyzlab>
- Fyzmatik. (b.r.). [cit. 12. 11. 2015]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/termodynamika/>
- FyzWeb iQpark. (b.r.). *iQpark – fyzikální exponáty*. [cit. 26. 10. 2015]. Dostupné z: http://fyzweb.cz/materialy/iqpark/index_trideni.php
- FyzWeb. (b.r.). *Experimenty s Vernierem dle kapitol v učebnicích pro gymnázia*. [cit. 22. 1. 2016]. Dostupné z:
- Gibbs, K. (1999). *The Resourceful Physics Teacher*. Bristol: Institute of Physics Publishing. ISBN: 978-0750305815.
- Haglund, J., Jeppsson, F., Hedberg, D., & Schönborn, K. J. (2015). Thermal cameras in school laboratory activities. *Physics Education*, 50 (4), 424-430. ISSN: 0031-9120.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs. traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66 (1), 64-74. ISSN: 0002-9505.
- Harrison, A. G., Grayson, D. J., & Treagust, D. F. (1999). Investigating a grade 11 student's evolving conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 55-87. ISSN: 0022-4308.
- Hendl, J. (2012). *Přehled statistických metod*. Praha: Portál. ISBN: 978-80-7367-482-3.
- Höfer, G., & Prokšová, J. (2003). *Prvotní fyzikální představy žáků, neboli, Jaké představy si žáci přinášejí do výuky fyziky*. Studie výsledků výzkumu západoevropských didaktiků fyziky. Plzeň: Pedagogické centrum Plzeň. ISBN: 978-80-7020-131-2. <http://www.vernier.cz/download/namety/mereni-propustnosti-filtru.pdf>
- Hubeňák, J. (2013). Hezká fyzika s termokamerou (a něco navíc). In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 18: Sborník z konference* (ed. M. Křížová). Hradec Králové: Gaudeamus, 80-87. ISBN: 978-80-7435-372-7.

- Chalupníková, R., & Korberová, I. (2013). Termovizní kamera na ZŠ. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 18: Sborník z konference* (ed. M. Křížová). Hradec Králové: Gaudeamus, 88-91. ISBN: 978-80-7435-372-7.
- Chu, H.-E., Treagust, D. F., Yeo, S., & Zadnik, M. (2012). Evaluation of Students' Understanding of Thermal Concepts in Everyday Contexts. *International Journal of Science Education*, 34 (10), 1509-1534. ISSN: 0950-0693.
- Infrared Gallery. (b.r.). [cit. 1. 11. 2015]. Dostupné z: http://www.pbslearningmedia.org/asset/ess05_int_irgallery/
- Interaktivní fyzikální laboratoř. (b.r.). *Interaktivní fyzikální laboratoř na MFF UK*. [cit. 4. 2. 2016]. Dostupné z: <http://kdf.mff.cuni.cz/ifl/>
- Johnstone, A. H., MacDonald, J. J., & Webb, G. (1977). Misconceptions in school thermodynamics. *Physics Education*, 12(4), 248-251. ISSN: 0031-9120.
- Kácovský, P. (2012). *Využívání dataloggerů ve výuce fyziky (se zaměřením na systém Vernier)*. Diplomová práce. Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha. Vedoucí práce: Pavel Böhm.
- Kesidou, S., & Duit, R. (1993). Students' conceptions of the second law of thermodynamics – an interpretive study. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 85-106. ISSN: 0022-4308.
- Kopecká, V. (2012). Tepelná výměna mezi plamenem a jeho okolím. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 17: Sborník z konference* (ed. V. Koudelková). Praha: Nakladatelství P3K, 165-168. ISBN: 978-80-87343-13-5.
- Kubecová, M. (2013). *Experimenty s termokamerou ve školské fyzice*. Diplomová práce. Fakulta pedagogická, Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň. Vedoucí práce: Zdeňka Kielbusová.
- Leinonen, R. (2009). Leinonen's literature review. In: *Physics Education Research in Thermal Physics*. [cit. 2. 9. 2015]. Dostupné z: <http://thermoper.wikispaces.com/file/detail/Leinonen%27s+literature+review.pdf>
- Lewis, E. L., & Linn, M. C. (1994). Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: Implications for curricular improvements. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (6), 657-677. ISSN: 0022-4308.
- Likusová, D. (1994). *Představy žáků o teple a teplotě*. Diplomová práce. Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha. Vedoucí práce: Dana Mandíková.
- Luera, G. R., Otto, C. A., & Zitzewitz, P. W. (2005). A conceptual change approach to teaching energy and thermodynamics to pre-service elementary teachers. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 2 (4), 3-8. ISSN: 1559-3053.
- Luera, G. R., Otto, C. A., & Zitzewitz, P. W. (2006). Use of the thermal concept evaluation to focus instruction. *The Physics Teacher*, 44 (3), 162-166. ISSN: 0031-921x.
- Mandíková, D. (1990). *Intuitivní představy o pohybu a síle*. Disertační práce. Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha.

- Mandíková, D., & Trna, J. (2011). *Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky*. Brno: Paido. ISBN: 978-80-7315-226-0.
- Maskiewicz, A. C., & Lineback, J. E. (2013). Misconceptions Are „So Yesterday!“ *CBE Life Sciences Education*, 12 (3), 352-356. ISSN: 1931-7913.
- MBD Alchemie. (b.r.). In: *YouTube*. [cit. 22. 1. 2016]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=Zh45_WT8Cg0
- McDermott, L. (1993). Guest Comment: How we teach and how students learn – A mismatch? *American Journal of Physics*, 61 (4), 295-298. ISSN: 0002-9505.
- McDermott, L. C., & Redish, E. F. (1999). RL–PER1: Resource letter on physics education research. *American Journal of Physics*, 67, 755-767. ISSN: 0002-9505.
- Mechlová, E., & Košťál, K. (1999). *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. Praha: Prometheus. ISBN: 80-7196-151-5.
- Meiners, H. F. (1970). *Physics Demonstration Experiments*. Malabar: Krieger Publishing Company. ISBN: 978-0471067597.
- Neupert, A. (2010). *Infrarotaufnahmen im Physikunterricht*. Bachelorarbeit. Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Universität Leipzig, Leipzig.
- Nuffield Foundation. (b.r.). *Practical Physics*. [cit. 31. 10. 2015]. Dostupné z: <http://www.nuffieldfoundation.org/practical-physics>
- Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implication of children's science*. Auckland: Heinemann. ISBN: 978-0868632759.
- Osgood, Ch. E., Suci, G. J., & Tannenbaum, P. H. (1957). *The measurement of meaning*. Urbana: University of Illinois Press. ISBN: 978-0252745393.
- Owen, S., Dickson, D., Stanisstreet, M., & Boyes, E. (2008). Teaching physics: Students' attitudes towards different learning activities. *Research in Science & Technological Education*, 26 (2), 113-128. ISSN: 0263-5143.
- Pathare, S., & Pradhan, H. C. (2011). Students' Understanding of Thermal Equilibrium. In: *Proceedings of epiSTEME 4 – International Conference to Review Research on Science, Technology and Mathematics Education*. Mumbai: Macmillan Publishers India, 144-149.
- Pfundt, H., & Duit, R. (1994). *Students' alternative frameworks and science education*. Fourth Edition. Kiel: University of Kiel.
- Physics Lecture Demonstration Facility. (b.r.). [cit. 31. 10. 2015]. Dostupné z: <http://lecdem.physics.umd.edu/demonstration-services/demonstrations.html>
- Piaget, J. (1928). *The child's conceptions of the world*. London: Routledge and Kegan Paul. ISBN: 978-0742559516.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York: International University Press. ISBN: 978-0823682072.
- Piskač, V. (b.r.). *Fyzikální šuplík – termika*. [cit. 12. 11. 2015]. Dostupné z: <http://www.fyzikalnisuplik.websnadno.cz/Termika.html>

- Polák, Z. (2007). *Hrátky s teplem*. Praha: ČEZ, a.s, sekce komunikace.
- Pöschl, R. (2005). *Vnímání významu matematiky a fyziky středoškolskými studenty*. Diplomová práce. Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha. Vedoucí práce Martin Chvál.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), 211-227. ISSN: 0036-8326.
- Průcha, J. (ed.) (2009). *Pedagogická encyklopedie*. Praha: Portál. ISBN: 978-80-7367-546-2.
- Průcha, J., Walterová, E., & Mareš, J. (2013). *Pedagogický slovník*. Sedmé vydání. Praha: Portál. ISBN: 978-80-262-0403-9.
- Rakušan, Z., Votrubcová, Š., & Havlíček, J. (2014). *Experimentář*. Druhé vydání. Liberec: iQLANDIA o. p. s. ISBN: 978-80-260-5292-0.
- Read, J. R. (2004). *Children's misconceptions and conceptual change in science education*. [cit. 5. 9. 2015]. Dostupné z: http://www.asell.org/global/docs/conceptual_change_paper.pdf
- Robinson, P., & Hewitt, P. G. (2006). *Conceptual Physics – Laboratory Manual*. 10th edition. Boston: Addison-Wesley Longman. ISBN: 978-0805391916.
- Rozier, S., & Viennot, L. (1991). Students' reasonings in thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 13(2), 159-170. ISSN: 0950-0693.
- Sbírka fyzikálních pokusů. (b.r.). [cit. 5. 11. 2015]. Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/cs>
- Sbírka řešených úloh. (b.r.). [cit. 5. 11. 2015]. Dostupné z: <http://reseneulohy.cz/cs>
- Segre, M. (1980). The Role of Experiment in Galileo's Physics. *Archive for History of Exact Sciences*, 23 (3), 227-252. ISSN: 0003-9519.
- Seznam škol. (b.r.). [cit. 28. 1. 2016]. Dostupné z: <http://www.seznamskol.eu/>
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52 (3-4), 591-611. ISSN: 0006-3444.
- Schamberger, J. (2014). *Prekoncepce žáků v oblasti termiky*. Diplomová práce. Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha. Vedoucí práce Dana Mandíková.
- Sözbilir, M. (2003). A review of selected literature on students' misconceptions of heat and temperature. *Boğaziçi University Journal of Education*, 20 (1), 25-41. ISSN: 1300-9567.
- Sprott, J. C. (2006). *Physics Demonstrations: A Sourcebook for Teachers of Physics*. Madison: The University of Wisconsin Press. ISBN: 978-0299304706.
- Sutton, R. M. (1938). *Demonstration Experiments in Physics*. New York: McGraw-Hill Book Company. ISBN: 978-0070623606.
- Svět techniky. (b.r.). [cit. 13. 12. 2015]. Dostupné z: <http://www.stcostrava.cz/>

- Svoboda, E. & kol. (1997). *Pokusy z fyziky na střední škole 2*. Praha: Prometheus. ISBN: 80-7196-008-X.
- Svoboda, E. (1989). *Pokusy z termiky*. Praha: Komenium.
- Svoboda, E. (2003). Tři pokusy s jednoduchými pomůckami. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 8: Sborník z konference* (ed. M. Šerý). České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 6-9. ISBN: 80-7040-647-X.
- Svoboda, E., & Kolářová, R. (2006). *Didaktika fyziky základní a střední školy: vybrané kapitoly*. Praha: Karolinum. ISBN: 80-246-1181-3.
- Šabatka, Z. (v tisku). *Experimenty pro interaktivní fyzikální laboratoř: pokusy a teorie*. Disertační práce. Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha.
- Techmania Science Center. (b.r.). *Eduitorium*. [cit. 26. 10. 2015]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/katalog/349/edutorium>
- Tesař, J., & Vochozka, V. (2013). Termokamera ve výuce fyziky. In: „*Jak získat žáky pro fyziku?*“ *Sborník příspěvků semináře OS pro vyučování fyzice na ZŠ při FPS JČMF* (ed. R. Seifert). Praha: JČMF. ISBN 978-80-7015-016-0. Dostupné z: <http://fyzweb.cz/materialy/vlachovice/2013/> [cit. 5. 11. 2015].
- Thornton, R. K., & Sokoloff, D. (2001). *The Heat and Temperature Conceptual Evaluation (HTCE)*. [cit. 11. 9. 2015]. Dostupné z: http://physics.dickinson.edu/~wp_web/wp_resources/wp_assessment.html
- Tillich, J. a kol. (1988). *Slovník školské fyziky*. Praha: SPN.
- van Roon, P. H., van Sprand, H. F., & Verdonk, A. H. (1994). 'Work' and 'heat': On a road towards thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 16(2), 131-144. ISSN: 0950-0693.
- Vašátková, J., & Chvál, M. (2010). K využití sémantického diferenciálu při autoevaluaci školy. *Orbis Scholae*, 4 (1), 111-128. ISSN: 1802-4637.
- Veletrh nápadů učitelů fyziky. (b.r.). [cit. 2. 9. 2015]. Dostupné z: <http://vnuf.cz/>
- Vetenskapens Hus. (b.r.). [cit. 4. 2. 2016]. Dostupné z: <http://vetenskapenshus.se.loopiadns.com/>
- Videoexperimenty. (b.r.). In: *YouTube* [cit. 1. 11. 2015]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/user/videoexperimenty>
- Vollmer, M., & Möllmann, K.-P. (2007): Infrared thermal imaging as a tool in university physics education. *European Journal of Physics*, 28, 37-50. ISSN: 0143-0807.
- Vollmer, M., & Möllmann, K.-P. (2010): *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. Berlin: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. ISBN: 978-3-527-40717-0.
- Wake Forest University. (b.r.). *Physics Lecture Demonstrations*. [cit. 31. 10. 2015]. Dostupné z: <http://physics.wfu.edu/demolabs/demos/>
- Warren, J. W. (1972). The teaching of the concept of heat. *Physics Education*, 7, 41-44. ISSN: 0031-9120.

- Watson, J. B. (1914). *Behavior: An Introduction to Comparative Psychology*. New York: Henry Holt and company. ISBN: 978-1146983488.
- Wattanakasiwich, P., Taleab, P., Sharma, M. D., & Johnston, I. D. (2013). Development and Implementation of a Conceptual Survey in Thermodynamics. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 21(1), 29-53. ISSN: 2200-4270.
- Wayne, D. (ed.) (1948). *Readings in the history of psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1 (6), 80-83. ISSN: 0006-341X.
- Wiser, M., & Amin, T. (2001). "Is heat hot?" Inducing conceptual change by integrating everyday and scientific perspectives on thermal phenomena. *Learning and Instruction*, 11 (4-5), 331-355. ISSN: 0959-4752.
- Xie Ch. (2015). *Infrared Tube*. [cit. 1. 11. 2015]. Dostupné z: <http://energy.concord.org/ir>
- Xie, Ch. (2012). Transforming Science Education with IR Imaging. In: *InfraMation 2012 Proceedings*. Orlando: University of Central Florida.
- Xie, Ch., & Hazzard, E. (2011). Infrared Imaging for Inquiry-Based Learning. *The Physics Teacher*, 49, 368-372. ISSN: 0031-921x.
- XLED Technology (b.r.). In: *YouTube*. [cit. 22. 1. 2016]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/user/XLEDultimate>
- Yeo, S., & Zadnik, M. (2001). Introductory Thermal Concept Evaluation: Assessing Students' Understanding. *The Physics Teacher*, 39, 496-504. ISSN: 0031-921x.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozložení škol oslovených v rámci ČR	18
Obrázek 2: Rozložení mimopražských škol, na kterých proběhl výzkum	19
Obrázek 3: Rozložení pražských škol, na kterých proběhl výzkum.....	19
Obrázek 4: Rozdělení studentů podle počtu správně zodpovězených otázek.....	23
Obrázek 5: Výkony studentů v otázce 6	26
Obrázek 6: Výkony studentů v otázce 14	28
Obrázek 7: Závislost úspěšnosti studentů v CTCE na tom, jak ohodnotili tvrzení A až D...	32
Obrázek 8: Studované pojmy uspořádané do D-matice.....	37
Obrázek 9: Sémantické vzdálenosti od centrálních, žlutě označených pojmů	38
Obrázek 10: Jeden z dvojdimenzionálních řezů sémantickým prostorem.....	39
Obrázek 11: Normalizovaný zisk v retenčním testu oproti posttestu ($N = 248$)	42
Obrázek 12: Průměrné skóre studentů v jednotlivých otázkách	43
Obrázek 13: Vzhled Sbírký fyzikálních pokusů	58
Obrázek 14: YouTube kanál Fyzlab přidružený ke Sbírce fyzikálních pokusů	59
Obrázek 15: Vlevo nádobka s vodou a smetana do kávy, vpravo kamera.....	62
Obrázek 16: Uprostřed polystyren před experimentem, vpravo po pěti úderech	63
Obrázek 17: Vrtání do dřeva – stejná situace očima klasické a termovizní kamery	64
Obrázek 18: Schéma a fyzické uspořádání zapojovaného elektrického obvodu.....	66
Obrázek 19: Vizualizace rozdílné měrné tepelné kapacity vody a lihu	67
Obrázek 20: Porovnání měrných tepelných kapacit oleje a vody.....	68
Obrázek 21: Průběh experimentu očima termovizní kamery	69
Obrázek 22: Vlevo spirálka o pokojové teplotě vložená do plamene, uprostřed nahřívání spirálky, vpravo nahřátá spirálka vložená do plamene	71
Obrázek 23: Výsledek experimentu – zleva měď, hliník a mosaz.....	72
Obrázek 24: Uspořádání experimentu.....	73
Obrázek 25: Model Davyho bezpečnostního kahanu.....	74
Obrázek 26: Chladnutí vody v obyčejném (nahore) a termoizolačním (dole) hrnku	75
Obrázek 27: Prohřívání klasické žárovky (vždy vpravo) a kompaktní zářivky (vlevo)	77
Obrázek 28: Čtvrtka s barevnými pruhy ve viditelném i infračerveném oboru.....	78
Obrázek 29: Uspořádání experimentu.....	79
Obrázek 30: Propustnost PP, PS a PET pro tepelné záření.....	80
Obrázek 31: Vzorově zpracovaná závislost měřené povrchové teploty předmětu na počtu filtrů vložených mezi předmět a termovizní kameru.....	81
Obrázek 32: Vzorově zpracovaná závislost měřené povrchové teploty předmětu na jeho vzdálenosti od termovizní kamery	82
Obrázek 33: Vlevo uspořádání pokusu (tání thiosíranu), vpravo naměřená závislost.	83

Obrázek 34: Měření teploty podchlazené kapaliny	85
Obrázek 35: Vlevo hrnec s bouřlivě se vařící vodou, vpravo pozvolný var	87
Obrázek 36: Naměřená závislost při určování měrného skupenského tepla varu	88
Obrázek 37: Různé varianty experimentu ukazujícího závislost teploty varu na tlaku	89
Obrázek 38: Čerstvě vytištěná stránka pohledem běžné a termovizní kamery	91
Obrázek 39: Vlevo brčko vyjmuté z vody, vpravo z lihu	91
Obrázek 40: Graf získaný při odpařování lihu ze sedmi nádob různého průměru	93
Obrázek 41: Vlevo uspořádání experimentu s ventilátorem, vpravo naměřená data ...	95
Obrázek 42: Vlevo hladina vody na počátku experimentu, uprostřed v okamžiku pokládání papíru na kelímek, vpravo pět sekund poté	96
Obrázek 43: Vlevo Stirlingův stroj coby tepelný motor, vpravo jako tepelné čerpadlo	97
Obrázek 44: Vlevo Hopeho přístroj, vpravo uspořádání Hopeho experimentu	99
Obrázek 45: Výsledek Hopeho experimentu	100
Obrázek 46: Vlevo zapojení odporových sad, vpravo jejich fyzická podoba	101
Obrázek 47: Vlevo uspořádání pokusu, vpravo vzorově naměřená závislost	103
Obrázek 48: Hrnec zahříváný nad plotnou indukčního vařiče	104
Obrázek 49: Učitelé experimentující na různých akcích	106

Seznam tabulek

Tabulka 1: Tematické rozložení příspěvků na VNUF v letech 2010 až 2015	7
Tabulka 2: Přehled vybraných výzkumů miskoncepcí v oblasti tepelných jevů	12
Tabulka 3: Přehled miskoncepcí nejčastěji uváděných v anglicky psané literatuře.....	13
Tabulka 4: Miskoncepce, které uvádějí Mandíková & Trna (2011)	14
Tabulka 5: Počty oslovených škol v jednotlivých krajích	17
Tabulka 6: Časový harmonogram zadávání pretestů a posttestů.....	20
Tabulka 7: Shrnutí obecných výsledků CTCE	23
Tabulka 8: Statistika jednotlivých otázek testu CTCE	24
Tabulka 9: Miskoncepce identifikované v oblasti skupenských přeměn	25
Tabulka 10: Tvrzení spojená s konceptem „chladu“	27
Tabulka 11: Tvrzení spojená s představou tepla coby stavové veličiny	27
Tabulka 12: Postoje studentů vůči fyzice (v závorkách směrodatné odchylky)	31
Tabulka 13: Pořadí pojmů na jednotlivých škálách sémantického diferenciálu	35
Tabulka 14: Rozdělení studentů a jejich výsledků dle odpovědí na tvrzení T1-T3	41
Tabulka 15: Třídění experimentů v iQparku podle tematických celků	50
Tabulka 16: Třídění experimentů v Edutoriu Techmanie podle tematických celků	51
Tabulka 17: Třídění experimentů v centru VIDA! podle tematických celků	51
Tabulka 18: Třídění experimentů v Technické herně podle tematických celků	52
Tabulka 19: Třídění experimentů ve Světě techniky podle tematických celků	52
Tabulka 20: Celkový přehled exponátů v českých science centrech; poslední sloupec označený symbolem „Σ“ udává součty experimentů pro jednotlivé tematické celky	54
Tabulka 21: Statistika zpracovaných experimentů	60
Tabulka 22: Přehled akcí pro učitele, na kterých byly některé ze zpracovaných experimentů představeny.....	105

Seznam publikací

- Kácovský, P. (2013). Students' Alternative Conceptions in Thermodynamics. In: *WDS'13 Proceedings of Contributed Papers* (ed.: J. Šafránková, J. Pavlů). Praha: MATFYZPRESS, 100-103. ISBN: 978-80-7378-252-8.
- Kácovský, P. (2013). Tepelné jevy v experimentech. In: „*Jak získat žáky pro fyziku?*“ *Sborník příspěvků semináře OS pro vyučování fyzice na ZŠ při FPS JČMF* (ed.: R. Seifert). Praha: JČMF. ISBN: 978-80-7015-016-0.
Dostupné z: <http://fyzweb.cz/materialy/vlachovice/2013/> [cit. 14. 3. 2016].
- Kácovský, P. (2015). S termokamerou po stopách tepla. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 19: Sborník z konference* (ed.: V. Vochozka, V. Bednář, O. Kéhar, M. Randa). Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 69-73. ISBN: 978-80-261-0439-1.
- Kacovsky, P. (2015). Students' Misconceptions Regarding Everyday Thermal Phenomena. In: *Teaching/Learning Physics: Integrating Research into Practice – Proceedings of the GIREP-MPTL 2014 International Conference* (ed.: C. Fazio, R. M. Sperandeo Mineo). Palermo: Università degli Studi di Palermo, 299-305. ISBN: 978-88-907460-7-9.
- Kacovsky, P. (2015). Grammar school students' misconceptions concerning thermal phenomena. *Journal of Baltic Science Education*, 14 (2), 194-206. ISSN: 1648-3898.
- Kácovský, P. (2015). Experimenty s termovizní kamerou. [CD-ROM]. In: „*Jak získat žáky pro fyziku? 2*“ *Sborník příspěvků semináře OS pro vyučování fyzice na ZŠ při FPS JČMF* (ed.: R. Seifert). Praha: JČMF. ISBN: 978-80-7015-122-8.
- Kácovský, P. (2016). Vypařování v experimentech: V hlavní roli váhy. *Matematika – fyzika – informatika*, 25 (1), 38-48. ISSN: 1805-7705.
Dostupné z: <http://www.mfi.upol.cz/index.php/mfi/article/view/247> [cit. 14. 3. 2016].
- Kácovský, P. (2016). O elektronické Sbírce fyzikálních pokusů. [CD-ROM]. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 20: Sborník z konference* (ed.: V. Koudelková). Praha: Nakladatelství P3K, 119-123. ISBN: 978-80-87343-58-6.
- Kácovský, P. (v tisku). The Position of Experiments in Grammar School Students Semantic Space. In: *Proceedings of the GIREP-EPEC 2015 Conference*.
- Koupilová, Z., Kácovský, P. (v tisku). Collection of Solved Problems and Collection of Experiments in Physics: Worthwhile connection of two online learning sources. In: *Proceedings of the MPTL 2015 Conference*.

Přílohy

Příloha 1: Originální zadání testu Thermal Concept Evaluation

<p>1. What is the most likely temperature of ice cubes stored in a refrigerator's freezer compartment?</p> <p>a. $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ b. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ c. $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ d. It depends on the size of the ice cubes.</p>	<p>2. Ken takes six ice cubes from the freezer and puts four of them into a glass of water. He leaves two on the countertop. He stirs and stirs until the ice cubes are much smaller and have stopped melting. What is the most likely temperature of the water at this stage?</p> <p>a. $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ b. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ c. $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ d. $10\text{ }^{\circ}\text{C}$</p>
<p>3. The ice cubes Ken left on the counter have almost melted and are lying in a puddle of water. What is the most likely temperature of these smaller ice cubes?</p> <p>a. $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ b. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ c. $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ d. $10\text{ }^{\circ}\text{C}$</p>	<p>4. On the stove is a kettle full of water. The water has started to boil rapidly. The most likely temperature of the water is about:</p> <p>a. $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ b. $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ c. $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ d. None of the above answers could be right.</p>
<p>5. Five minutes later, the water in the kettle is still boiling. The most likely temperature of the water now is about:</p> <p>a. $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ b. $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ c. $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ d. $120\text{ }^{\circ}\text{C}$</p>	<p>6. What do you think is the temperature of the steam above the boiling water in the kettle?</p> <p>a. $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ b. $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ c. $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ d. $120\text{ }^{\circ}\text{C}$</p>
<p>7. Lee takes two cups of water at $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ and mixes them with one cup of water at $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. What is the most likely temperature of the mixture?</p> <p>a. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ b. $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ c. $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ d. $50\text{ }^{\circ}\text{C}$</p>	<p>8. Jim believes he must use boiling water to make a cup of tea. He tells his friends: "I couldn't make tea if I was camping on a high mountain because water doesn't boil at high altitudes."</p> <p>a. Joy says: "Yes it does, but the boiling water is just not as hot as it is here." b. Tay says: "That's not true. Water always boils at the same temperature." c. Lou says: "The boiling point of the water decreases, but the water itself is still at 100 degrees." d. Mai says: "I agree with Jim. The water never gets to its boiling point."</p> <p>Who do you agree with?</p>
<p>9. Sam takes a can of cola and a plastic bottle of cola from the refrigerator, where they have been overnight. He quickly puts thermometer in the cola in the can. The temperature is 7°C. What are the most likely temperatures of the plastic bottle and cola it holds?</p> <p>a. They are both less than 7°C. b. They are both equal to 7°C. c. They are both greater than 7°C. d. The cola is at 7°C but the bottle is greater than 7°C. e. It depends on the amount of cola and/or the size of the bottle.</p>	<p>10. A few minutes later, Ned picks up the cola can and then tells everyone that the countertop underneath it feels colder than the rest of the counter.</p> <p>a. Jon says: "The cold has been transferred from the cola to the counter." b. Rob says: "There is no energy left in the counter beneath the can." c. Sue says: "Some heat has been transferred from the counter to the cola." d. Eli says: "The can causes heat beneath the can to move away through the countertop."</p> <p>Whose explanation do you think is best?</p>

<p>11. Pam asks one group of friends: “If I put 100 grams of ice at 0 °C and 100 grams of water at 0 °C into a freezer, which one will eventually lose the greatest amount of heat?”</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Cat says: “The 100 grams of ice.” b. Ben says: “The 100 grams of water.” c. Nic says: “Neither because they both contain the same amount of heat.” d. Matt says: “There’s no answer, because ice doesn’t contain any heat.” e. Jed says: “There’s no answer, because you can’t get water at 0 °C.” <p>Which of her friends do you most agree with?</p>	<p>12. Mel is boiling water in a saucepan on the stovetop. What do you think is in the bubbles that form in the boiling water? Mostly:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Air. b. Oxygen and hydrogen gas. c. Water vapour. d. There’s nothing in the bubbles.
<p>13. After cooking some eggs in the boiling water, Mel cools the eggs by putting them into a bowl of cold water. Which of the following explains the cooling process?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Temperature is transferred from the eggs to the water. b. Cold moves from the water into the eggs. c. Hot objects naturally cool down. d. Energy is transferred from the eggs to the water. 	<p>14. Jan announces that she does not like sitting on the metal chairs in the room because “they are colder than the plastic ones.”</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Jim agrees and says: “They are colder because metal is naturally colder than plastic.” b. Kip says: “They are not colder, they are at the same temperature.” c. Lou says: “They are not colder, the metal ones just feel colder because they are heavier.” d. Mai says: “They are colder because metal has less heat to lose than plastic.” <p>Who do you think is right?</p>
<p>15. A group is listening to the weather forecast on a radio. They hear: “... <i>tonight it will be a chilly 5°C, colder than the 10°C it was last night.</i>”</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Jen says: “That means it will be twice as cold tonight as it was last night.” b. Ali says: “That’s not right. 5° C is not twice as cold as 10°C.” c. Ray says: “It’s partly right, but she should have said that 10° C is twice as warm as 5°C.” d. Guy says: “It’s partly right, but she should have said that 5° C is half as cold as 10°C.” <p>Whose statement do you most agree with?</p>	<p>16. Kim takes a metal ruler and a wooden ruler from his pencil case. He announces that the metal one feels colder than the wooden one. What is your preferred explanation?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Metal conducts energy away from his hand more rapidly than wood. b. Wood is a naturally warmer substance than metal. c. The wooden ruler contains more heat than the metal ruler. d. Metals are better heat radiators than wood. e. Cold flows more readily from a metal.
<p>17. Amy took two glass bottles containing water at 20°C and wrapped them in washcloths. One of the washcloths was wet and the other was dry. Twenty minutes later, she measured the water temperature in each. The water in the bottle with the wet washcloth was 18°C, the water in the bottle with the dry washcloth was 22°C. The most likely room temperature during this experiment was:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 26°C b. 21°C c. 20°C d. 18°C 	<p>18. Dan simultaneously picks up two cartons of chocolate milk, a cold one from the <i>refrigerator</i> and a warm one that has been sitting on the <i>countertop</i> for some time. Why do you think the carton from the refrigerator <i>feels</i> colder than the one from the countertop? Compared with the warm carton, the cold carton...</p> <ul style="list-style-type: none"> a. contains more cold. b. contains less heat. c. is a poorer heat conductor. d. conducts heat more rapidly from Dan’s hand. e. conducts cold more rapidly to Dan’s hand.

<p>19. Ron reckons his mother cooks soup in pressure cooker because it cooks faster than in a normal saucepan but he doesn't know why. [Pressure cookers have a sealed lid so that the pressure inside rises above atmosph. pressure.]</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Emi: "It's because the pressure causes water to boil above 100°C." b. Col: "It's because the high pressure generates extra heat." c. Fay: "It's because the steam is at a higher temperature than the boiling soup." d. Tom: "It's because pressure cookers spread the heat more evenly through the food." <p>Which person do you most agree with?</p>	<p>20. Pat believes her Dad cooks cakes on the top shelf inside the electric oven because it is hotter at the top than at the bottom.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Pam says that it's hotter at the top because heat rises. b. Sam says that it is hotter because metal trays concentrate the heat. c. Ray says it's hotter at the top because the hotter the air the less dense it is. d. Tim disagrees with them all and says that it's not possible to be hotter at the top. <p>Which person do you think is right?</p>
<p>21. Bev is reading a multiple-choice question from a textbook: <i>Sweating cools you down because the sweat lying on your skin...</i></p> <ul style="list-style-type: none"> a. wets the surface, and wet surfaces draw more heat out than dry surfaces." b. drains heat from the pores and spreads it out over the surface of the skin." c. is the same temperature as your skin but is evaporating and so is carrying heat away." d. is slightly cooler than your skin because of evaporation and so heat is transferred from your skin to the sweat." <p>Which answer would you tell her to select?</p>	<p>22. When Zack uses a bicycle pump to pump up his bike tires, he notices that the pump becomes quite hot. Which explanation below seems to be the best one?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Energy has been transferred to the pump. b. Temperature has been transferred to the pump. c. Heat flows from his hands to the pump. d. The metal in the pump causes the temperature to rise.
<p>23. Why do we wear sweaters in cold weather?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. To keep cold out. b. To generate heat. c. To reduce heat loss. d. All three of the above reasons are correct. 	<p>24. Vic takes some Popsicles from the freezer, where he had placed them the day before, and tells everyone that the wooden sticks are at a higher temperature than the ice part.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Deb: "You're right because the wooden sticks don't get as cold as ice does." b. Ian: "You're right because ice contains more cold than wood does." c. Ross: "You're wrong, they only feel different because the sticks contain more heat." d. Ann: "I think they are at the same temperature because they are together." <p>Which person do you most agree with?</p>
<p>25. Gay is describing a TV segment she saw the night before: "I saw physicists make superconductor magnets, which were at a temperature of -260°C."</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Joe doubts this: "You must have made a mistake. You can't have a temperature as low as that." b. Kay disagrees: "Yes you can. There's no limit on the lowest temperature." c. Leo believes he is right: "I think the magnet was near the lowest temperature possible." d. Gay is not sure: "I think superconductors are good heat conductors so you can't cool them to such a low temperature." <p>Who do you think is right?</p>	<p>26. Four students were discussing things they did as kids. The following conversation was heard: Ami: "I used to wrap my dolls in blankets but could never understand why they didn't warm up."</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Nick: "It's because the blankets you used were probably poor insulators." b. Lyn: "It's because the blankets you used were probably poor conductors." c. Jay: "It's because the dolls were made of material which did not hold heat well." d. Kev: "It's because the dolls were made of material which took a long time to warm up." e. Joy: "You're all wrong." <p>Who do you agree with?</p>

Příloha 2: Česká adaptace testu TCE (tzv. CTCE)

POROZUMĚNÍ TEPELNÝM JEVŮM zadání konceptuálního testu

SLOVO ÚVODEM

Ahoj,

v rukou držíš test, který zjišťuje, jak jsi seznámen se základními principy tepelných jevů, které nás v běžném životě dnes a denně obklopují. Jeho vyplněním nám pomůžeš při hledání těch partií fyziky, ve kterých se nejčastěji chybuje, a podpoříš tak snahu podat je co nejsrozumitelněji.

Test tvoří 19 otázek a na jeho vyplnění by Ti mělo stačit 30 minut. Není-li uvedeno jinak, jsou všechny úlohy situovány do běžných nadmořských výšek a klimatických podmínek (např. Praha). **SPRÁVNÁ JE VŽDY PRÁVĚ JEDNA ODPOVĚĎ!!**

Děkuji za čas strávený při vyplňování testu a za Tvoji ochotu.

Mgr. Petr Kácovský
Katedra didaktiky fyziky MFF UK

OTÁZKY

- 1 V mrazáku jsou uloženy kostky ledu. Jakou teplotu nejspíše mají?
 - a. $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - b. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - c. $5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - d. Teplota závisí na velikosti kostek.
- 2 Jirka vyndal z mrazáku šest kostek ledu, čtyři z nich dal do sklenice s vodou a zbylé dvě položil na stůl. Vodu ve sklenici míchal a míchal, až se kostky ledu zmenšily a nakonec úplně přestaly tát. Jakou teplotu nejspíše měla v tu chvíli voda ve sklenici?
 - a. $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - b. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - c. $5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - d. $10\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 3 Zbylé dvě kostky, které Jirka položil na stůl, mezitím již téměř roztály a jejich zbytky leží na stole v kaluži vody. Jaká je nejspíše teplota těchto menších kostek?
 - a. $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - b. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - c. $5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - d. $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

4 Na vařiči stojí konvice bez víka, v ní je voda, která se právě začala vařit. Jaká je nejspíše teplota této vody?

- a. 88 °C
- b. 98 °C
- c. 110 °C
- d. 120 °C

5 O pět minut později se voda v konvici stále vaří. Teplota vody je nyní nejspíše:

- a. 88 °C
- b. 98 °C
- c. 110 °C
- d. 120 °C

6 Co myslíš, jaká bude teplota páry u hladiny vařící se vody?

- a. 88 °C
- b. 98 °C
- c. 110 °C
- d. 120 °C

7 Ivana vzala dva šálky vody o teplotě 40 °C a jeden šálek vody o teplotě 10 °C. Vodu ze všech tří stejně velkých šálků slila a promíchala dohromady. Jaká je nejspíše teplota vzniklé směsi?

- a. 20 °C
- b. 25 °C
- c. 30 °C
- d. 50 °C

8 Petr si myslí, že k tomu, aby si mohl udělat čaj, potřebuje vroucí vodu. Říká kamarádům: „Kdybych tábořil ve velehorách, nemohl bych si udělat čaj, protože ve vysokých nadmořských výškách voda nevě.“

- a. Martin říká: „Ale ano, voda se tam vaří, ale přitom není tak horká jako tady.“
- b. Pavel říká: „To není pravda, voda se vždy vaří při stejné teplotě.“
- c. Jakub říká: „Teplota varu vody klesne, ale samotná voda bude mít stále 100 °C.“
- d. Tomáš říká: „Souhlasím s Petrem – voda nikdy nedosáhne své teploty varu.“

S kým z nich souhlasíte?

9 Petra vzala plechovku a plastovou lahev, které byly naplněny limonádou a přes noc uloženy v ledničce. Ihned ponořila teploměr do limonády v plechovce a naměřila teplotu 7 °C. Jaká byla nejspíše teplota plastové lahve a limonády v ní?

- a. Obě tyto teploty jsou nižší než 7 °C.
- b. Obě tyto teploty jsou 7 °C.
- c. Obě tyto teploty jsou vyšší než 7 °C.
- d. Limonáda má teplotu 7 °C, ale lahev má teplotu vyšší než 7 °C.
- e. Teploty záleží na množství limonády a/nebo na velikosti lahve.

-
- 10 O pár minut později Petra zvedla plechovku s limonádou ze stolu a řekla, že místo, na kterém plechovka stála, je chladnější než zbytek stolu.
- Tereza říká: „Chlad se přenesl z plechovky do desky stolu.“
 - Jitka říká: „V místě pod plechovkou už nezbyla žádná energie.“
 - Katka říká: „Nějaké teplo se přeneslo z desky stolu do plechovky.“
 - Eliška říká: „Plechovka způsobila, že nějaké teplo zpod ní odešlo deskou stolu pryč.“

Které vysvětlení považujete za nejsprávnější?

- 11 Roman se ptá kamarádů: „Dám do mrazáku 100 gramů ledu o teplotě 0 °C a 100 gramů vody o teplotě 0 °C. Která z látek odevzdá mrazáku více tepla?“
- Honza říká: „100 g ledu.“
 - Marek říká: „100 g vody.“
 - Milan říká: „Led i voda stejně, protože obsahují stejné množství tepla.“
 - Patrik říká: „Nelze odpovědět, protože led žádné teplo neobsahuje.“
 - Aleš říká: „Nelze odpovědět, protože vůbec nemůžeš získat vodu o teplotě 0 °C.“
- Se kterým z Romanových kamarádů nejvíce souhlasíte?

- 12 Jana vzala z penálu kovové a dřevěné pravítko. Řekla, že kovové ji studí víc než dřevěné. Jak to nejlépe vysvětlíte?
- Kov odvádí energii z její ruky rychleji než dřevo.
 - Dřevo je přirozeně teplejší látka než kov.
 - Dřevěné pravítko obsahuje více tepla než pravítko kovové.
 - Kovy lépe vyzařují teplo než dřevo.
 - Chlad odchází rychleji z kovu.

- 13 Dita vzala dvě lahve naplněné vodou o teplotě 20 °C a každou z nich zabalila do ručníku. Jeden z ručníků byl mokrý a druhý suchý. Po 20 minutách změřila teplotu vody v obou lahvích. Voda v lahvi obalené mokrým ručníkem měla teplotu 18 °C, voda v lahvi obalené suchým ručníkem teplotu 22 °C. Teplota v místnosti při tomto experimentu byla nejspíše:
- 26 °C
 - 21 °C
 - 20 °C
 - 18 °C

- 14 Pavel vzal současně do rukou dvě krabice čokoládového mléka, studenou z ledničky a teplou ze stolu, kde delší dobu stála. Proč měl podle vašeho názoru pocit, že krabice z ledničky je studenější než krabice stojící na stole? Studenější krabice ve srovnání s tou teplejší...
- ... obsahuje více chladu.
 - ... obsahuje méně tepla.
 - ... je horší tepelný vodič.
 - ... rychleji odvádí teplo z Pavlovy ruky.
 - ... rychleji přivádí chlad do Pavlovy ruky.
-

- 15 Bára tuší, že její maminka vaří polévku v tlakovém hrnci, protože ji tak uvaří rychleji než v obyčejném hrnci – neví ale proč. [Tlakové hrnce mají těsnící pokličku, takže tlak uvnitř hrnce je vyšší než tlak atmosférický.]
- a. Kristýna říká: „Protože vyšší tlak v hrnci způsobuje, že voda se vaří při teplotě vyšší než 100 °C.“
 - b. Eva říká: „Protože vyšší tlak v hrnci vytváří další teplo navíc.“
 - c. Karolína říká: „Protože pára má vyšší teplotu než vařící se polévka.“
 - d. Andrea říká: „Protože tlakový hrnec prohřívá jídlo rovnoměrněji.“
- S kým nejvíce souhlasíte?

- 16 Při nafukování pneumatik svého horského kola si Ondra všiml, že se pumpička výrazně zahřívá. Které z vysvětlení níže je nejlepší?
- a. Pumpičce byla dodána energie.
 - b. Pumpičce byla dodána teplota.
 - c. Teplo se přenáší z Ondrových rukou do pumpičky.
 - d. Vzrůst teploty způsobuje kov v pumpičce.

- 17 Proč nosíme v chladném počasí svetry?
- a. Zadržují chlad zvenčí.
 - b. Vytvářejí teplo.
 - c. Omezují tepelné ztráty.
 - d. Všechny tři možnosti výše jsou správné.

- 18 Filip vyndal z mrazáku nanuk, který tam včera uložil, a říká, že dřevěná tyčka, kterou právě uchopil, je teplejší než vlastní nanuk.
- a. Radek říká: „Máš pravdu, dřevěná tyčka se nikdy neochladí tak jako nanuk.“
 - b. Luboš říká: „Máš pravdu, nanuk obsahuje více chladu než dřevo.“
 - c. Viktor říká: „Naopak, dřevěná tyčka se nám zdá teplejší, protože obsahuje více tepla.“
 - d. Štěpán říká: „Já bych řekl, že nanuk i tyčka mají stejnou teplotu, protože byly v mrazáku spolu.“
- S kým nejvíce souhlasíte?

- 19 Lenka popisuje reportáž, kterou viděla večer v televizi: „Viděla jsem, jak fyzici vyrábějí supravodivé magnety při teplotě -260 °C.“
- a. Radim pochybuje: „Musíš se mýlit, není možné dosáhnout tak nízké teploty.“
 - b. Dominik nesouhlasí: „Je to možné. Není žádná hranice pro nejnižší teplotu.“
 - c. Matyáš říká: „Myslím, že ten magnet byl blízko nejnižší možné teplotě.“
 - d. Tonda váhá: „Myslím, že supravodiče jsou dobré vodiče tepla, pak je ale nemůžete ochladit na tak nízkou teplotu.“
- Kdo má podle vás pravdu?

KONEC

Děkuji za Tvou pomoc a ochotu při vyplňování tohoto testu!

Příloha 3: Příklad znění e-mailu, kterým byli oslovení učitelé

Vážení vyučující fyziky na lovosickém gymnáziu,

dobrý den, dovoluji mi, abych se představil – jmenuji se Petr Kácovský a jsem studentem 2. ročníku doktorského studia na Katedře didaktiky fyziky MFF UK v Praze. V rámci své disertační práce se v současné době zabývám miskoncepce středoškolských studentů v oblasti termiky a touto – byť bohužel poněkud neosobní formou – bych Vás chtěl poprosit o pomoc při mém výzkumu.

Pro svůj výzkumný záměr jsem z anglického originálu převzal a přeložil konceptuální test, který tuto oblast od roku 2001 zkoumal v několika zemích světa. Cílem tohoto 19-položkového testu je během pretestu a posttestu zmapovat, jak jsou ve škole získané fyzikální znalosti studentů použitelné při zodpovídání otázek z běžných každodenních situací.

Z webových stránek Vaší školy jsem zjistil, že její ŠVP je vhodné pro můj výzkumný záměr, a coby vyučující fyziky, jejichž kontakt je na webových stránkách uveden, si Vás tedy dovoluji poprosit o možnost zadat výše zmíněný test Vaším SŠ studentům:

a) poprvé (jako tzv. pretest) předtím, než se začnou zabývat termodynamikou (tj. například během výkladu o kinetické teorii látek)

b) podruhé (jako tzv. posttest) po ukončení kapitoly o skupenských přeměnách

Pokud Vy sami v tuto chvíli neučíte studenty, kteří se na SŠ úrovni kapitole o molekulové fyzice a termice věnují, uvítám libovolný kontakt na Vaše kolegy, které bych mohl oslovit. Testy bych zadával na Vaší škole osobně, jediné, o co Vás tedy prosím, jsou dvě vyučovací hodiny (každou v jednom pololetí), ve kterých byste mi dali prostor. Rozumím tomu, že Vaše tematické plány jsou jistě našlapané, o to více si tedy budu vážit Vaší spolupráce. Dejte mi prosím vědět, jak se k mé prosbě stavíte. Děkuji za ochotu.

S pozdravem a přáním hezkého dne

Petr Kácovský

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Příloha 4: Záznamový list (písmo oproti originálu zmenšeno)

POROZUMĚNÍ TEPELNÝM JEVŮM

záznamový list

OBECNÉ INFORMACE (Vyplň prosím hůlkovým písmem.)

Jméno a příjmení:*

Škola:

* Jméno a příjmení vyplňuješ proto, aby se Tvůj dnešní výsledek dal srovnat s Tvým dalším výkonem v tomto testu.

TY A FYZIKA

Na stupnici 1 až 6 vyjádři míru souhlasu s následujícími tvrzeními (1 = zcela souhlasím, 6 = zcela nesouhlasím):

[A] Očekávám, že v budoucnu budu nadále potřebovat fyziku

(při studiu, v povolání).

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

[B] Fyzika je pro společnost užitečná.

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

[C] Fyzika je pro mě užitečná.

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

[D] Fyzika mě baví.

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

VÝSLEDKY TESTU

Písmeno náležející správné odpovědi vždy ZAKROUŽKUJ.

Chceš-li odpověď změnit, KRÍŽKEM škrtni původní výběr a ZAKROUŽKUJ NOVÝ VÝBĚR.

číslo otázky	Možnosti				
1	A	B	C	D	
2	A	B	C	D	
3	A	B	C	D	
4	A	B	C	D	
5	A	B	C	D	
6	A	B	C	D	
7	A	B	C	D	
8	A	B	C	D	
9	A	B	C	D	E
10	A	B	C	D	
11	A	B	C	D	E
12	A	B	C	D	E
13	A	B	C	D	
14	A	B	C	D	E
15	A	B	C	D	
16	A	B	C	D	
17	A	B	C	D	
18	A	B	C	D	
19	A	B	C	D	

Příloha 5: Dotazník významu slov (kráceno, písmo oproti originálu zmenšeno)

V této části chceme zjistit, jaký význam přisuzují různí lidé různým pojmům. Tvým úkolem je posoudit **celkem 14 slov** (vždy uvedena na šedém podkladu v záhlaví tabulky), každé na **všech 8 škálách**. Každá škála je tvořena sedmibodovou stupnicí, do které umístíš křížek blížce tomu přídatnému jménu, které podle Tebe pojem lépe vystihuje. Drž se prosím těchto zásad:

1. Každý pojem posuzuj odděleně, nevíšmej si pojmů okolních.
2. Na každou škálu umísti právě jeden křížek! Chceš-li svoji volbu změnit, políčko s původním křížkem celé vybarvi a umísti křížek dle Tvé nové volby.
3. Hluboce a dlouze nepřemýšlej! Cílem dotazníku je zjistit Tvé prvotní, intuitivní pocity. Buď upřímný(-á)! Neexistují dobré či špatné odpovědi, důležité je, jak sám/sama dané pojmy vnímáš.

Příklad: Posuzovaným pojmem je pojem „HUDBA“. Považuješ-li hudbu za velmi příjemnou a středně důležitou, mohla by Tvá volba vypadat tak, jak ukazuje tabulka vpravo.

HUDBA						
příjemná	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nepříjemná
důležitá	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nedůležitá

ZÁBAVA						
užitečná	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	neužitečná
vzdálená	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	blízká
zajímavá	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nudná
obtížná	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	snadná
uvolněná	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	napjatá
těžká	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	lehká
logická	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nelogická
problémová	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	bezproblémová

ZKUŠENOST						
užitečná	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	neužitečná
vzdálená	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	blízká
zajímavá	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nudná
obtížná	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	snadná
uvolněná	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	napjatá
těžká	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	lehká
logická	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nelogická
problémová	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	bezproblémová

VĚDA						
užitečná	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	neužitečná
vzdálená	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	blízká
zajímavá	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nudná
obtížná	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	snadná
uvolněná	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	napjatá
těžká	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	lehká
logická	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nelogická
problémová	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	bezproblémová

OBJEV						
užitečný	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	neužitečný
vzdálený	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	blízký
zajímavý	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nudný
obtížný	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	snadný
uvolněný	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	napjatý
těžký	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	lehký
logický	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nelogický
problémový	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	bezproblémový

...

analogicky byly ve stejných tabulkách uvedeny všechny ostatní pojmy

...

KONEC

Děkuji za Tvou pomoc a ochotu při vyplňování tohoto dotazníku!

Příloha 6: Experimentujeme s termovizní kamerou

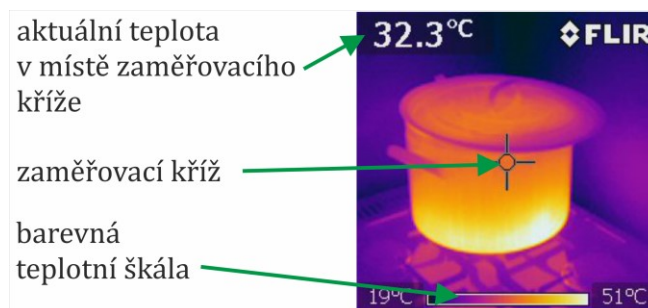
Úvod

Tento text je adresován učitelům na všech typech škol, kteří se ve své výuce rozhodnou používat při bezkontaktním měření teploty termovizní kamery. Cílem materiálu je seznámit čtenáře s fyzikálními základy termografie, upozornit na typické nesnáze, které termografická měření provázejí, a nabídnout doporučení, která mohou měření ve výuce usnadnit či zpřesnit.

Termografie

Každé těleso emituje do svého okolí elektromagnetické záření různých vlnových délek; toto záření někdy označujeme jako záření tepelné. Detekcí a vyhodnocením tepelného záření můžeme získat informaci o teplotním rozložení na povrchu tělesa – tímto úkolem se zabývá tzv. termografie.

Termografie je základem bezkontaktního měření teploty a je spjata zejména s rozvojem termovizních kamer v posledních několika desetiletích. Pro výuku je atraktivní zejména možnost vizualizovat teplotní rozložení na površích předmětů s využitím barevných škál na tzv. termogramech (ilustrační obrázek 1).



Obrázek 1: Ukázka termogramu

Záření absolutně černého tělesa

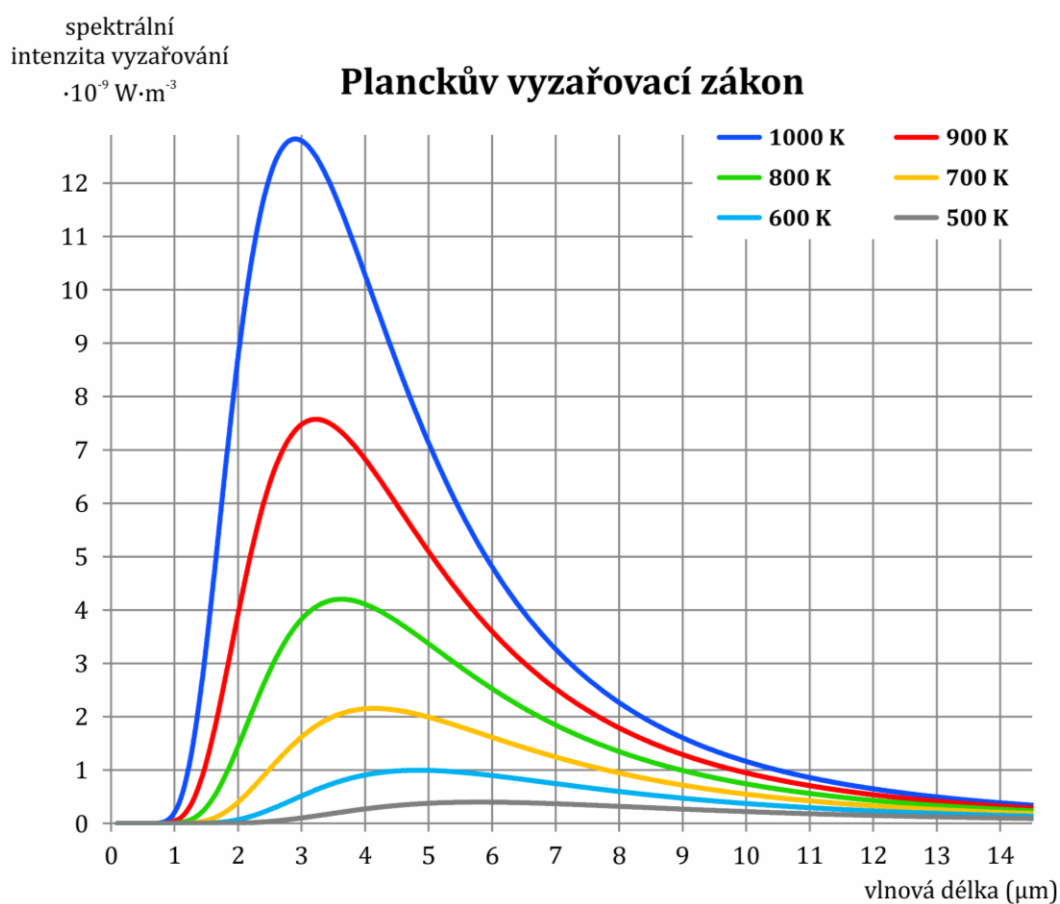
Absolutně černé těleso (dále: AČT) je fyzikálním modelem objektu, který veškeré záření dopadající na jeho povrch pohlcuje, a to bez ohledu na jeho vlnovou délku. Současně je takové těleso schopné stejné množství záření emitovat – je tedy vlastně ideálním zářičem. Reálné objekty se mohou vlastností AČT pouze více či méně blížit, pokud však dodržíme některé základní zásady (viz část *Faktory ovlivňující termografická měření*), pro jednoduchá termografická měření je můžeme tímto modelem přibližně popisovat.

AČT vyzařuje na různých vlnových délkách různé množství energie v závislosti na svojí termodynamické teplotě T . Veličina, která vyzařování popisuje, se označuje jako spektrální intenzita vyzařování $M_{e\lambda}^0$, $M_{e\lambda}^0 = M_{e\lambda}^0(\lambda, T)$; horní index „0“ vyjadřuje, že se zabýváme modelem AČT. Závislost spektrální intenzity vyzařování na vlnové délce λ

a termodynamické teplotě povrchu tělesa T popisuje formule známá jako **Planckův vyzařovací zákon**:

$$M_{e\lambda}^0(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}, \quad (1)$$

kde h je Planckova konstanta, c rychlost světla ve vakuu a k_B Boltzmannova konstanta. Graf na obrázku 2 ukazuje pro několik pevně zvolených teplot průběh výše uvedené funkce jako $M_{e\lambda}^0 = M_{e\lambda}^0(\lambda)$.



Obrázek 2: Závislost spektrální intenzity na vlnové délce pro AČT

Derivováním vztahu (1) podle vlnové délky a následným hledáním extrémů této funkce lze najít takovou hodnotu λ_{\max} při které je spektrální intenzita vyzařování maximální; tato vlnová délka závisí pouze na termodynamické teplotě tělesa. Tento poznatek označujeme jako **Wienův posunovací zákon** a zapisujeme ho ve tvaru:

$$\lambda_{\max} T = b, \quad (2)$$

kde T je termodynamická teplota povrchu tělesa, λ_{\max} vlnová délka, na které těleso vyzařuje s nejvyšší intenzitou, a konstanta $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$ mK.

Na základě Wienova posunovacího zákona můžeme odhadnout, na jakých vlnových délkách nejvíce vyzařují tělesa kolem nás, budeme-li je idealizovat jako AČT. Zatímco pro povrchovou teplotu Slunce ($T \approx 5800 \text{ K}$) tak dostáváme $\lambda_{\max} \approx 500 \text{ nm}$ (tedy záření ve viditelné oblasti spektra), běžné předměty kolem nás ($T \approx 300 \text{ K}$) maximálně vyzařují na vlnových délkách okolo $10 \mu\text{m}$ – tedy v infračervené oblasti. Z tohoto důvodu bývá někdy tepelné záření ztotožňováno pouze se zářením infračerveným.

Pokud vztah (1) integrujeme přes všechny vlnové délky, dostáváme celkovou intenzitu vyzařování $M_e^0 = M_e^0(T)$; graficky jde pro danou teplotu o obsah plochy pod křivkou $M_{e\lambda}^0 = M_{e\lambda}^0(\lambda)$ na obr. 2. Celková intenzita vyzařování M_e^0 představuje energii, která je vyzařena z 1 m^2 povrchu AČT za 1 sekundu, tj. $[M_e^0] = \text{J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2} = \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Výsledkem integrace je vztah:

$$M_e^0(T) = \int_0^\infty M_{e\lambda}^0(\lambda, T) d\lambda = 2hc^2 \int_0^\infty \frac{1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} d\lambda = \sigma T^4, \quad (3)$$

kde $\sigma = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15h^3 c^2} \doteq 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$ je Stefanova – Boltzmannova konstanta; tento vztah je označován jako **Stefanův – Boltzmannův zákon** a je klíčem k fungování termovizních kamer.

Šedá tělesa a selektivní zářiče

AČT je fyzikální idealizací – reálná tělesa nikdy veškeré dopadající záření zcela nepohltní, ale část jej vždy odráží, případně jimi část prochází. Reálné těleso navíc vždy vyzařuje méně energie než AČT o stejné teplotě na stejné vlnové délce. Pokud označíme spektrální intenzitu vyzařování reálného tělesa $M_{e\lambda}$ (tj. již bez indexu „0“), platí:

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{M_{e\lambda}(\lambda, T)}{M_{e\lambda}^0(\lambda, T)} < 1, \quad (4)$$

kde $\varepsilon(\lambda, T)$ je tzv. spektrální emisivita (dále již jen emisivita), která může obecně záviset i na dalších veličinách, než jsou vlnová délka a teplota. Spektrální emisivita v podstatě udává, jakou část záření emituje na příslušné vlnové délce reálné těleso ve srovnání s AČT téže teploty.

Jak je uvedeno výše, emisivita povrchů je obecně závislá na vlnové délce emitovaného záření. Je-li tato závislost významná, je záření některých vlnových délek tělesem vysíláno velmi „ochotně“, naopak jiné téměř vůbec – hovoříme pak o takzvaných **selektivních zářičích**.

Pokud je závislost emisivity na vlnové délce pouze slabá a lze ji – alespoň v nějakém intervalu vlnových délek – zanedbat, hovoříme o tzv. **šedém tělese**, které je pro termografii užitečným kompromisem mezi AČT a selektivními zářiči. Pro šedé těleso je emisivita konstantou: $\varepsilon \neq \varepsilon(\lambda, T)$; je-li tedy například emisivita šedého tělesa $\varepsilon = 0,75$, vyzařuje takové těleso na každé vlnové délce za 1 sekundu 75 % energie,

kteřé by na ní vyzářovalo absolutně černé těleso o stejné teplotě (obojí přepočteno na 1 m²).

Pro šedé těleso s povrchovou teplotou T se podoba Wienova posunovacího zákona nemění a Stefanův – Boltzmannův zákon má tvar:

$$M_e(T) = \varepsilon\sigma T^4. \quad (5)$$

Pro potřeby termografických měření ve výuce lze obvykle většinu běžných povrchů modelem šedého tělesa aproximovat.

Co skutečně měří termovizní kamery?

Samotná povaha termografických měření napovídá, že získaná hodnota teploty je ovlivněna mnoha faktory – zásadní vliv může mít záření, které je samotným snímaným povrchem odraženo, případně záření přicházející od okolních předmětů. Kromě nich vždy detekujeme i další parazitní záření – záření atmosféry či záření vlastního čipu kamery.

Rovnice, ze kterých vychází výpočet teploty objektu prováděný softwarem kamery, jsou postaveny na Stefanově – Boltzmannově zákoně pro šedé těleso dle vztahu (5) – kamera tedy primárně vyhodnocuje intenzitu záření dopadajícího na její čip. Tyto rovnice obvykle zahrnují také vliv odraženého záření, emisi z atmosféry i korekci na vlastní záření čipu kamery.

Faktory ovlivňující termografická měření

Jak vyplývá z předcházejících odstavců, termografická měření bývají kontaminována mnoha různými vlivy, a proto musíme být opatrní při jejich interpretaci; vždy je nezbytné znát kontext, ve kterém bylo měření provedeno.

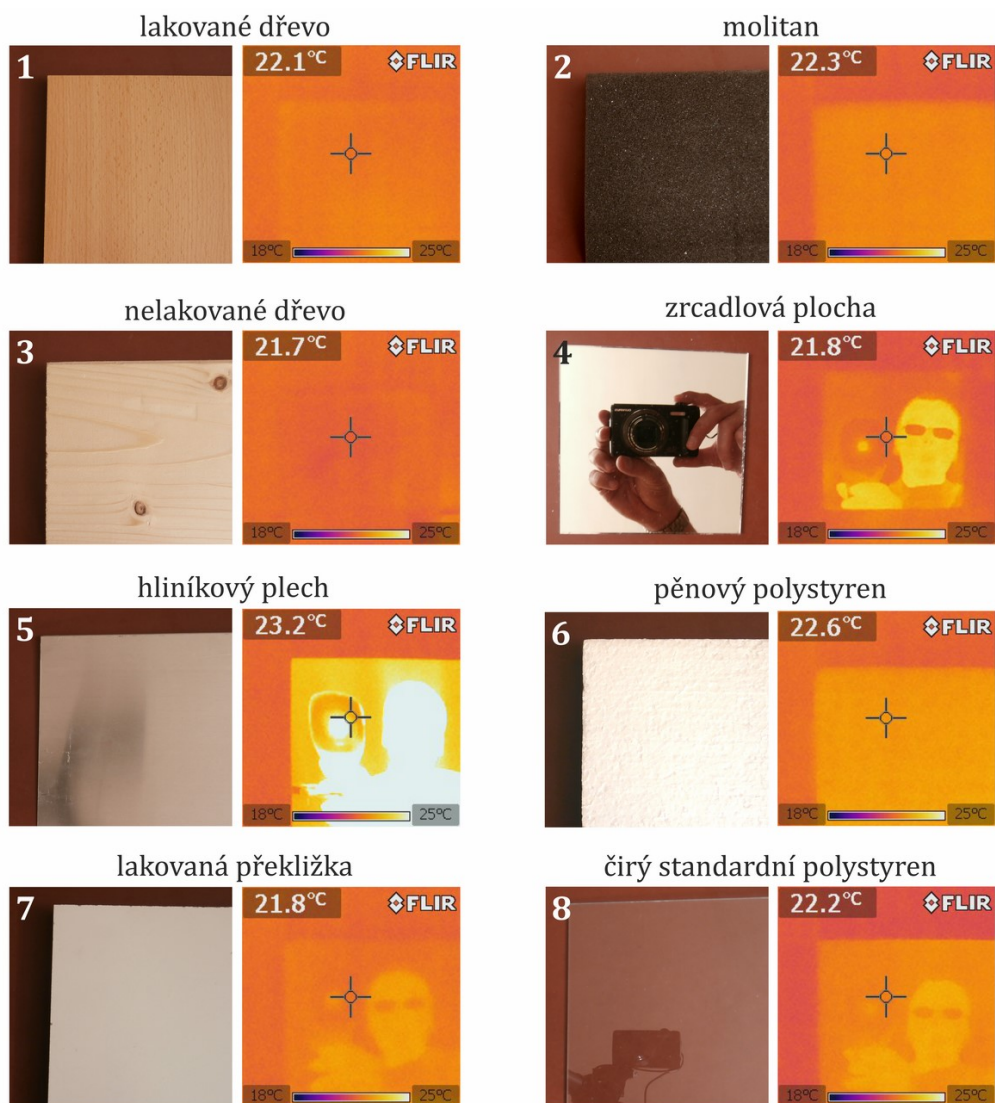
V této části jsou zmíněny nejzásadnější faktory, které mohou v podmínkách školní výuky výsledky termografických měření ovlivnit – jsou jimi *emisivita, odražená teplota a vzdálenost kamery od předmětu*. Kromě nich jsou přiloženy ukázky chybných měření a doporučení, jak se takovým měřením vyhnout.

Emisivita

Nesporně nejzásadnější termografickou veličinou je emisivita měřeného povrchu. Zatímco matné tmavé povrchy se svojí emisivitou $\varepsilon > 0,90$ blíží vyzařování AČT, lesklé povrchy vyleštěných kovů s emisivitou $\varepsilon < 0,10$ vyzařují dramaticky méně a chovají se prakticky jako zrcadla – odrážejí záření předmětů okolních. Pokud takto rozdílné chování nezohledníme a budeme pro měření lesklých povrchů používat defaultní nastavení termovizní kamery, dostaneme nesmyslné výsledky – více viz obr. 3.

Termovizní kamery obvykle uživatelům umožňují manuální nastavení emisivity podle studovaného povrchu – přehled typických emisivit povrchů je uveden například na webu *The Engineering ToolBox* (http://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html), a to při teplotě 27 °C. Takoveto přehledy je ovšem třeba brát

pouze jako orientační – konkrétní povrch může mít svá specifika, emisivita kromě toho závisí také na teplotě. Bohužel, zejména v případě velmi lesklých povrchů způsobují i malé nepřesnosti ve stanovení emisivity (odchylky dvou třetin) dramatické rozdíly v měřené teplotě. Pokud navíc současně snímáme více předmětů s rozdílnou emisivitou, lze správně vždy určit pouze teplotu jednoho z nich – toho, který odpovídá emisivitě nastavená na kameře.



Obrázek 3: Měření teploty povrchů s různou emisivitou. Všechny osm studovaných předmětů bylo před měřením na několik hodin umístěno do stejného prostředí s teplotou přibližně 22 °C, všechna měření byla provedena s přednastavenou emisivitou $\epsilon = 0,95$. Tato hodnota je zřejmě relevantní pro předměty 1 až 3 a předmět 6. Objekty 7 a 8 nezanedbatelně odrážejí a vyzařování povrchu je již znatelně narušeno odraženým zářením. Objekty 4 a 5 mají velmi nízkou emisivitu a jasně u nich dominuje odraz nad jejich vlastním zářením; zvolená emisivita 0,95 vede k nereálným výsledkům.

Doporučení pro výuku: Zcela se ve svých měřeních vyhýbejte lesklým kovovým povrchům a sklům. Pokud s takovými povrchy přesto chcete pracovat, opatřete je před měřením černým matným nátěrem. Tento zásah emisivitu povrchu zvýší na úroveň

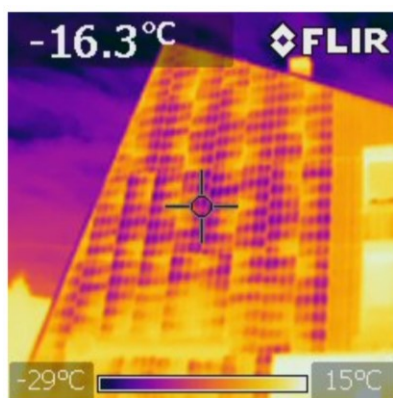
blízkou 1, což pak umožňuje použití termovizní kamery bez jakýchkoliv zásahů do jejího nastavení – výrobci totiž obvykle defaultně přednastavují emisivitu na hodnotu 0,95.

Autorovi práce se osvědčilo používání černého rychleschnoucího akrylového spreje, který k povrchu velmi dobře přilne a vydrží jeho opakované nasazení při experimentu. Použití takového spreje upraví emisivitu na požadovanou vysokou hodnotu, aniž by přitom zásadně změnilo jiné parametry látky – tepelnou vodivost, měrnou tepelnou kapacitu apod.

Odražená zdánlivá teplota

Se emisivitou je úzce spojen vliv tzv. odražené teploty. Pokud povrch tělesa významnější část záření odráží, je vlastní záření tělesa tímto odrazem značně kontaminováno – viz například předměty 4 a 5 na obr. 3. Výsledkem termografického měření pak mohou být velmi obskurní zjištění – viz obr. 4.

Termovizní kamery umožňují vliv odraženého záření kompenzovat tím, že do jejich softwaru zadáme teplotu odrážené plochy. Tento postup je ovšem rozumně použitelný pouze ve chvíli, kdy je odrážený povrch přibližně rovnoměrně zahřátý.



v infračerveném oboru



ve viditelném oboru

Obrázek 4: Ukázka vlivu odražené teploty při termografickém měření na plechové střeše domu. Měření bylo prováděno při venkovní teplotě vzduchu 17 °C, teplota střechy naměřená kontaktním teploměrem byla přibližně 21 °C. Přesto termografické měření ukazuje v některých částech střechy teplotu kolem -16 °C. Za tento zjevně nesmyslný výsledek je zodpovědná vysoká odrazivost (nízká emisivita) plechu, který odráží velké množství záření přicházejícího z atmosféry. Jestliže měříme termovizní kamerou teplotu oblohy, při jasném dni získáme hodnoty pod -30 °C – jde o teplotu krystalků ledu v atmosféře. V uvedeném případě je toto záření odráženo plechovou střešou a kamera nastavená defaultně na odraženou teplotu 20 °C tak její teplotu vyhodnocuje jako nesmyslně nízkou.

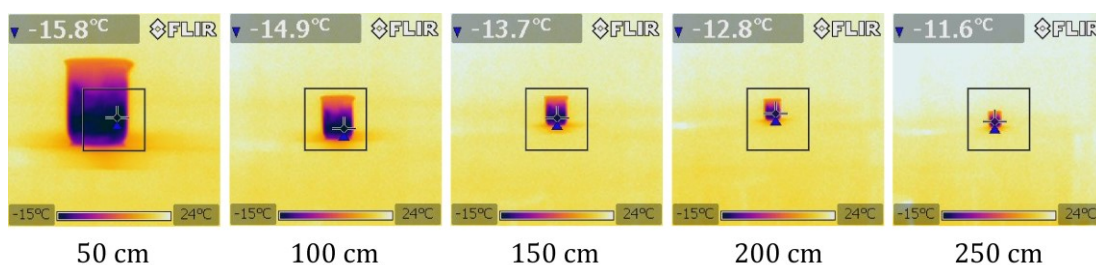
Doporučení pro výuku: Podobně jako v případě emisivity je vhodné vyhýbat se lesklým a odrážejícím povrchům, případně je opatřit černým matným nátěrem. Objekty s vysokou emisivitou ($\epsilon > 0,90$) odrážejí velmi málo záření a vliv odražené teploty je u nich velmi malý – obvykle postačí ponechat její od výrobců defaultně nastavenou hodnotu (často 20 °C).

Vzdálenost

Tepelné záření není pohlcováno a vyzařováno pouze povrchy těles, ale samozřejmě také přímo vzduchem, který měřené předměty od termovizní kamery odděluje. Není překvapivé, že s větší tloušťkou této vzduchové vrstvy – tedy větší vzdáleností kamera-předmět – se její vliv zvětšuje.

Měříme-li teplotu předmětu zahřátého nad teplotu okolního vzduchu, bude měřený údaj s jeho vzdáleností od kamery exponenciálně klesat – záření emitované předmětem je vzduchem pohlcováno a současně sílí vliv záření vzduchu samotného. Naopak, pokud budeme měřit teplotu předmětu chladnějšího než je okolí, bude rostoucí vzdálenost způsobovat růst měřeného údaje (obr. 5) – opět začne převládat záření samotného vzduchu, což způsobí přimykání měřených hodnot k pokojové teplotě.

Pro dostatečně slabé emitující zdroje (pochopitelně sem nepatří například Slunce nebo atmosféra) lze obecně konstatovat, že měřená teplota se bude pro velké vzdálenosti kamery a předmětu asymptoticky blížit teplotě samotného vzduchu, tedy teplotě pokojové/venkovní.



Obrázek 5: Ukázka vlivu vzdálenosti kamera-předmět na teplotu získanou termografickým měřením. U nádoby s ledem byla kontaktním teploměrem naměřena nejnižší povrchová teplota $-15,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, s rostoucí vzdáleností od nádoby ale měří termovizní kamera postupně vyšší a vyšší hodnoty. (Kamera byla nastavena tak, že pro celou dobu měření očekávala studovaný předmět ve vzdálenosti 1 metr.)

Doporučení pro výuku: Termovizní kamery mají defaultně nastavenou vzdálenost, ve které měřený předmět očekávají – v případě používané kamery FLIR i7 je to 1 metr. Pokud od vašeho měření očekáváte přesné údaje, lze u některých kamer tuto vzdálenost v konkrétní situaci manuálně změnit; software kamery pak na základě zadané hodnoty měřenou teplotu přepočítá.

Pro většinu běžných školních experimentů, kde bývá vzdálenost mezi kamerou a studovaným předmětem v řádu desítek centimetrů, se není třeba jejím vlivem příliš zabývat a přednastavenou hodnotu 1 metr lze použít. Obecně platí, že vliv vzdálenosti je významně menší než výše popsané vlivy emisivity a odražené teploty a začíná se více promítat až při venkovních měřeních na větší vzdálenosti.

Další vlivy

Na kvalitě získaných výsledků termografických měření se podílejí i další, méně významné faktory, které ovlivňují měřenou teplotu buď přímo, nebo svým vlivem na emisivitu – zmínit můžeme relativní vlhkost vzduchu, úhel, pod kterým předmět snímáme, povrchovou úpravu předmětu, tvar předmětu či vlastnosti používaného detektoru.

Značný vliv na úspěch a názornost měření má i preciznost a opatrnost vlastního experimentátora. Značným úskalím některých měření může být tepelná paměť izolujících povrchů – odložený hrneček s čajem, nakrátko opřená dlaň ruky či teplý vzduch proudící z ventilátoru počítače může na běžném stole zanechat na dlouhé minuty tepelnou stopu. Pokud pak na takovém místě provádíme náš experiment, snadno může být měření vlivem předcházejícího prohřátí povrchu znehodnoceno.

Rozšiřující texty

Tento text se pokusil shrnout skutečně nejzásadnější fakta týkající se termografických měření, rozhodně ale nepopisuje tuto techniku kompletně. Jako další rozšiřující literaturu lze doporučit následující texty a publikace:

- M. Pavelek: *Teorie termovizních měření*
<http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/0700-z01.pdf>
- P. Štajnrt: *Úvod do práce s termokamerou FLIRi7*
http://dk.spsopava.cz:8080/docs/pdf/stavebni_laborator/termokamera/Prace_s_termokamerou.pdf
- web Termokamera.cz
<http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/>
- web Termokamera.com – Příručka termografie
<http://termokamera.com/prirucka-termografie/>

Pro skutečně hluboké proniknutí do problému je pak vhodná publikace:

- Vollmer, M., & Möllmann, K.-P. (2010): *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. Berlin: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Příloha 7: Dotazník pro posouzení experimentů učiteli

DOTAZNÍK K DÍLNĚ „PO STOPÁCH TEPLA“

V následující tabulce prosím čísla vyjádřete **na škále od -3 do +3** svoji míru souhlasu s následujícími tvrzeními.

Škála hodnocení:

Zcela nesouhlasím			Zcela souhlasím			
-3	-2	-1	0	1	2	3

Tento experiment...	... je atraktivní pro mě	... by mohl být atraktivní pro mé studenty	... je přínosný pro mě	... by mohl být přínosný pro mé studenty
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Libovolné další komentáře a připomínky:

Příloha 8: Mechanismy tepelné výměny (Pokyny k měření)

Tato příloha předkládá vývojově první verzi *Pokynů k měření* ke stanovišti *Mechanismy tepelné výměny* z první sady termodynamických pokusů. Používání těchto materiálů bylo v roce 2015 opuštěno a namísto nich vznikly nové *Pracovní listy*.

Mechanismy tepelné výměny

Pokyny k měření

Obecné pokyny:

- Během všech měření si dělejte poznámky a zapisujte si výsledky experimentů do *Pracovního listu*, který si pak můžete odnést s sebou.
- V závěru laboratorních prací budete mít (jako skupina) vyhrazený čas přibližně 5 minut, abyste spolužáky formou krátké prezentace seznámili s experimenty, které jste prováděli, a jejich výsledky.
- Nebojte se používat foťáky či mobily k zachycení experimentů či flash disky k ukládání dat z měření, čím více si toho zdokumentujete, tím větší přínos pro vás!

Pozor!

- Žádné přístroje nezapojte, dokud nebudete seznámeni s principy jejich činnosti!
- Je-li součástí Vaší úlohy elektrický obvod, nechte si zkontrolovat jeho zapojení.
- Před každou částí měření si projděte příslušnou část *Pracovního listu*, ať některé veličiny nezapomenete změřit!

Úlohy

Na následujících stranách naleznete instrukce pro provedení těchto experimentálních úloh:

- **Úloha 1: Tepelná výměna zářením**
- **Úloha 2: Tepelná výměna vedením**
- **Úloha 3: Tepelná výměna prouděním**

Úloha 1: Tepelná výměna zářením

TEORETICKÝ ÚVOD

Fyzikální teorie:

Každé těleso emituje do svého okolí elektromagnetické záření, jehož intenzita a spektrum (zastoupení vlnových délek) jsou v ideálním případě určeny pouze teplotou tělesa. Pro běžné teploty (-20 °C až 100 °C) je většina energie vyzářena ve formě infračerveného (tepelného) záření o vlnové délce 8-12 μm . Vyhodnotíme-li toto záření, umíme určit rozložení povrchové teploty tělesa. Na tomto principu fungují bezdotykové teploměry a termovizní kamery.

Úvaha výše platí ovšem pouze pro hypotetické těleso, které by všechno dopadající záření pohlcovalo a žádné neodráželo – tzv. absolutně černé těleso (AČT). Pro reálná tělesa závisí vlastnosti emitovaného záření kromě teploty také na jeho emisivitě. Emisivita na škále 0 až 1 udává, jak se reálné těleso svými vlastnostmi blíží AČT (čím blíže 1, tím větší podoba s AČT). Většina předmětů kolem nás jsou matná tělesa s emisivitou nad 0,9. Naproti tomu, lesklé kovy mohou dosahovat emisivity až 0,01. Aby byl pořízený obraz při měření termokamerou vypovídající, musí být emisivita správně nastavena.

Záření je jediným mechanismem přenosu tepla, který není vázán na látkové prostředí a může se uskutečňovat i ve vakuu. Takto naše Země získává životně důležité teplo ze Slunce.

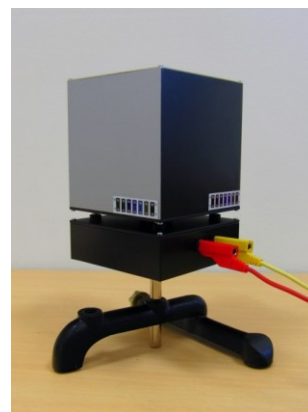
Úkoly:

1. Seznamte se s fungováním termovizní kamery.
2. Prozkoumejte průchod tepelného záření různými materiály.
3. Sledujte, jak se tepelným zářením zahřívá bílý a černý povrch téhož materiálu.

POSTUP

Úkol 1:

1. Prozkoumejte místnost kolem vás pomocí termokamery. Najděte v ní nejteplejší a nejchladnější objekty, tepelné otisky a tepelné odrazy.
2. Leslieho kostku připojte ke zdroji střídavého napětí 12 V a nechte ji prohřívát, dokud některá ze stěn nedosáhne teploty přibližně 60 °C (příslušná termocitlivá nálepka se zbarví zeleně). Potom pro každou stěnu zaznamenejte do *Pracovního listu* jak teplotu naměřenou termocitlivou nálepkou, tak termokamerou. Pokuste se vysvětlit případné rozdíly.



Leslieho kostka

Úkol 2: Vyzkoušejte, jak folie z různých materiálů propouští tepelné záření emitované vaší rukou. Kromě připraveného skla a plastu prozkoumejte další běžně dostupné materiály.

Úkol 3: Černou a bílou polystyrenovou destičku umístěte pod žárovku tak, aby byly stejnoměrně osvětleny. Termovizní kamerou sledujte zahřívání destiček.



Osvětlování destiček ze vzdálenosti přibližně 10 cm

Úloha 2: Tepelná výměna vedením

TEORETICKÝ ÚVOD

Fyzikální teorie:

Vedení tepla se uplatňuje zejména v pevných látkách, téměř se neprojevuje v kapalinách a plynech. V případě elektricky nevodivých látek můžeme vedení tepla vysvětlit tak, že částice zahříváné části tělesa se více rozkmitají a předávají část své kinetické energie částicím sousedním. V elektricky vodivých látkách se na vedení tepla podílí volné elektrony.

Veličina, která popisuje schopnost látky vést teplo, se nazývá součinitel tepelné vodivosti λ , $[\lambda] = \text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, a sama lehce závisí na teplotě. Pro velmi dobré tepelné vodiče (kovy) dosahuje hodnot desítek až stovek wattů na metr na kelvin, nejlepší tepelné izolanty (některé plasty nebo vzduch) vykazují tepelnou vodivost cca $0,02 - 0,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Úkoly:

1. Pomocí termovizní kamery sledujte distribuci tepla v tepelném vodiči a izolantu.
2. Sledujte vedení tepla čtyřmi tyčkami stejných rozměrů a porovnejte tepelnou vodivost materiálů, ze kterých jsou vyrobeny.
3. Zkuste zapálit proužek papíru omotaný kolem měděné tyče.

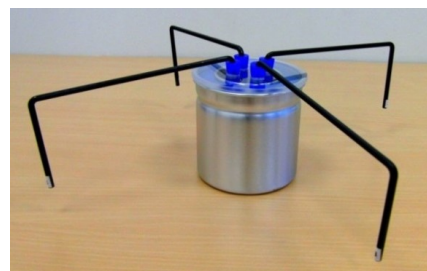
POSTUP

Úkol 1:

1. Jednu dlaň položte na kovovou a druhou současně na plastovou destičku. Obě dlaně nechte přibližně 20 sekund bez hnutí a pak je zvedněte. Celý děj sledujte termovizní kamerou a požadovaná zjištění zaneste do *Pracovního listu*.
2. Vyčkejte, než se obě destičky vrátí do tepelné rovnováhy s okolím. Mezitím můžete plnit úkol zadaný v *Pracovním listu*.
3. Experiment stejným způsobem zopakujte, jen místo svých dlaní položte na obě destičky kelímky naplněné ledem. Shoduje se výsledek experimentu s Vaší předpovědí?

Úkol 2:

1. Čtyři tyčky stejných rozměrů upevněte pomocí špuntů do víka kalorimetru tak, aby byla jejich čísla na koncích viditelná.
2. Kalorimetr naplňte horkou vodou, přiklopte víko a termokamerou pozorujte vedení tepla tyčkami. S pomocí *Pracovního listu* poté rozhodněte, která tyčka je vyrobena z kterého materiálu.



Tyčky pro vedení tepla

Úkol 3: Kolem měděné tyčky jednou obtočte kus papíru, připevněte ho izolepou a zkuste ho zapálit. Podařilo se vám to? Vysvětlete.

Úloha 3: Tepelná výměna prouděním

TEORETICKÝ ÚVOD

Fyzikální teorie:

Většina látek vykazuje objemovou teplotní roztažnost, to znamená, že při zahřívání roste jejich objem a klesá hustota. Protože v tekutinách (kam řadíme kapaliny a plyny) se mohou částice volně pohybovat, stoupá „lehčí“ prohřátá tekutina vzhůru a „těžší“ chladná klesá ke dnu nádoby.

Tak vzniká v kapalinách a plynech proudění, které zprostředkovává výměnu tepla díky přesunům makroskopického množství látky v tíhovém poli.

Jestliže ve speciálním případě dochází k proudění teplého vzduchu vertikální šachtou (komín, vysoká budova apod.), může být proudění tak intenzivní, že v dolní části šachty znatelně poklesne tlak a je sem nasáván vzduch z okolí. Tento jev se označuje jako komínový efekt. Princip komínového efektu se využívá jako základ efektivní ventilace budov nebo při vysoušení vlhkých domů.

Úkoly:

1. Vizualizujte proudění v kapalině.
2. Demonstrujte komínový efekt.

POSTUP

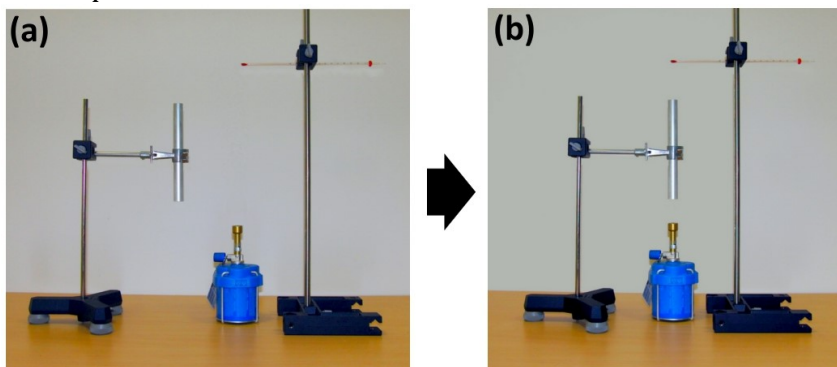
Úkol 1: Sestavte aparaturu podle obrázku vpravo. Nasypte do trubice malé množství barviva a začněte jeden roh trubice zahřívát.



Uspořádání experimentu

Úkol 2:

1. Sestavte aparaturu podle obrázku (a).
2. Kahan nechte hořet malým plamenem a lihový teploměr polohujte tak, aby byla jeho špička kolmo nad plamenem a měřená teplota nepřekročila 50 °C.
3. Mezi plamen a špičku teploměru nyní vsuňte duralovou trubičku, aby vše bylo v jedné přímce – podle obrázku (b). Sledujte chování teploměru.
4. Pokud teplota vystoupá nad 100 °C, okamžitě trubičku odsuňte a opět pozorujte chování teploměru.



Demonstrace komínového efektu

Příloha 9: Mechanismy tepelné výměny (Záznamový list)

Tato příloha předkládá vývojově první verzi *Záznamového listu* ke stanovišti *Mechanismy tepelné výměny* z první sady termodynamických pokusů. Používání těchto materiálů bylo v roce 2015 opuštěno a namísto nich vznikly nové *Pracovní listy*.

Mechanismy tepelné výměny

Záznamový list

Úloha 1: Tepelná výměna zářením

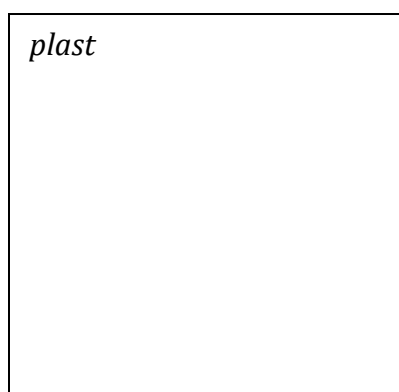
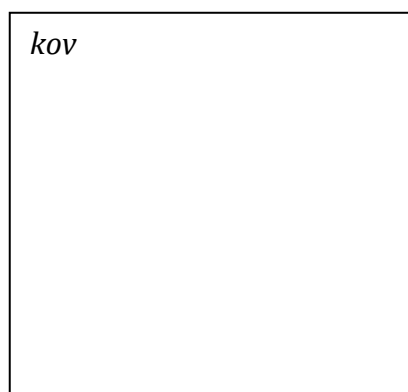
Úkol 1:

stěna	Teplota	
	termocitlivá folie	termokamera
černá		
bílá		
stříbrná		
zrcadlová		

U které stěny se naměřené hodnoty zásadní liší? A proč?

Úloha 2: Tepelná výměna vedením

Úkol 1: Níže se pokuste načrtnout, jak vypadala kovová a plastová destička pohledem termokamery těsně poté, co jste z nich sundali/y dlaně:



A nyní odhadněte, jaký obraz lze očekávat v případě, že na tytéž destičky položíme dva kelímky s ledem:

<i>kov</i>	<i>plast</i>
------------	--------------

Úkol 2: Čtyři tyčky, které budete používat při tomto experimentu, jsou vyrobeny ze čtyř různých materiálů – mědi, železa, skla a plastu. Tabulka níže udává orientační hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ pro tyto látky (při teplotě 25 °C; zdroje udávají poměrně široká rozmezí). Na základě tohoto údaje a vašeho experimentu přiřadte k materiálům čísla tyček.

látka	λ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	tyčka číslo...
měď	370 – 390	
železo	65 – 80	
sklo	1,0 – 1,4	
plast	0,10 – 0,25	

Příloha 10: Pracovní listy k sadě experimentů *Termodynamika I*

Tato příloha předkládá pět pracovních listů připravených pro potřeby kvantitativně pojaté experimentální sady *Termodynamika I*.

Každý pracovní list je uveden jak ve formě zadávané studentům, tak s následným autorským řešením, které je barevně odlišeno červeným fontem. Autorské řešení již neobsahuje instrukce k provádění experimentů, jsou v něm uvedeny pouze ty části pracovního listu, do kterých měli studenti své hypotézy či poznatky aktivně zapisovat. Výčet správných řešení není vyčerpávající, takže i řešení zde neuvedená mohou být fyzikálně korektní.

Autorská řešení nepočítají s tím, že by studenti některá měření v IFL v zájmu jejich větší přesnosti vícekrát opakovali. Termodynamická měření jsou ze své podstaty časově náročná – studované látky se obvykle po nějaký čas zahřívají či chladnou, ustavuje se tepelná rovnováha apod. Protože opakované provádění takových experimentů je v IFL z časových důvodů nereálné, odpadá tak možnost používat při vyhodnocování dat statistické metody – nepočítají se aritmetické průměry, směrodatné odchylky apod. Při posuzování přesnosti měření se vychází z čistě fyzikálních vlivů, které mohou přesnost ovlivňovat, z povahy prováděných pokusů a jejich uspořádání.

V závěru každého pracovního listu jsou uvedeny typické nesprávné hypotézy či závěry, kterých se (na základě autorových pozorování z IFL) studenti během experimentování dopouštějí. Některé opakované chyby se prolínají všemi stanovišti – jde zejména o neuvádění jednotek veličin, nesprávné převádění jednotek či zapisování výsledků ve tvaru s nesmyslně velkým počtem platných cifer; tyto chyby již dále u jednotlivých stanovišť zmiňovány nejsou.



URČENÍ MĚRNÉ TEPELNÉ KAPACITY VODY

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.
- Je-li součástí vaší úlohy elektrický obvod, nechte si zkontrolovat jeho zapojení.

Cíl a idea měření

Výstupem měření bude určení číselné hodnoty měrné tepelné kapacity vody. Vodu budeme zahřívát průchodem elektrického proudu topnou spirálou, která bude dodávat teplo vodě uvnitř nádoby i samotné nádobě. Protože platí zákon zachování energie, musí být práce vykonaná elektrickým proudem rovna celkovému dodanému teplu.

Teoretický úvod

Měrná tepelná kapacita c , $[c] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, určuje, jak velké množství tepla způsobí ohřátí 1 kilogramu látky o 1 kelvin – jde o typickou vlastnost látky, která popisuje její „ochotu“ měnit teplotu. Jestliže látku o hmotnosti m ohřejeme (ochladíme) o Δt , lze teplo Q dodané (odebrané) látce vyjádřit jako:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t$$

Pokud ohřev provádíme pomocí průchodu elektrického proudu I , je dodávané teplo rovno elektrické práci W , pro kterou platí:

$$W = U \cdot I \cdot \tau,$$

kde U je elektrické napětí a τ doba ohřevu.

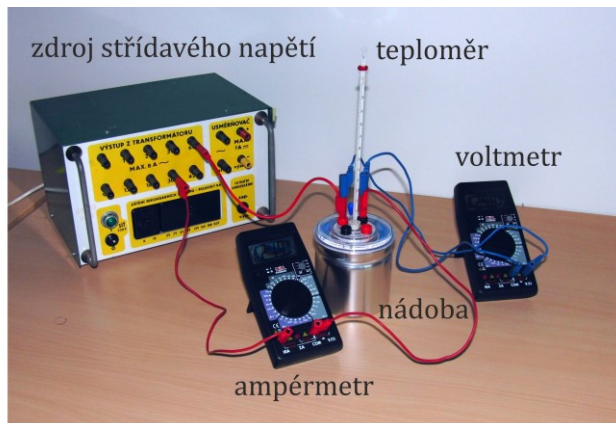
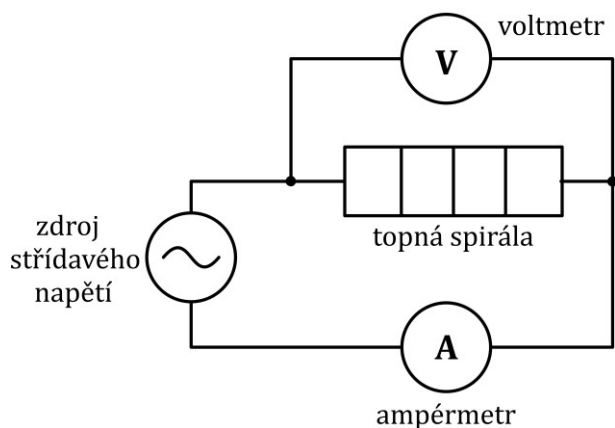
Postup

Vše, co změříte, si poznamenávejte do tabulky na další straně!!

1. Zvažte vnitřní hliníkovou nádobu kalorimetru (obr. 1).
2. Odvažte přibližně 100 g vody a nalijte ji do vnitřní hliníkové nádoby. Přesnou hmotnost si zaznamenejte.
3. Zapojte elektrický obvod podle obr. 2. Na topné spirále zvolte takové vstupy, aby byla zapojena do obvodu v celé délce, a připojte ji k napětí 24 V. Zdroj napětí zatím nezapínejte! Nechte si obvod zkontrolovat.
4. Změřte a zaznamenejte si teplotu vody na počátku měření.
5. Zapněte zdroj a zhruba tři až čtyři minuty nechte obvodem procházet proud přibližně 2 A. Poznamenejte si měřené napětí, proud a dobu zapnutí zdroje.
6. Před vypnutím zdroje vodu promíchejte vestavěným míchadlem. Za koncovou teplotu považujte nejvyšší hodnotu, kterou při míchání změříte.



Obr. 1: Vlevo kalorimetr, vpravo topná spirála



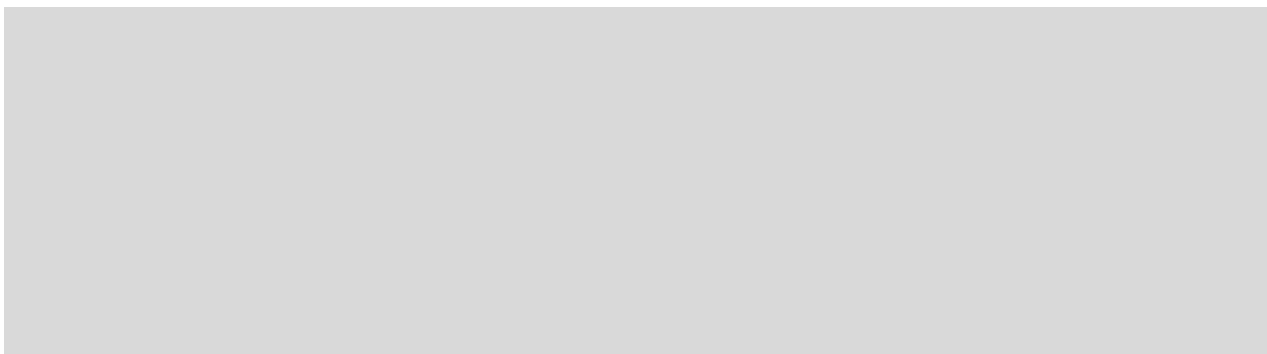
Obr. 2: Zapojení elektrického obvodu

7. Zkompletujte tabulku níže. Měrná tepelná kapacita c_v zůstává v rovnicích jako neznámá.

	voda	nádoba
hmotnost	$m_v =$ kg	$m_n =$ kg
měrná tepelná kapacita	c_v : určujete	$c_n = 896 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
počáteční teplota	$t_p =$ °C	
koncová teplota	$t_k =$ °C	
rozdíl teplot	$\Delta t =$ °C	
Voda přijme teplo: $Q_v = c_v m_v \Delta t =$		
Nádoba přijme teplo: $Q_n = c_n m_n \Delta t =$		

topná spirála	
el. napětí	$U =$ V
el. proud	$I =$ A
čas ohřevu	$\tau =$ s
Spirála odevzdá teplo: $W = UI\tau =$	

8. Napište pro tepla Q_v a Q_n a práci W zákon zachování energie a vyjádřete z něj hledanou měrnou tepelnou kapacitu vody. Dopočítejte číselně.





9. Porovnejte váš výsledek s tabulkovou hodnotou pro vodu. Jakých nepřesností a zanedbání jste se mohli během měření dopustit?

10. Rozmyslete si, proč nemusíte uvažovat ohřívání vnější kovové nádoby, ale pouze vnitřní.

Závěry

- Při ohřevu elektrickým proudem se [] energie přeměňuje na teplo, které se předává [] a [] .
- Z vašich výpočtů jste určili měrnou tepelnou kapacitu vody jako [] $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Pro srovnání, běžně udávaná hodnota je [] $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.



URČENÍ MĚRNÉ TEPELNÉ KAPACITY VODY

AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Postup

7. Zkompletujte tabulku níže. Měrná tepelná kapacita c_v zůstává v rovnicích jako neznámá.

	voda	nádoba	topná spirála	
hmotnost	$m_v = 0,100 \text{ kg}$	$m_n = 0,031 \text{ kg}$	el. napětí	$U = 25,9 \text{ V}$
měrná tepelná kapacita	c_v : určujete	$c_n = 896 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	el. proud	$I = 1,85 \text{ A}$
počáteční teplota	$t_p \doteq 23 \text{ }^\circ\text{C}$		čas ohřevu	$\tau = 205 \text{ s}$
koncová teplota	$t_k \doteq 44 \text{ }^\circ\text{C}$			
rozdíl teplot	$\Delta t \doteq 21 \text{ }^\circ\text{C}$			
Voda přijme teplo: $Q_v = c_v m_v \Delta t = c_v \cdot 0,100 \text{ kg} \cdot 21 \text{ }^\circ\text{C} = c_v \cdot 2,1 \text{ kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$			Spirála odevzdá teplo: $W = UI\tau = 25,9 \cdot 1,85 \cdot 205 \text{ J} \doteq 9820 \text{ J}$	
Nádoba přijme teplo: $Q_n = c_n m_n \Delta t = 896 \cdot 0,031 \cdot 19 \text{ J} \doteq 530 \text{ J}$				

8. Napište pro tepla Q_v a Q_n a práci W zákon zachování energie a vyjádřete z něj hledanou měrnou tepelnou kapacitu vody. Dopočítejte číselně.

$$Q_v + Q_n = W$$

$$c_v \cdot 2,1 \text{ kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C} + 530 \text{ J} = 9820 \text{ J}$$

$$c_v \doteq 4400 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{ }^\circ\text{C}^{-1} = 4400 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

Při tomto výpočtu obecně vždy dostáváme hodnotu měrné kapacity vyšší, než je hodnota tabulková – vykonaná elektrická práce je vždy větší než teplo dodané vodě a vnitřní nádobě kalorimetru, protože část této práce se využije na ohřátí okolního vzduchu, ohřátí vlastní konstrukce topné spirály atd.

9. Porovnejte váš výsledek s tabulkovou hodnotou pro vodu. Jakých nepřesností a zanedbání jste se mohli během měření dopustit?

Fyzikálními tabulkami udávaná hodnota měrné tepelné kapacity vody je $4182 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$), což představuje odchylku přibližně 5 % od naměřené hodnoty. Zdroje nepřesností měření jsou mezi jinými tyto:

- Teploty odečítáme kapalinovým teploměrem s nejmenším dílkem $1 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Neuvažujeme ohřev vzduchu nad hladinou vody ve vnitřní nádobě kalorimetru.



- Neuvažujeme ohřev kovové konstrukce spojené s topnou spirálou.
- Předpokládáme, že vnitřní nádoba kalorimetru je dokonale izolovaná a neodvádí teplo do svého okolí.
- Předpokládáme, že voda má po zamíchání v celém svém objemu stejnou teplotu.
- Předpokládáme, že také vnitřní nádoba kalorimetru se prohřeje rovnoměrně.

10. Rozmyslete si, proč nemusíte uvažovat ohřívání vnější kovové nádoby, ale pouze vnitřní.

Vnitřní nádoba je od vnější nádoby oddělena vrstvou pěnového polystyrenu, který je velmi dobrým tepelným izolantem a minimalizuje tepelnou výměnu vedením mezi vnitřní a vnější nádobou.

Závěry

- Při ohřevu elektrickým proudem se **elektrická** energie přeměňuje na teplo, které se předává **vodě v kalorimetru a jeho vnitřní nádobě**.
- Z vašich výpočtů jste určili měrnou tepelnou kapacitu vody jako **přibližně $4400 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$** .
- Pro srovnání, běžně udávaná hodnota je **přibližně $4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$** .

Typické omyly studentů

- Studenti jako jeden z nedostatků měření uvádějí obvykle i nepřesné měření elektrického napětí, elektrického proudu a času; ve skutečnosti jsou používány multimetry a stopky zdrojem pouze velmi malých chyb.



POROVNÁNÍ MĚRNÉ TEPELNÉ KAPACITY OLEJE A VODY

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.
- Je-li součástí vaší úlohy elektrický obvod, nechte si zkontrolovat jeho zapojení.

Cíl a idea měření

Cílem experimentu je porovnat měrnou tepelnou kapacitu rostlinného oleje a vody. Abychom toho dosáhli, budeme na elektrickém vařiči současně zahřívat stejné množství (hmotnost) oleje a vody a budeme měřit nárůst teploty obou kapalin.

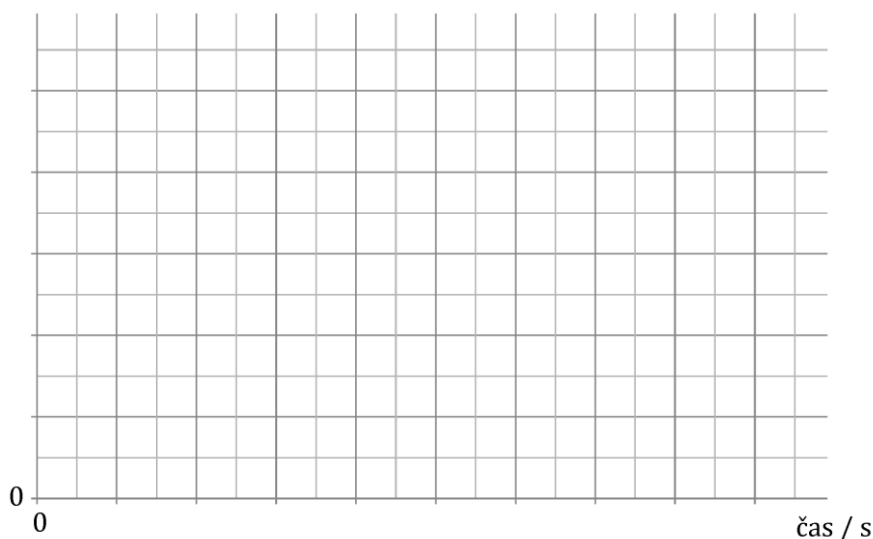
Teoretický úvod

Měrná tepelná kapacita c , $[c] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, určuje, jak velké množství tepla způsobí ohřátí 1 kilogramu látky o 1 kelvin. Látky s vyšší měrnou tepelnou kapacitou tedy mění svoji teplotu méně „ochotně“, a to jak při jejich zahřívání, tak při ochlazování. Budeme-li látce rovnoměrně dodávat teplo, rozhodne měrná tepelná kapacita o tom, jak rychle bude růst její teplota. (V případě kapalin, kde se uplatňuje zejména tepelná výměna prouděním, můžeme zanedbat vlivy způsobené různou tepelnou vodivostí porovnávaných látek.)

Postup

1. Na úvod vyhledejte na internetu měrné tepelné kapacity rostlinného oleje a vody a načrtněte do grafu váš odhad, jakým způsobem bude při zahřívání růst jak teplota oleje, tak teplota vody.

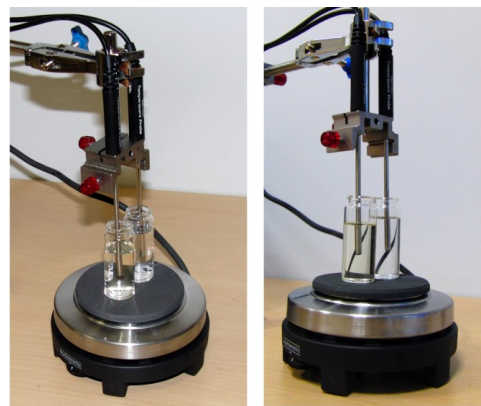
teplota / °C



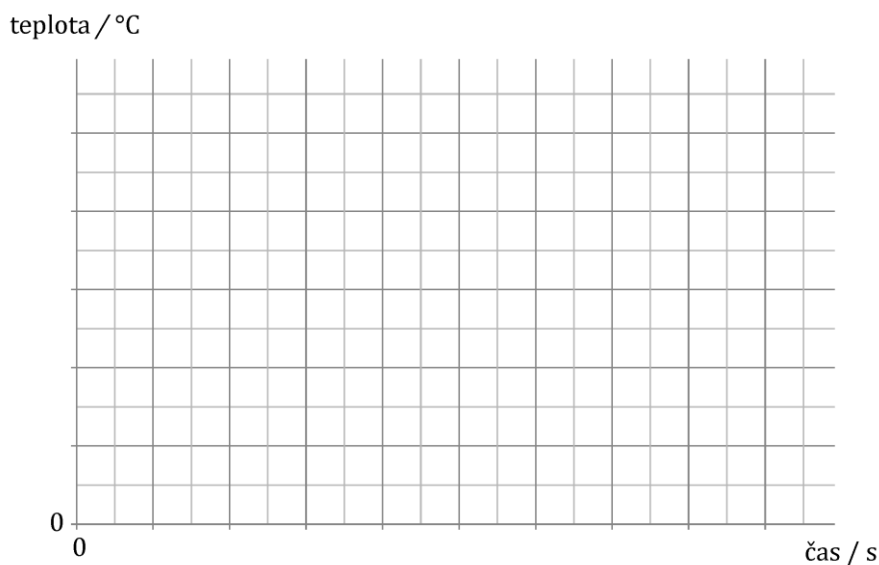
2. Umístěte nádobku s vodou i nádobku s olejem na plotýnku vařiče. Nádobky by měly být umístěny ve stejné vzdálenosti od středu plotýnky.
3. Sestavte aparaturu podle obr. 1. Teplotní čidla se nesmějí dotýkat stěn nádob!
4. Připojte teplotní čidla k počítači a otevřete soubor *Kapacity.cmb1* ze složky *Termodynamika* umístěné na ploše.



5. Zapněte současně vařič i měření. Jakmile některá z teplot překročí $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, ukončete měření, vypněte vařič a odstavte z něj zahřívané nádoby. **Nádoby neodstavujte holýma rukama!**
6. Překreslete získané závislosti do grafu na následující straně a porovnejte s vaší předpovědí z bodu 1.



Obr. 1: Uspořádání experimentu



7. V čem se od sebe liší vaše předpověď a skutečný výsledek? Uměli byste tento rozdíl vysvětlit? Jak by se muselo změnit uspořádání pokusu, aby výsledek zcela souhlasil s vaší předpovědí?

Závěry

- Voda má [] měrnou tepelnou kapacitu než olej, proto by se měla zahřívat [] .
- Ve vašem experimentu to na začátku měření neplatilo, protože:



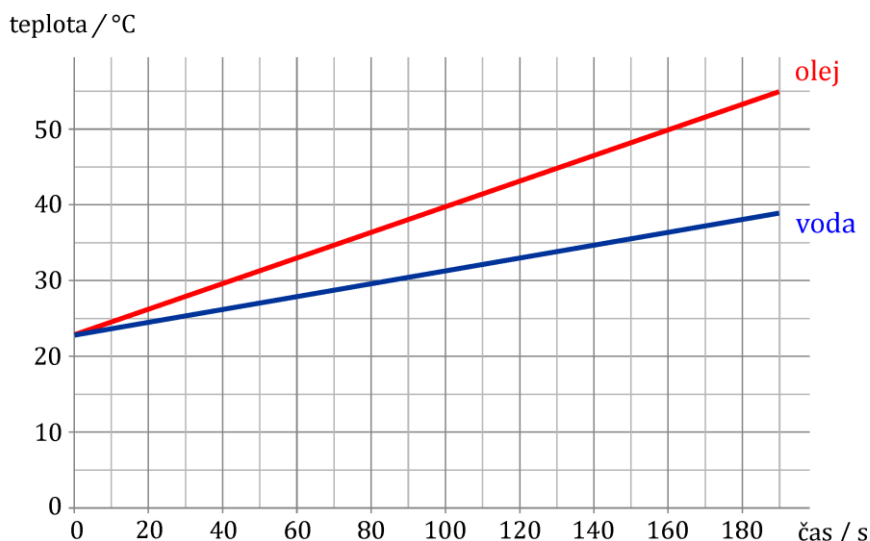
POROVNÁNÍ MĚRNÉ TEPELNÉ KAPACITY OLEJE A VODY AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Postup

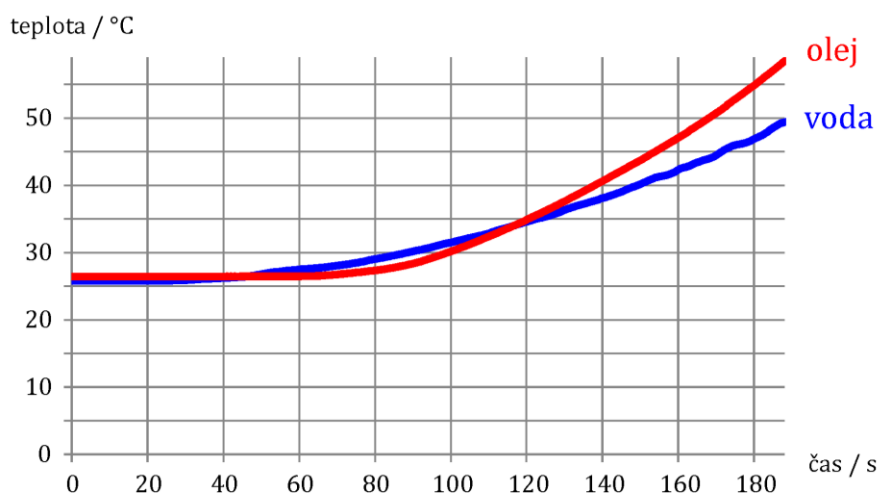
1. Na úvod vyhledejte na internetu měrné tepelné kapacity rostlinného oleje a vody a načrtněte do grafu váš odhad, jakým způsobem bude při zahřívání růst jak teplota oleje, tak teplota vody.

Tabulkami uváděná hodnota měrné tepelné kapacity vody je přibližně $4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, rostlinného oleje přibližně $2000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ (v závislosti na konkrétním druhu oleje), obě tyto hodnoty při teplotě 20°C . Olej by se tedy měl zahřívat přibližně 2x rychleji než voda.

Odhad růstu teploty na základě výše uvedených tabulkových údajů:



6. Překreslete získané (naměřené) závislosti do grafu na následující straně a porovnejte s vaší předpovědí z bodu 1.



Naměřené závislosti se svým tvarem ani vzájemnou polohou s učiněným odhadem příliš neshodují. K tomuto závěru docházejí studenti vždy, bez výjimky – ať už je jejich předpověď odpovídá počátečním teoretickým poznatkům o různých měrných tepelných kapacitách či nikoliv. Správná interpretace fyzikální teorie zde vede ke sporu s výsledkem pokusu, což



zřejmě znamená, že tvar naměřených křivek ovlivňují i jiné parametry než měrná tepelná kapacita.

7. V čem se od sebe liší vaše předpověď a skutečný výsledek? Uměli byste tento rozdíl vysvětlit? Jak by se muselo změnit uspořádání pokusu, aby výsledek zcela souhlasil s vaší předpovědí?

Z naměřeného grafu jsou oproti teoretické předpovědi patrné dvě zásadní odlišnosti:

- Předně nedochází k nárůstu teploty ihned po zapnutí vařiče, ale s časovým odstupem. V případě obou kapalin se prohřívá nejdříve jejich spodní vrstva. Tím se snižuje její hustota a tato zahřátá část kapaliny tak díky konvekci stoupá nádobkami vzhůru k teplotním čidlům; ta tedy zachytí nárůst teplota až s určitým zpožděním.
- Pozoruhodnou skutečností je, že se naměřené závislosti protínají – v první polovině experimentu se rychleji ohřívá překvapivě voda, teprve ve druhé převáží rychlost ohřevu oleje. Důvodem je značná viskozita oleje, v jejímž důsledku se v oleji ustanoví vertikální proudění výrazně později než ve vodě a k teplotnímu čidlu tak dospěje prohřívající se olej určitým časovým odstupem.

Výše uvedený efekt rozdílně intenzivního proudění ve vodě a v oleji lze eliminovat například tím, že budeme obě kapaliny míchat, případně umístíme teplotní čidla do těsné blízkosti dna obou nádobek (pokus je v IFL připraven tak, že čidla jsou ve výšce několik centimetrů nade dnem nádobek).

Závěry

- **Voda má vyšší měrnou tepelnou kapacitu než olej, proto by se měla zahřívat pomaleji.**
- **Ve vašem experimentu to na začátku měření neplatilo, protože značná viskozita oleje zejména na začátku experimentu značně omezuje jeho proudění. Olej se tedy zpočátku prohřívá pouze v úzké vrstvě u dna a zbytek jeho objemu mění teplotu pomalu. Teprve poté, co se v oleji ustanoví konvektivní proudění zajišťující jeho neustálé promíchávání, začne se jeho teplota v souladu s původními odhady zvyšovat rychleji než v případě vody.**

Typické omyly studentů

- Studenti velmi často myšlenkově dospějí ke správnému vysvětlení rozporu, který zde mezi teorií a experimentem vzniká, zvolí ale špatná slova, kterými jej popíšou. Obvykle soudí, že olej hůře proudí díky své vyšší hustotě, ačkoliv příčinou je jeho vysoká viskozita. Toto vysvětlení lze snadno vyvrátit tím, že olej a vodu smícháme – voda zůstane u dna, což naopak ukazuje na relativně malou hustotu oleje.
- Mnoho studentů načrtává grafy v bodu 1 tak, že vycházejí z počátku soustavy souřadnic, tj. z teploty 0 °C namísto teploty pokojové. Spíše než neporozumění zde ale bývá na vině pouhá nepozornost.



KALORIMETRIE

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.
- Je-li součástí vaší úlohy elektrický obvod, nechte si zkontrolovat jeho zapojení.

Cíl a idea měření

Cílem měření bude experimentálně určit měrnou tepelnou kapacitu dvou kovových válečků. Každý váleček vždy nejdříve ve vodní lázni (v rychlovarné konvici) zahřejeme na určitou teplotu, potom jej vložíme do studené vody a budeme měřit, o kolik se tato studená voda ohřeje, než nastane termodynamická rovnováha. Z těchto údajů dopočítáme hledanou měrnou tepelnou kapacitu.

Teoretický úvod

Jestliže uvedeme do tepelného kontaktu dvě tělesa, která mají různou teplotu (například vodu a zahřátý kovový váleček), budou si tato tělesa vyměňovat teplo až do chvíle, kdy se teplota obou těles ustálí na společné koncové teplotě t .

Původní teplejší těleso o teplotě t_1 při tomto ději odevzdá teplo $Q_1 = c_1 m_1 (t_1 - t)$, chladnější těleso o počáteční teplotě t_2 přijme teplo $Q_2 = c_2 m_2 (t - t_2)$; přitom c značí měrné tepelné kapacity látek, m hmotnosti těles. Protože platí zákon zachování energie ($Q_1 = Q_2$), lze psát tzv. kalorimetrickou rovnici:

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

Postup

Údaje, které naměříte, si zaznamenávejte do tabulky na další stránce v základních jednotkách!

1. Zvažte zkoumaný váleček a jeho hmotnost si poznamenejte.
2. Naplňte rychlovarnou konvici asi z poloviny vodou a nechte ji zahřívát při otevřeném víku konvice.
3. Během ohřevu vody upevněte váleček z neznámého kovu na nit a ze stojanu (obr. 1) jej spusťte do vody tak, aby byl ponořený, ale nedotýkal se dna konvice.
4. Do vnitřní nádoby kalorimetru odvažte přibližně 100 gramů vody, přesnou hmotnost si zaznamenejte.
5. Jakmile se začne voda v konvici vařit, přeměřte pro kontrolu její teplotu – bude to současně teplota zahřívajícího válečku t_1 . Stejně tak změřte teplotu vody v kalorimetru t_2 .
6. Nyní váleček rychle přemístěte do studené vody v kalorimetru a míchejte, dokud bude teplota v kalorimetru růst; maximální hodnotu si poznamenejte.



Obrázek 1: Zavěšení závaží



1. VÁLEČEK	<i>měrná tepelná kapacita</i>	<i>hmotnost</i>	<i>počáteční teplota</i>	<i>koncová teplota</i>	přijaté/odevzdané teplo
Váleček 1	c_1: určujeme	$m_1 =$	$t_1 =$	$t =$	$Q_1 =$
Voda v kalorimetru	$c_2 =$	$m_2 =$	$t_2 =$	$t =$	$Q_2 =$

7. Z kalorimetrické rovnice vypočtete měrnou tepelnou kapacitu první válečku.

8. Body postupu 1 – 7 opakujte pro druhý váleček.

2. VÁLEČEK	<i>měrná tepelná kapacita</i>	<i>hmotnost</i>	<i>počáteční teplota</i>	<i>koncová teplota</i>	přijaté/odevzdané teplo
Váleček 2	c_1: určujeme	$m_1 =$	$t_1 =$	$t =$	$Q_1 =$
Voda v kalorimetru	$c_2 =$	$m_2 =$	$t_2 =$	$t =$	$Q_2 =$

9. Výpočet měrné tepelné kapacity v případě druhého válečku:



10. Podle získaných výsledků a tabulek ohadněte, o jaké kovy by se mohlo jednat.

11. Jakých nepřesností jste se během měření a při následných výpočtech mohli dopustit? Najdete například něco, co jste do kalorimetrické rovnice zapoměli započítat?

Závěry

- Na základě kalorimetrické rovnice jste určili měrnou tepelnou kapacitu dvou válečků:
 - Váleček 1: $c \doteq$ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
 - Váleček 2: $c \doteq$ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- První váleček je nejspíše vyroben z , druhý z .
- Zkuste vlastními slovy popsat, v čem jsou největší nedostatky měření či výpočtů, kde při nich vznikají nejzásadnější nepřesnosti vedoucí k odchylkám dopočítané měrné tepelné kapacity od tabulkově udávaných hodnot.



KALORIMETRIE AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Postup

Vzorově doplněná tabulka pro první váleček:

1. VÁLEČEK	měrná tepelná kapacita	hmotnost	počáteční teplota	koncová teplota	přijaté/odevzdané teplo
Váleček 1	c_1 : určujeme	$m_1 = 200 \text{ g}$	$t_1 = 98 \text{ °C}$	$t = 34 \text{ °C}$	$Q_1 = c_1 m_1 (t_1 - t)$
Voda v kalorimetru	$c_2 = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$m_2 = 100 \text{ g}$	$t_2 = 23 \text{ °C}$	$t = 34 \text{ °C}$	$Q_2 = c_2 m_2 (t - t_2)$

Z kalorimetrické rovnice vypočtete měrnou tepelnou kapacitu neznámého materiálu:

$$Q_1 = Q_2$$

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

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

$$c_1 \doteq 360 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

V případě prvního válečku byla dopočítána jeho měrná tepelná kapacita jako $360 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Váleček je vyroben z **mědi**, jejíž udávaná měrná tepelná kapacita je $383 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, což představuje odchylku přibližně 6 %.

Vzorově doplněná tabulka pro druhý váleček:

2. VÁLEČEK	měrná tepelná kapacita	hmotnost	počáteční teplota	koncová teplota	přijaté/odevzdané teplo
Váleček 2	c_1 : určujeme	$m_1 = 200 \text{ g}$	$t_1 = 98 \text{ °C}$	$t = 27 \text{ °C}$	$Q_1 = c_1 m_1 (t_1 - t)$
Voda v kalorimetru	$c_2 = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$m_2 = 100 \text{ g}$	$t_2 = 23 \text{ °C}$	$t = 27 \text{ °C}$	$Q_2 = c_2 m_2 (t - t_2)$

Výpočet měrné tepelné kapacity druhého válečku postupuje stejným způsobem jako v případě válečku prvního; výsledná hodnota činí **117 J·kg⁻¹·K⁻¹**. Váleček je vyroben z **olova**, jehož udávaná měrná tepelná kapacita je $129 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, což představuje odchylku přibližně 10 %.

Obecně není překvapivé, že měrné tepelné kapacity zkoumaných látek vycházejí vždy nižší než jejich tabulkové hodnoty – zahřátý váleček odevzdává teplo nejenom vodě v kalorimetru, ale také vnitřní nádobě kalorimetru, okolnímu vzduchu apod. Nárůst teploty vody je tudíž menší, než kdyby tyto ztráty neexistovaly, a falešně tak signalizuje nižší měrnou tepelnou kapacitu látky, než jaká je v reálu.



Jakých nepřesností jste se během měření a při následných výpočtech mohli dopustit? Najdete například něco, co jste do kalorimetrické rovnice zapomněli započítat?

- Zanedbáváme tepelnou výměnu probíhající mezi válečkem a nádobou, vodou a nádobou, případně všemi uvedenými tělesy a okolním vzduchem.
- Předpokládáme, že váleček se ve vodní lázni prohřeje v celém svém objemu na její teplotu.
- Předpokládáme, že voda v kalorimetru se v celém svém objemu prohřeje rovnoměrně.

Závěry

- Na základě kalorimetrické rovnice jste určili měrnou tepelnou kapacitu dvou válečků:
 - Váleček 1: $c \doteq 360 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
 - Váleček 2: $c \doteq 117 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- První váleček je nejspíše vyroben z **mědi**, druhý z **olova**.
- Zkuste vlastními slovy popsat, v čem jsou největší nedostatky měření či výpočtů, kde při nich vznikají nejzásadnější nepřesnosti vedoucí k odchylkám dopočítané měrné tepelné kapacity od tabulkově udávaných hodnot.

Viz výše.

Typické omyly studentů

- Studenti velmi často jako výchozí teplotu kovových válečků automaticky volí $100 \text{ }^\circ\text{C}$ – válečky byly přece vloženy do vroucí vody. Použití teploměru snadno ukáže, že v podmínkách běžné české učebny (typicky více než 150 m n. m.) se ale voda vaří při teplotě o stupeň či dva nižší – v závislosti na nadmořské výšce místa aktuálním počasí.
- Mají-li studenti v závěru měření přiřadit získané hodnoty k tabulkovým, občas dojdou k závěrům, které na první pohled odporují reálnosti situace – například měrná tepelná kapacita olova je blízká hodnotám pro zlato či uran, které někdy studenti bez váhání vyberou.



OVĚŘENÍ BOYLEOVA – MARIOTTOVA ZÁKONA

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.
- Je-li součástí vaší úlohy elektrický obvod, nechte si zkontrolovat jeho zapojení.

Cíl a idea měření

Cílem první části experimentu je proměřit závislost tlaku plynu na jeho objemu při stálé teplotě. Vzduch uzavřeme do plastové stříkačky, ručně budeme nastavovat jeho objem a připojené čidlo bude měřit příslušný tlak. Přitom předpokládáme, že teplota plynu se mění pouze zanedbatelně.

Ve druhé části pokusu z naměřených hodnot odhadneme látkové množství vzduchu ve stříkačce.

Teoretický úvod

Za běžných teplot a tlaků můžeme chování okolního vzduchu s dostatečnou přesností popisovat modelem tzv. ideálního plynu. Z hlediska termodynamiky je ideální plyn takový, pro který platí rovnice spojující stavové veličiny (tzv. stavová rovnice) ve tvaru:

$$pV = nRT,$$

kde p je tlak plynu, V jeho objem, T termodynamická teplota, n látkové množství a R molární plynová konstanta ($R \doteq 8,3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$). Pokud se zaměříme na děj s ideálním plynem, při kterém se teplota plynu nemění (tzv. izotermický děj), je pravá strana výše uvedené rovnice konstantní a platí:

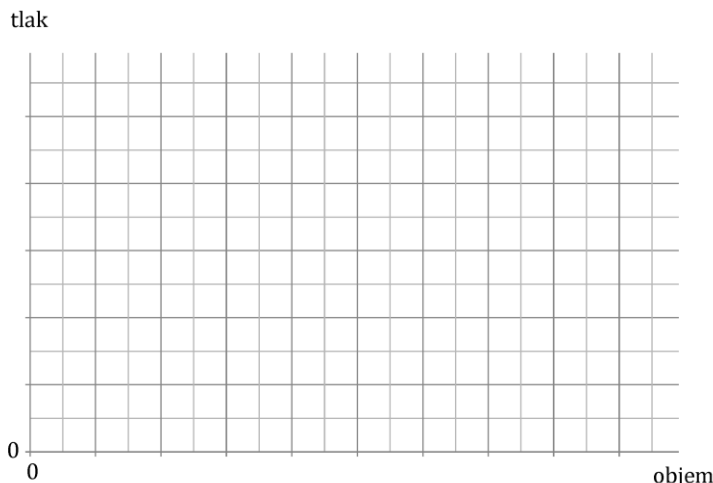
$$pV = \text{konst.}$$

Součin tlaku a objemu se tedy během izotermického děje s ideálním plynem zachovává; tento poznatek označujeme jako Boyleův – Mariottův zákon.

Část 1: Naměření pV -závislosti

Postup

1. Ještě před začátkem měření do připraveného grafu odhadněte, jakou závislost mezi tlakem a objemem očekáváte.







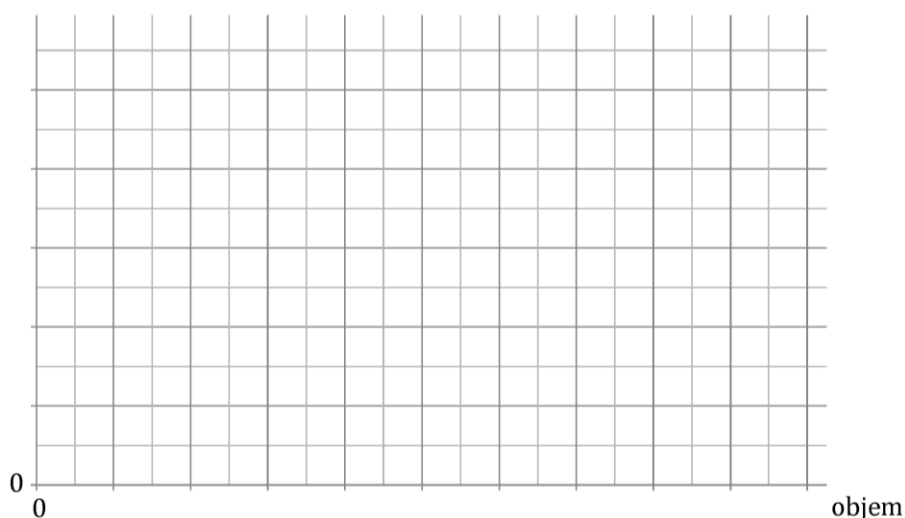
2. Píst stříkačky nastavte tak, aby prostřední ryska ukazovala hodnotu 10 ml (10 cm^3), a přišroubujte stříkačku k čidlu tlaku GPS-BTA (obr. 1).



Obr. 1: Přišroubování stříkačky k čidlu tlaku

3. Čidlo tlaku připojte k počítači. Otevřete soubor *pV_zavislost.cmb1* umístěný ve složce *Termodynamika na ploše*.
4. Spust'te měření: . Když nyní stisknete modré kolečko , čidlo odečte tlak a program se zeptá, jakému aktuálnímu objemu patří. Zadejte tedy 10 ml. Bod se zanes do grafu.
5. S krokem 1 ml proměřte rozsah od 5 ml do 20 ml. **Objem nesmí klesnout pod 5 ml!!!**
6. Do grafu níže znázorněte, jak dopadlo vaše měření.

tlak



7. Shoduje se naměřená závislost s vaším odhadem z úkolu 1?


8. Jakých nepřesností a zanedbání jste se při měření mohli dopustit – a jistě i dopustili?

Část 2: Zpracování naměřených hodnot

Postup

1. Jak by závislost, kterou jste naměřili v první části experimentu, pojmenovali matematici? Která křivka je jejím grafem?



2. Pomocí ikony  výše uvedenou křivku naměřenými hodnotami proložte. Opište si její předpis a vyjádřete z něj hodnotu součinu pV ; tu pak převed'te do základních jednotek:

$$p = \frac{\text{[] kPa} \cdot \text{cm}^3}{V}$$

$$pV = \text{[] kPa} \cdot \text{cm}^3 = \text{[] Pa} \cdot \text{m}^3$$

3. Pomocí výše vyjádřeného součinu pV a stavové rovnice ideálního plynu odhadněte látkové množství n vzduchu ve stříčce.

4. Umíte určit látkové množství ještě jiným způsobem? Připomeňme, že v chemii se často zmiňuje, že jeden mol ideálního plynu má za normálních podmínek objem přibližně 22,4 litru. Zkuste pomocí této znalosti (a trojčlenky ☺) váš výpočet z předcházející úlohy potvrdit.

5. Pokuste se porovnat přesnost obou způsobů určení látkového množství (změření pV závislosti versus výpočet z objemu 1 molu). Který postup vám přijde fyzikálně korektnější a proč?

Závěry

- Při izotermickém ději s ideálním plynem se teplota plynu T [] .
- Tlak plynu je při tomto ději [] úměrný objemu plynu; grafem závislosti tlaku na objemu je [] .
- Z předpisu naměřené závislosti lze pomocí [] rovnice dopočítat například látkové množství n plynu ve stříkačce; v tomto případě $n \doteq$ [] mol.

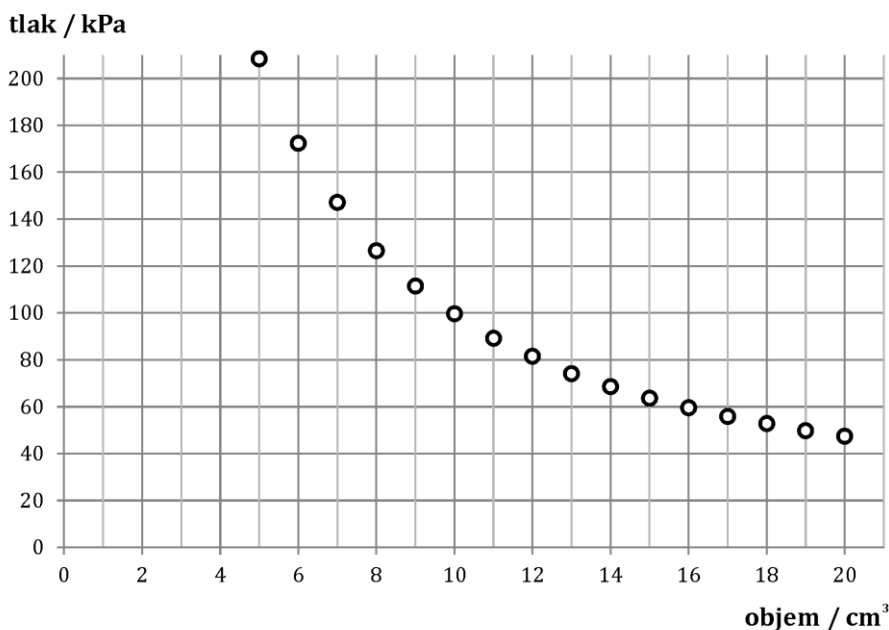


OVĚŘENÍ BOYLEOVA – MARIOTTOVA ZÁKONA AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Část 1: Naměření pV -závislosti

Postup

6. Do grafu níže znázorněte, jak dopadlo vaše měření.



7. Shoduje se naměřená závislost s vaším odhadem z úkolu 1?

*V případě většiny studentů ano, relativně často se ale mezi odhady objevuje lineární průběh závislosti – více viz *Typické omyly studentů*.*

8. Jakých nepřesností a zanedbání jste se při měření mohli dopustit – a jistě i dopustili?

- Snažíme se naměřit závislost pro izotermický děj, při kterém se teplota plynu nemění. Při našem měření ovšem plyn stlačujeme nebo jej naopak necháme rozpínat, což jeho teplotu během měření mění; stejně tak chvílemi zahříváme vzduch prostřednictvím stříkačky držené v našich dlaních. Abychom se požadavku konstantní teploty přiblížili, vyčkáváme mezi jednotlivými měřeními několik jednotek až desítek sekund, aby se ustanovila tepelná rovnováha mezi vzduchem ve stříkačce a okolím (teplotním rezervoárem); tato rovnováha je ovšem typicky pouze přibližná.
- Určitou nepřesnost do měření vždy vnáší odečet objemu ze stupnice stříkačky, jejíž nejmenší dílek představuje objem 1 ml.
- Stříkačka je závitem přišroubována k tělu tlakového čidla, tímto závitom může část vzduchu zejména při vyšších tlacích unikat mimo tělo stříkačky.




Část 2: Zpracování naměřených hodnot

Postup

1. Jak by závislost, kterou jste naměřili v první části experimentu, pojmenovali matematici? Která křivka je jejím grafem?

Jde o nepřímou úměrnost, jejím grafem je hyperbola.

2. Pomocí ikony  výše uvedenou křivku naměřenými hodnotami proložte. Opište si její předpis a vyjádřete z něj hodnotu součinu pV ; tu pak převedte do základních jednotek:

$$p \doteq \frac{1000 \text{ kPa} \cdot \text{cm}^3}{V}$$

$$pV \doteq 1000 \text{ kPa} \cdot \text{cm}^3 = 1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3$$

3. Pomocí výše vyjádřeného součinu pV a stavové rovnice ideálního plynu odhadněte látkové množství n vzduchu ve stříkačce.

$$pV = nRT$$

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{1}{8,31 \cdot 296} \text{ mol} = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

4. Umíte určit látkové množství ještě jiným způsobem? Připomeňme, že v chemii se často zmiňuje, že jeden mol ideálního plynu má za normálních podmínek objem přibližně 22,4 litru. Zkuste pomocí této znalosti (a trojčlenky ☺) váš výpočet z předcházející úlohy potvrdit.

Normální molární objem obvykle značíme V_m , $V_m = 22,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ (při teplotě $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $101,325 \text{ kPa}$). **Přibližně** za těchto podmínek (teplota nebyla $0 \text{ }^\circ\text{C}$, ale cca $23 \text{ }^\circ\text{C}$) měl studovaný vzduch v naší stříkačce objem $V = 10 \text{ cm}^3 = 0,010 \text{ dm}^3$. Z těchto úvah lze dopočítat látkové množství:

$$V_m = \frac{V}{n}$$

$$n = \frac{V}{V_m} = \frac{0,010}{22,4} \text{ mol} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

5. Pokuste se porovnat přesnost obou způsobů určení látkového množství (změření pV závislosti versus výpočet z objemu 1 molu). Který postup vám přijde fyzikálně korektnější a proč?

Na první pohled jsou pro studenty oba přístupy podobné, oba mají svá slabá místa – první přístup nepracuje s ideálně izotermickým dějem, druhý používá normální molární objem při teplotě vyšší než $0 \text{ }^\circ\text{C}$; nefyzikální slabinou druhého postupu je ale navíc fakt, že vychází z jediné naměřené hodnoty, počátečního objemu vzduchu ve stříkačce.

Podrobnější výpočty ukazují, že pokud pomocí stavové rovnice ideálního plynu zohledníme závislost molárního objemu na teplotě ($V_m = \frac{RT}{p}$), dostáváme pro teplotu $23 \text{ }^\circ\text{C}$ molární objem



$V_m = 24,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ a látkové množství vzduchu ve stříkačce $n = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$, což je stejný výsledek jako ten získaný z předpisu izotermy v Boyleově – Mariottově zákoně. Vyhodnocení předpisu izotermy dává tedy přesnější odhad než jeho dopočítávání z hodnoty normálního molárního objemu.

Závěry

- Při izotermickém ději s ideálním plynem se teplota plynu T **nemění**.
- Tlak plynu je při tomto ději **nepřímo** úměrný objemu plynu; grafem závislosti tlaku na objemu je **hyperbola**.
- Z předpisu naměřené závislosti lze pomocí **stavové** rovnice dopočítat například látkové množství n plynu ve stříkačce; v tomto případě $n \doteq 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$.

Typické omyly studentů

- Relativně často studenti chybují ve svém odhadu, jak bude při izotermickém ději vypadat závislosti tlaku ideálního plynu na jeho objemu. Typicky dospějí k tomu, že tato závislost bude klesající, určení tvaru křivky ale představuje značný problém – mnoho skupin studentů nakonec navrhne závislost ve tvaru klesající lineární funkce.
- Studenti mezi nepřesnosti měření obvykle řadí i odchylku tlakového čidla, které naměření závislosti umožňuje; reálně je ale mnohem zásadnější způsob, jakým je k čidlu přišroubovaná stříkačka.
- Pro většinu studentů je myšlenkově zcela nový přístup, jakým se v tomto experimentu určí hodnota součinu pV . Skutečnost, že celou tuto – v daných podmínkách – konstantu dopočítává počítač, studenti velmi často přehlížejí a dosazují do součinu pV náhodně vybrané dvojice naměřeného tlaku a objemu.



OVĚŘENÍ CHARLESOVA ZÁKONA

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.
- Je-li součástí vaší úlohy elektrický obvod, nechte si zkontrolovat jeho zapojení.

Cíl a idea měření

Cílem experimentu je proměřit závislost tlaku plynu na jeho teplotě při stálém objemu. Vzduch uzavřeme do skleněné baňky, jež zaručí neměnný objem, a baňku ponoříme do vodní lázně. Teplotu lázně budeme přiléváním horké vody měnit a budeme sledovat, jak se přitom mění tlak vzduchu uvnitř.

Teoretický úvod

Za běžných teplot a tlaků můžeme chování okolního vzduchu s dostatečnou přesností popisovat modelem tzv. ideálního plynu. Z hlediska termodynamiky je ideální plyn takový, pro který platí rovnice spojující stavové veličiny (tzv. stavová rovnice) ve tvaru:

$$pV = nRT,$$

kde p je tlak plynu, V jeho objem, T termodynamická teplota, n látkové množství a R molární plynová konstanta ($R \doteq 8,3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$). Pokud se zaměříme na děj s ideálním plynem, při kterém se objem plynu nemění (tzv. izochorický děj), platí, že podíl tlaku a termodynamické teploty se zachovává:

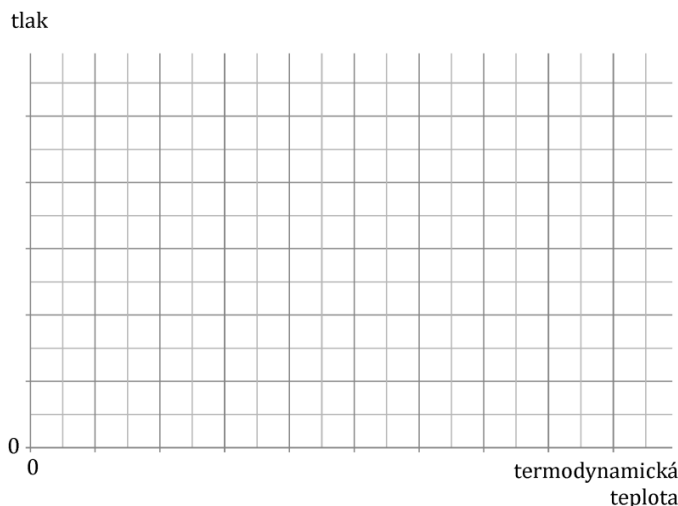
$$\frac{p}{T} = \text{konst.}$$

Tento poznatek označujeme jako Charlesův zákon.




Část 1: Naměření pT -závislosti

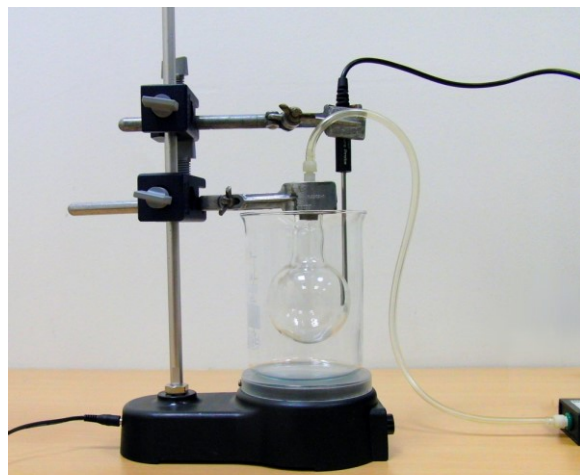
Postup

1. Ještě před začátkem měření do připraveného grafu odhadněte, jakou závislost mezi tlakem a teplotou očekáváte.



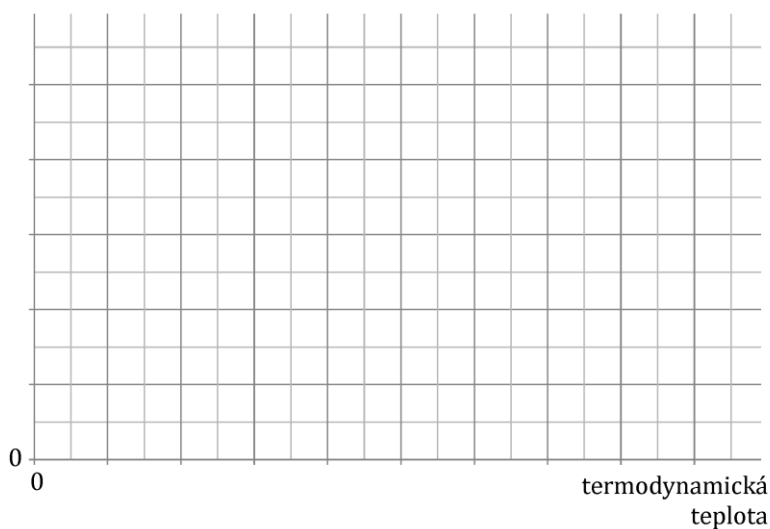


2. Sestavte aparaturu podle obr. 1. Tlakové čidlo GPS-BTA je hadičkou spojeno se zátkou kulové baňky, teploměr bude měřit teplotu vody v kádince a neměl by se dotýkat skleněných stěn. Kádinka je umístěna na podstavci magnetické míchačky.
3. Připojte teplotní i tlakové čidlo k počítači a otevřete soubor *pT_zavislost.cmb1* ve složce *Termodynamika na ploše*.
4. Do kádinky nalijte kohoutkovou vodu tak, aby byla baňka přibližně z poloviny ponořená.
5. Spusťte měření  . Když nyní stisknete modré kolečko  , čidla odečtou současně tlak a teplotu a zanesou bod do *pT* diagramu.
6. Přilévejte horkou vodu z rychlovarné konvice. Po každém přilítí nechte teplotu 10-20 sekund ustálit a pak stiskem  stav zaznamenejte. Naměřte alespoň 10 hodnot.
7. Do grafu níže znázorněte, jak dopadlo vaše měření.



Obr. 1: Uspořádání experimentu

tlak



8. Shoduje se naměřená závislost s vaším odhadem z úkolu 1?


9. Jakých nepřesností a zanedbání jste se při měření mohli dopustit? Proč je při měření vhodné používat magnetickou míchačku?



Část 2: Zpracování naměřených hodnot

Postup

1. Jak by závislost, kterou jste naměřili v první části experimentu, pojmenovali matematici? Která křivka je jejím grafem?

2. Pomocí ikony  výše uvedenou křivku naměřenými hodnotami proložte. Opište si její předpis a vyjádřete z něj hodnotu podílu $\frac{p}{T}$; tu pak převed'te na základní jednotky:

$$p = \text{ } \cdot T$$

$$\frac{p}{T} = \text{ } \frac{\text{kPa}}{\text{K}} = \text{ } \frac{\text{Pa}}{\text{K}}$$

3. Vzpomenete si z hodin chemie na to, jaký je za normálních podmínek objem 1 molu libovolného plynu? Pokud si nevzpomenete, vyhledejte informaci na internetu.

4. Je tomu tak i v případě vašeho vzorku vzduchu? Vyjádřete ze stavové rovnice ideálního plynu objem a dosad'te – látkové množství je 1 mol, podíl $\frac{p}{T}$ jste si zapsali v úkolu 2 a budete potřebovat jeho převrácenou hodnotu, tj. $\frac{T}{p}$. Konstantu R najdete v teoretickém úvodu.

5. Nakolik se vámi vypočítaná hodnota liší od hodnoty běžně udávané? Napadají vás nějaké příčiny, které mohou rozdíl způsobovat?



Závěry

- Při izochorickém ději s ideálním plynem se objem plynu V [] .
- Tlak plynu je při tomto ději [] úměrný teplotě plynu; grafem této závislosti je [] .
- Z předpisu naměřené závislosti můžete pomocí [] rovnice dopočítat například normální objem jednoho molu plynu - z provedeného měření jej lze odhadnout jako $V =$ [] dm^3 , zatímco běžně udávaná hodnota je $22,4 \text{ dm}^3$.

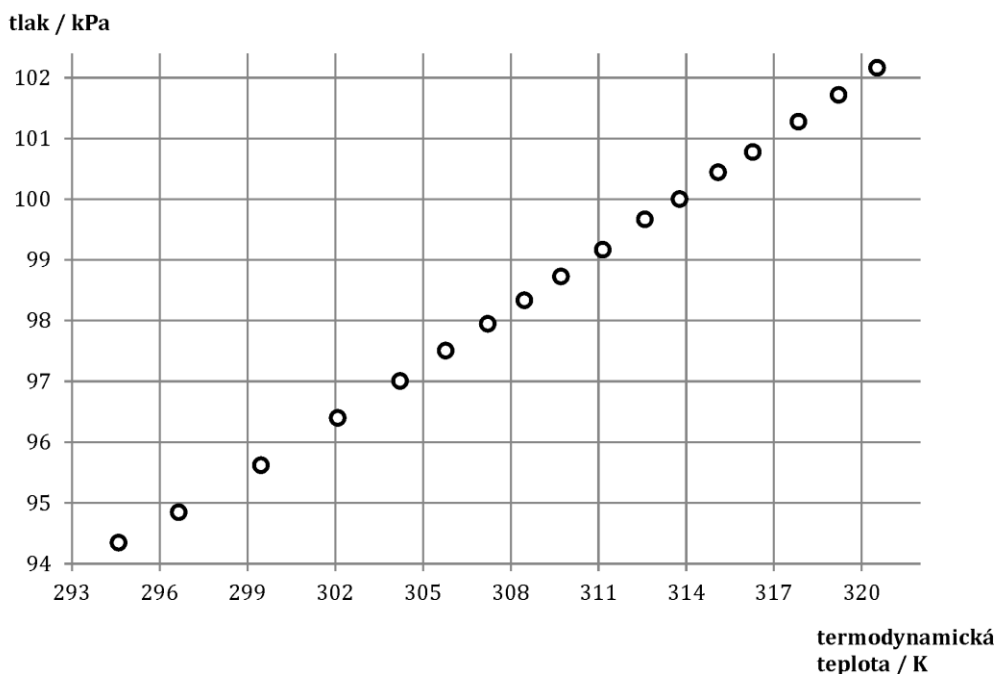


OVĚŘENÍ CHARLESOVA ZÁKONA AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Část 1: Naměření pT -závislosti

Postup

7. Do grafu níže znázorněte, jak dopadlo vaše měření.



8. Shoduje se naměřená závislost s vaším odhadem z úkolu 1?

V drtivé většině případů je odhad studentů správný.

9. Jakých nepřesností a zanedbání jste se při měření mohli dopustit? Proč je při měření vhodné používat magnetickou míchačku?

- Relativně nápadná nepřesnost, které si studenti obvykle všimnou, se skrývá v samotném uspořádání experimentu. Naším cílem je měřit izochorickou závislost tlaku ideálního plynu na jeho teplotě, reálně ale v experimentu neměříme teplotu samotného plynu, nýbrž teplotu vodní lázně, ve které je postupně zahříván. Předpokládáme tedy průběžně udržovanou tepelnou rovnováhu mezi vodní lázní a vzduchem uvnitř nádoby – ten je ale ochlazován vzduchem okolním, neboť po většinu měření není nádoba ve vodní lázni zcela ponořena.
- Nádoba s plynem je s tlakovým čidlem spojena plastovou hadičkou o délce cca 35 cm, která je po celou dobu experimentu v kontaktu s okolním vzduchem a vzduch v ní tak má nižší teplotu než vzduch v zahřívané nádobce. Vzhledem k tomu, že vnitřní objem hadičky je ve srovnání s objemem nádoby velmi malý, lze ale tento vliv zanedbávat.
- Diskutabilní je vždy těsnost zátky, kterou je nádoba se studovaným vzduchem spojena, stejně jako těsnost závitového spoje zátky a hadičky, resp. hadičky a čidla.




Část 2: Zpracování naměřených hodnot

Postup

6. Jak by závislost, kterou jste naměřili v první části experimentu, pojmenovali matematici? Která křivka je jejím grafem?

Jde o přímou úměrnost, jejímž grafem je přímka. (Naměřené hodnoty ovšem velmi dobře vyhovují i předpisu obecné lineární závislosti neprocházející počátkem soustavy souřadnic; protože v dalších krocích využíváme aproximaci přímou úměrností, je zde třeba studenty k její volbě nasměrovat – například pomocí *Teoretického úvodu*).

7. Pomocí ikony  výše uvedenou křivku naměřenými hodnotami proložte. Opište si její předpis a vyjádřete z něj hodnotu podílu $\frac{p}{T}$; tu pak převed'te na základní jednotky:

$$p \doteq 0,309 \frac{\text{kPa}}{\text{K}} \cdot T$$

$$\frac{p}{T} \doteq 0,309 \frac{\text{kPa}}{\text{K}} = 309 \frac{\text{Pa}}{\text{K}}$$

8. Vzpomenete si z hodin chemie na to, jaký je za normálních podmínek objem 1 molu libovolného plynu? Pokud si nevzpomenete, vyhledejte informaci na internetu.

Objem jednoho molu libovolného plynu je za normálních podmínek $22,4 \text{ dm}^3$.

9. Je tomu tak i v případě vašeho vzorku vzduchu? Vyjádřete ze stavové rovnice ideálního plynu objem a dosad'te – látkové množství je 1 mol, podíl $\frac{p}{T}$ jste si zapsali v úkolu 2 a budete potřebovat jeho převrácenou hodnotu, tj. $\frac{T}{p}$. Konstantu R najdete v teoretickém úvodu.

$$pV = nRT$$

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{nR}{\frac{p}{T}} \doteq \frac{1 \cdot 8,31}{309} \text{ m}^3 \doteq 26,9 \text{ dm}^3$$

10. Nakolik se vámi vypočítaná hodnota liší od hodnoty běžně udávané? Napadají vás nějaké příčiny, které mohou rozdíl způsobovat?

Vypočítaná hodnota se od běžně udávané hodnoty liší přibližně o 20 %. Více o limitech měření viz část 1, bod 9.

Závěry

- Při izochorickém ději s ideálním plynem se objem plynu V **nemění**.
- Tlak plynu je při tomto ději **přímo** úměrný teplotě plynu; grafem této závislosti je **přímka**.
- Z předpisu naměřené závislosti můžete pomocí **stavové** rovnice **dopočítat normální objem 1 molu plynu** – z provedeného měření jej lze odhadnout jako $V \doteq 26,9 \text{ dm}^3$, zatímco běžně udávaná hodnota je $22,4 \text{ dm}^3$.



Typické omyly studentů

- Studenti někdy tápou v rozdílu mezi obecnou lineární funkcí a přímou úměrností.
- Pro většinu studentů je myšlenkově zcela nový přístup, jakým se v tomto experimentu určí hodnota podílu $\frac{p}{T}$. Skutečnost, že celou tuto – v daných podmínkách – konstantu dopočítává počítač, studenti velmi často přehlížejí a dosazují do podílu $\frac{p}{T}$ náhodně vybrané dvojice naměřeného tlaku a objemu.

Příloha 11: Pracovní listy k sadě experimentů *Termodynamika II*

Tato příloha předkládá pět pracovních listů připravených pro potřeby kvalitativně pojaté experimentální sady *Termodynamika II*.

Každý pracovní list je uveden jak ve formě zadávané studentům, tak s následným autorským řešením, které je barevně odlišeno červeným fontem. Autorské řešení již neobsahuje instrukce k provádění experimentů, jsou v něm uvedeny pouze ty části pracovního listu, do kterých měli studenti své hypotézy či poznatky aktivně zapisovat. Výčet správných řešení není vyčerpávající, takže i řešení zde neuvedená mohou být fyzikálně korektní.

V závěru každého pracovního listu jsou uvedeny typické nesprávné hypotézy či závěry, kterých se (na základě autorových pozorování z IFL) studenti během experimentování dopouštějí.



VEDENÍ TEPLA

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.
- Je-li součástí vaší úlohy elektrický obvod, nechte si zkontrolovat jeho zapojení.

Cíl a idea experimentů

Budeme v různých situacích vizualizovat nárůst či pokles teploty způsobený vedením tepla v rozličných materiálech. Naším cílem je odlišit vlastnosti tepelných izolantů a vodičů.

Teoretický úvod

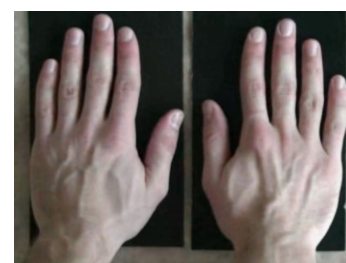
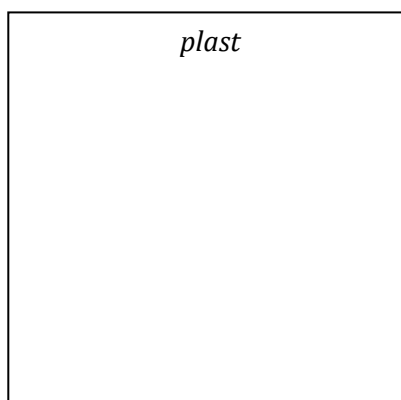
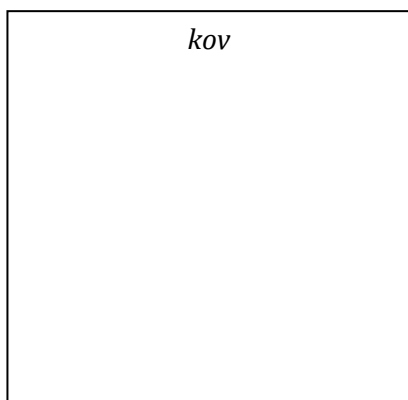
Vedení tepla se uplatňuje zejména v pevných látkách, téměř se neprojevuje v kapalinách a plynech. V případě elektricky nevodivých látek můžeme vedení tepla vysvětlit tak, že částice zahřívané části tělesa se více rozkmitají a předávají část své kinetické energie částicím sousedním. V elektricky vodivých látkách se na vedení tepla podílí volné elektrony.

Veličina, která popisuje schopnost látky vést teplo, se nazývá součinitel tepelné vodivosti λ , $[\lambda] = \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, a sama lehce závisí na teplotě. Pro velmi dobré tepelné vodiče (kovy) dosahuje hodnot desítek až stovek wattů na metr na kelvin, nejlepší tepelné izolanty (některé plasty nebo vzduch) vykazují tepelnou vodivost cca $0,02 - 0,05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Část 1: Tepelná vodivost plastu a kovu – po stopách tepla

Postup

1. Ukážeme, jakým způsobem se předává teplo kovu a plastu. Na černou kovovou a plastovou destičku položte současně dlaně (obr. 1) a přibližně 20 sekund snímejte termovizní kamerou.
2. Načrtněte, jak vypadaly destičky po zvednutí dlaní:



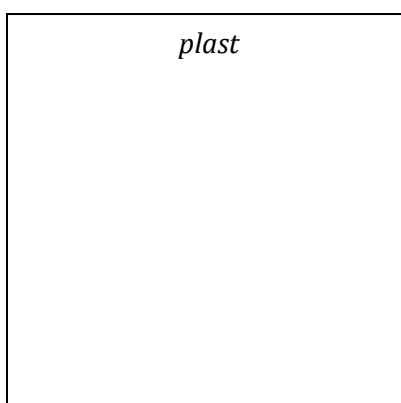
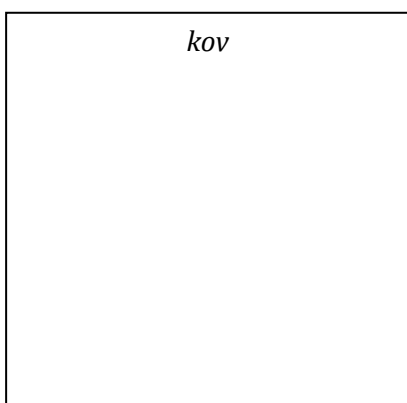
Obr. 1

3. Zkuste vysvětlit, proč vámi nakreslený obrázek vypadá tak, jak vypadá.



4. Měřila termovizní kamera před položením dlaní u obou destiček přibližně stejnou teplotu? Pokud si situaci nevybavujete, podívejte se na destičky ještě jednou.
5. Zdála se vám přesto při dotyku některá z destiček chladnější? Která?
6. Zkuste vysvětlit tento zdánlivý rozpor:

7. Nyní odhadněte, jaký obraz získáme termovizní kamerou v případě, že na tytéž destičky položíme dva kelímky s ledem (obr. 2):



Obr. 2

8. Potvrďte/vyvráťte vaši hypotézu experimentem. Jak vysvětlíte jeho výsledek tentokrát? Souhlasí s vaší předpovědí?

Část 2: Tepelná vodivost různých kovů – porovnání tří materiálů

Postup

1. Porovnáme tepelnou vodivost mědi, hliníku a mosazi. Kovové listy z těchto látek jsou umístěné tak, že do nádoby pod nimi stačí nalít z rychlovarné konvice horkou vodu (obr. 3) a pozorovat, jak se jednotlivé kovy prohřívají. Nárůst teploty zviditelníme změnou barvy termocitlivých folií, které jsou na kovech nalepeny.
2. Na základě pokusu seřadte kovy podle toho, jak dobře vedou teplo.





3. Na internetu pro uvedené tři kovy vyhledejte hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ a zapište je do tabulky níže.

kov	měď	hliník	mosaz
λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)			

4. Dávají hodnoty λ stejné seřazení podle tepelné vodivosti jako experiment?



Obr. 3: Uspořádání pokusu

Část 3: Hoření novinového papíru

Postup

1. Upevněte měděnou trubičku do stativu a kolem ní jednou obtočte kus novin; připevněte malým kouskem izolepy.
2. Nyní noviny zapalte a popište, co pozorujete.



Obr. 4

3. Jakým jiným způsobem byste museli noviny kolem tyčky omotat, aby experiment dopadl opačným způsobem?

Část 4: Měděná spirálka v plamenu

Postup

1. Zapalte svíčku, uchopte měděnou spirálku (obr. 5) kleštěmi a seshora ji na několik sekund „nasadte“ na plamen svíčky (nepouštějte ji z kleští). Co pozorujete?



Obr. 5

2. Máte pro pozorovaný jev nějaké vysvětlení?



3. Bylo by možné zařídit, aby se po vložení spirálky do plamene tento plamen nezměnil, případně zvětšil? Navrhněte, jakým způsobem.

4. Svůj návrh z předcházejícího bodu experimentálně ověřte.

Závěry

- Seznámili jsme se s dobrými tepelnými vodiči (např.) a dobrými tepelnými izolanty (např.). Fyzikální veličina, kterou se liší, se značí λ a nazývá se .

- Pokuste se v jedné větě vystihnout podstatu experimentu s „nehořlavým“ papírem:

- Pokuste se v jedné větě vystihnout podstatu experimentu s měděnou spirálkou:

- **K zamyšlení:** Pro polární výpravu byly testovány dvě bundy. Obě oblekl stejný člověk a pobýval v nich při okolní teplotě $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na povrchu první byla naměřena teplota $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a na povrchu druhé teplota $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kterou bundu byste na pól vybrali a proč?

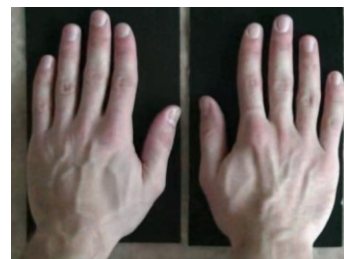
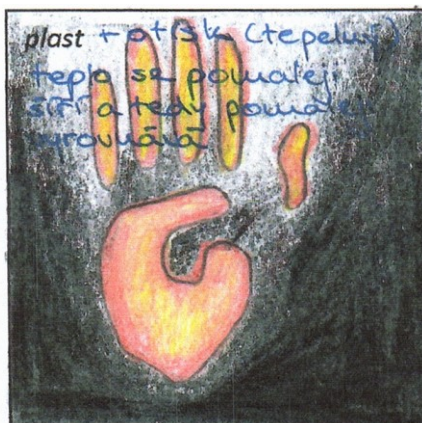


VEDENÍ TEPLA AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Část 1: Tepelná vodivost plastu a kovu – po stopách tepla

Postup

1. Načrtněte, jak vypadaly destičky po zvednutí dlaní (ukázka studentského řešení):



Obr. 1

2. Zkuste vysvětlit, proč vámi nakreslený obrázek vypadá tak, jak vypadá.

Kovová destička je dobrým vodičem tepla a prohřívá se tak v celém svém objemu; plast je naproti tomu dobrým tepelným izolantem a zvyšuje svoji teplotu pouze v místě přímého kontaktu s dlaní.

3. Měřila termovizní kamera před položením dlaní u obou destiček přibližně stejnou teplotu? Pokud si situaci nevybavujete, podívejte se na destičky ještě jednou.

Ano, měřená teplota je u obou destiček rovna teplotě pokojové. Aby termovizní kamera tento výsledek skutečně naměřila, je nezbytné, aby byla emisivita obou destiček přibližně stejná. Toho můžeme docílit například tak, že původně lesklou kovovou destičku pokryjeme matným černým nátěrem.

4. Zdála se vám přesto při dotyku některá z destiček chladnější? Která?

Pocitově vnímáme kovovou destičku jako chladnější.

5. Zkuste vysvětlit tento zdánlivý rozpor:

Kovová destička intenzivně odvádí teplo z položené dlaně a tím ji ochlazuje.

6. Nyní odhadněte, jaký obraz získáme termovizní kamerou v případě, že na tytéž destičky položíme dva kelímky s ledem (obr. 2):

Ukázka studentského řešení – viz další strana.



Obr. 2



7. Potvrďte/vyvráťte vaši hypotézu experimentem. Jak vysvětlíte jeho výsledek tentokrát? Souhlasí s vaší předpovědí?

Kovová destička dodává kelímku s ledem teplo z celého svého objemu, zatímco plastová destička téměř výhradně z prostoru pode dnem kelímku – v důsledku toho se okrajové části plastové destičky téměř neprochlazují.

Část 2: Tepelná vodivost různých kovů – porovnání tří materiálů

Postup

2. Na základě pokusu seřaďte kovy podle toho, jak dobře vedou teplo.



3. Na internetu pro uvedené tři kovy vyhledejte hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ a zapište je do tabulky níže.

kov	měď	hliník	mosaz
λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	386	237	120



Obr. 3

4. Dávají hodnoty λ stejné seřazení podle tepelné vodivosti jako experiment?

Experiment vychází spolehlivě a studenti nemívají problém s jeho interpretací.

Část 3: Hoření novinového papíru

Postup

1. Upevněte měděnou trubičku do stativu a kolem ní jednou obtočte kus novin; připevněte malým kouskem izolepy.
2. Nyní noviny zapalte a popište, co pozorujete.

Novinový papír zčerná, zuhelnatí, ale nevzplane.



Obr. 4



3. Jakým jiným způsobem byste museli noviny kolem tyčky omotat, aby experiment dopadl opačným způsobem?

Existuje více způsobů, jak zajistit, aby noviny v plamenu svíčky vzplanuly – jejich společným prvkem je oddělení zapalované vrstvy papíru od měděné trubičky izolující vrstvou, která trubičce zabrání, aby od papíru odváděla teplo. Touto izolující vrstvou může být například vrstva vzduchu (jednoduše necháme novinový papír částečně odchlípený) či vrstva papíru samotného – to pokud ho obmotáme kolem trubičky mnohokrát, v mnoha vrstvách.

Část 4: Měděná spirálka v plamenu

Postup

1. Zapalte svíčku, uchopte měděnou spirálku (obr. 5) kleštěmi a seshora ji na několik sekund „nasadte“ na plamen svíčky (nepouštějte ji z kleští). Co pozorujete?

Po nasazení spirálky se plamen zásadně zmenší, případně úplně zmizí. Svíčka přitom ale neuhasne – jakmile spirálku po několika sekundách opět zvedneme, plamen se znovu objeví.



Obr. 5

2. Máte pro pozorovaný jev nějaké vysvětlení?

Měděná spirála je velmi dobrým tepelným vodičem a intenzivně odvádí teplo plamene – tím snižuje jeho vnitřní energii i teplotu a vlnové délky, na kterých plamen dominantně vyzařuje, se přesouvají do infračerveného oboru.

3. Bylo by možné zařídit, aby se po vložení spirálky do plamene tento plamen nezměnil, případně zvětšil? Navrhněte, jakým způsobem.

Pokud zařídíme, aby byla spirála na přibližně stejné či vyšší teplotě než plamen svíčky, může naopak spirála předávat teplo plamenu a jeho velikost nijak zásadně neovlivňovat, případně jej i zvětšit.

4. Svůj návrh z předcházejícího bodu experimentálně ověřte.

Spirálu budeme zahřívát plynovým hořákem, dokud se nerozžhaví dorada, teprve poté ji vložíme do plamene svíčky. Plamen na vložení spirály nijak výrazně nezareaguje, případně se lehce zvětší.

Závěry

- Seznámili jsme se s dobrými tepelnými vodiči (např. **kovy**) a dobrými tepelnými izolanty (např. **plasty**). Fyzikální veličina, kterou se liší, se značí λ a nazývá se **součinitel tepelné vodivosti**.
- Pokuste se v jedné větě vystihnout podstatu experimentu s „nehořlavým“ papírem:

Pokud se pokusíme plamenem svíčky zapálit novinový papír namotaný na měděné trubičce, nepodaří se nám to – měděná trubička bude papíru intenzivně odnímat teplo a nedovolí, aby jeho papíru překročila zápalnou teplotu papíru.



- **Pokuste se v jedné větě vystihnout podstatu experimentu s měděnou spirálkou:**

Pokud vložíme měděnou spirálku do plamene svíčky, plamen téměř zmizí – spirálka z něj intenzivně odvádí teplo, čímž jej ochlazuje; plamen přestává svítit ve viditelném oboru.

- **K zamyšlení:** Pro polární výpravu byly testovány dvě bundy. Obě oblékl stejný člověk a pobýval v nich při okolní teplotě $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na povrchu první byla naměřena teplota $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a na povrchu druhé teplota $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kterou bundu byste na pól vybrali a proč?

Vhodnější volbou je první bunda, která více izoluje, neboť je schopná lépe udržovat teplotní rozdíly mezi svým vnitřním a vnějším povrchem.

Typické omyly studentů

- V části 1 je vhodné pečlivě hlídat, jak studenti vysvětlují prochlazování kovové a plastové destičky, jež jsou vloženy pod kelímky s ledem. Namísto korektního vysvětlení, že kelímky odebírají destičkám teplo, občas zaznívá, že kelímky „šíří zimu“ či „chlad“.
- Nejčastějším vysvětlením pokusu s měděnou spirálkou je domněnka, že plamen po nasazení spirálky nemá dostatek kyslíku ke svému hoření. Tato hypotéza ovšem neumí vysvětlit fakt, že po vzdálení spirály se plamen opět rozhoří s původní intenzitou – naše zkušenost naopak říká, že při nedostatku kyslíku by měl nevratně uhasnout. Navíc další část experimentu ukazuje, že pokud budeme na plamen nasazovat již rozžhavenou spirálu, naopak jej spíše zvětšíme – přestože přístup kyslíku je stejný jako v případě studené spirály.



TERMOGRAFIE

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.
- Je-li součástí vaší úlohy elektrický obvod, nechte si zkontrolovat jeho zapojení.

Teoretický úvod

Každé těleso emituje do svého okolí elektromagnetické záření, jehož intenzita a spektrum (zastoupení vlnových délek) jsou v ideálním případě určeny pouze teplotou tělesa. Předměty kolem nás září při běžných teplotách (např. -20 °C až 100 °C) zejména v dlouhovlnné infračervené oblasti o vlnové délce $8\text{--}12\text{ }\mu\text{m}$. Vyhodnotíme-li toto záření, umíme určit rozložení povrchové teploty tělesa – tím se zabývá tzv. termografie. Na jejím principu fungují např. bezdotykové teploměry a termovizní kamery.

Část 1: Pohlcování dlouhovlnného infračerveného záření

Cíl a idea experimentů

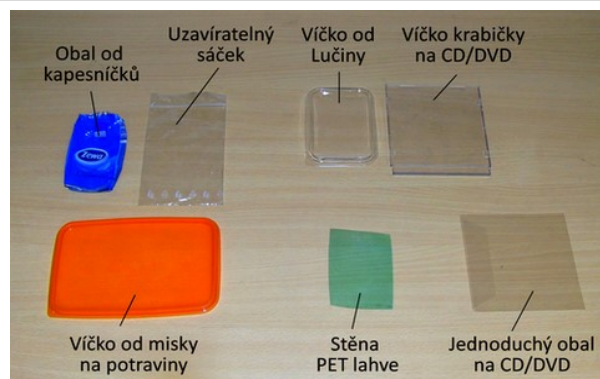
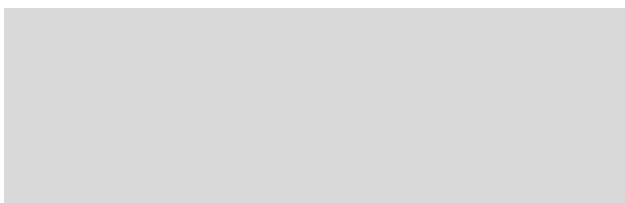
Před objektiv termovizní kamery budeme v různých situacích vkládat běžně používané materiály a budeme studovat, nakolik pohlcují dlouhovlnné infračervené záření okolních předmětů (těch zahřátých i těch o pokojové teplotě).

Postup

1. Prozkoumejte, jak vidí termokamera skrz sklo (např. okno). Je „výhled“ podobný, jako ve viditelném oboru?

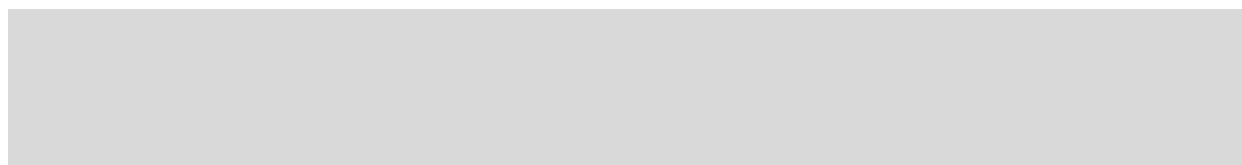


2. Vyzkoušejte propustnost dalších materiálů, primárně různých plastů (obr. 1). Vkládejte je mezi kameru a měřený objekt. Které nejvíce záření pohlcují a které naopak propouštějí?



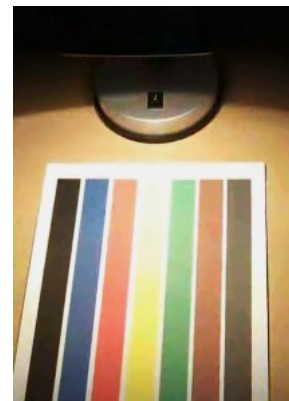
Obr. 1

3. Který další faktor – kromě typu materiálu – o míře pohlcování záření jistě rozhoduje?





4. Říká se, že pokud nechcete v létě trpět horkem, měli byste nosit spíš světlá trika, rozhodně pak ne černá – povrchy černé barvy silně pohlcují sluneční záření a rychle se tak zahřívají. Pokuste se nyní tuto situaci namodelovat – místo triček použijete čtvrtku s pruhy různých barev (obr. 2), místo slunce žárovku; snímáte termovizní kamerou. Jak experiment dopadne? Které pruhy se nejvíce zahřívají?



Obr. 2

5. **Pozor, budete pracovat s laserem! Nikdy jím nemiřte do očí ani do termovizní kamery!** Poznatků z předchozího experimentu nyní využijete – budete zjišťovat, jestli lze předmět ohřát laserovým paprskem. Vyberte si polystyrenovou destičku vhodné barvy, sviťte na ní laserem a pozorujte ji termovizní kamerou. Pozorujete nějaký efekt? Jaký?

6. Fungoval by stejný experiment s kovovou destičkou? A s lidskou kůží? Napište svoji hypotézu a pokuste se ji zdůvodnit.

7. Nyní svoji hypotézu experimentálně prověřte. Potvrzuje ji výsledek experimentu?

Část 2: Použití termografie při měření malých teplotních rozdílů

Cíl a idea experimentů

Cílem následujícího bloku experimentů je ukázat přeměnu kinetické energie na energii vnitřní, kterou je bez použití termovizní kamery těžké vizualizovat.

Postup

1. V minulých letech jste se učili, že mechanická energie tělesa se během jeho volného pádu zachovává, tj. potenciální energie se postupně mění v energii kinetickou, ale jejich součet je konstantní – tzv. zákon zachování mechanické energie. Jenže... Po dopadu na zem je zároveň nulová jak kinetická, tak potenciální energie předmětu – součet je nulový! Co se s mechanickou energií stalo – máte nějaké tipy?



2. Jednu odpověď nabídne experiment – plastovou palicí udeřte do polystyrenové podložky a sledujte děj termovizní kamerou. Stalo se něco? A pokud ano, co a proč? Došlo k nějakým přeměnám energie, a pokud ano, tak ke kterým?

3. Kromě úderu může být příčinou lokálního zvýšení teploty i tření. Třecí síly jsou obecně zodpovědné za přeměnu kinetické energie tělesa na jeho energii vnitřní. Zkuste připravené závaží na provázku táhnout po podlaze učebny a sledovat termovizní kamerou jeho „stopu“. Co jste zjistili?

Závěry

- **Různé materiály pohlcují různé množství infračerveného záření, materiály průhledné ve viditelném oboru mohou být v infračervené oblasti neprůhledné (např.) a naopak (např.).**
- **Různě mohou pohlcovat i povrchy z jednoho materiálu opatřené nátěrem různých barev. barva pohlcuje nejvíce záření, a proto se zahřívá .**
- **V učivu mechaniky se setkáváte se zákonem zachování mechanické energie, který ale v mnoha reálných situacích nelze aplikovat – při mnoha dějích dochází k přeměnám energie do jiné než mechanické formy. Vyberte si jeden takový děj, který jste zkoumali, a vlastními slovy popište, co se při něm odehrává a jakým způsobem jste to experimentálně ověřili.**



TERMOGRAFIE AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Část 1: Pohlcování dlouhovlnného infračerveného záření

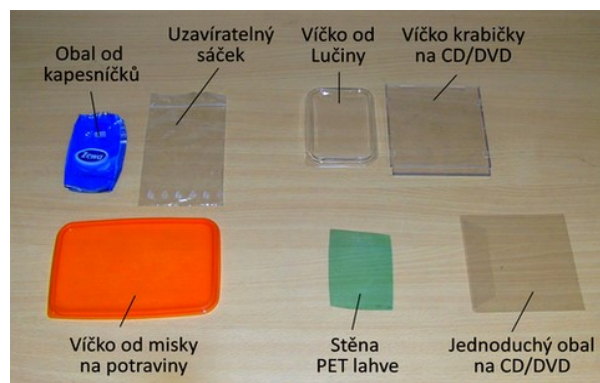
Postup

1. Prozkoumejte, jak vidí termokamera skrz sklo (např. okno). Je „výhled“ podobný, jako ve viditelném oboru?

Sklo je pro dlouhovlnné infračervené záření neprůhledné a odráží jej – v tomto oboru vlnových délek se chová jako zrcadlo a vidíme v něm tedy vlastní tepelné odrazy.

2. Vyzkoušejte propustnost dalších materiálů, primárně různých plastů (obr. 1). Vkládejte je mezi kameru a měřený objekt. Které nejvíce záření pohlcují a které naopak propouštějí?

Propustnost plastových předmětů závisí samozřejmě na jejich tloušťce, ale obecně platí, že nejvíce záření pohlcují ty vyrobené z polyethylentereftalátu a polystyrenu, zatímco nejvíce propouštějí předměty z polyethylenu.

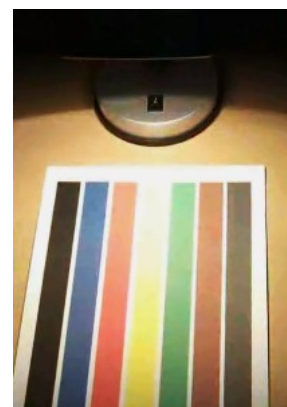


Obr. 1

3. Který další faktor – kromě typu materiálu – o míře pohlcování záření jistě rozhoduje?

Jde o již dříve zmíněnou tloušťku materiálu – s rostoucí tloušťkou míra pohlcování exponenciálně roste.

4. Říká se, že pokud nechcete v létě trpět horkem, měli byste nosit spíš světlá trika, rozhodně pak ne černá – povrchy černé barvy silně pohlcují sluneční záření a rychle se tak zahřívají. Pokuste se nyní tuto situaci namodelovat – místo triček použijete čtvrtku s pruhy různých barev (obr. 2), místo slunce žárovku; snímáte termovizní kamerou. Jak experiment dopadne? Které pruhy se nejvíce zahřívají?



Obr. 2

Nejvíce se zahřívá černý a tmavě šedý pruh (přestože jsou dle obr. 2 od žárovky nejdále), ostatní zvyšují svoji teplotu pouze nevýrazně.

5. Poznatků z předchozího experimentu nyní využijete – budete zjišťovat, jestli lze předmět ohřát laserovým paprskem. Vyberte si polystyrenovou destičku vhodné barvy, sviťte na ní laserem a pozorujte ji termovizní kamerou. Pozorujete nějaký efekt? Jaký?

Pokud zajistíme, aby stopa laseru směřovala stále do stejného bodu, naměříme v něm řadu několika málo sekund zvýšení teploty o desítky stupňů Celsia – snadno nad 70 °C.



6. Fungoval by stejný experiment s kovovou destičkou? A s lidskou kůží? Napište svoji hypotézu a pokuste se ji zdůvodnit.

Kovová destička i kůže díky své tepelné vodivosti okamžitě dodané teplo rozvedou do celého svého objemu – lokální zvýšení teploty v konkrétním bodě bychom tak pozorovat neměli.

7. Nyní svoji hypotézu experimentálně prověřte. Potvrzuje ji výsledek experimentu?

Experiment vychází velmi spolehlivě a výše uvedenou hypotézu potvrzuje.

Část 2: Použití termografie při měření malých teplotních rozdílů

Postup

1. V minulých letech jste se učili, že mechanická energie tělesa se během jeho volného pádu zachovává, tj. potenciální energie se postupně mění v energii kinetickou, ale jejich součet je konstantní – tzv. zákon zachování mechanické energie. Jenže... Po dopadu na zem je zároveň nulová jak kinetická, tak potenciální energie předmětu – součet je nulový! Co se s mechanickou energií stalo – máte nějaké tipy?

Kinetická energie padajícího předmětu se v okamžiku jeho dopadu na podložku zčásti využije na konání práce při její nepružné deformaci a částečně na zvýšení vnitřní energie předmětu i podložky.

2. Jednu odpověď nabídne experiment – plastovou palicí udeřte do polystyrenové podložky a sledujte děj termovizní kamerou. Stalo se něco? A pokud ano, co a proč? Došlo k nějakým přeměnám energie, a pokud ano, tak ke kterým?

V místě úderu palicí zaznamenáme termovizní kamerou lokální zvýšení teploty v řádu jednotek stupňů Celsia (podle síly úderu, styčné plochy palice a podložky atd.). Tento nárůst teploty je způsoben zvýšením vnitřní energie podložky i palice, ke kterému dojde po dopadu palice na úkor její energie kinetické.

3. Kromě úderu může být příčinou lokálního zvýšení teploty i tření. Třecí síly jsou obecně zodpovědné za přeměnu kinetické energie tělesa na jeho energii vnitřní. Zkuste připravené závaží na provázku táhnout po podlaze učebny a sledovat termovizní kamerou jeho „stopu“. Co jste zjistili?

Za závažím zůstává tepelná stopa kopírující jeho trajektorii, stejně tak se zahřívá i podstava předmětu. Příčinou nárůstu teploty obou povrchů, jež jsou v kontaktu, je opět tření (přesněji práce třecích sil) vedoucí k rozkmitávání částic na styčných plochách.



Závěry

- Různé materiály pohlcují různé množství infračerveného záření, materiály průhledné ve viditelném oboru mohou být v infračervené oblasti neprůhledné (např. **sklo**) a naopak (např. **polyethylen**).
- Různě mohou pohlcovat i povrchy z jednoho materiálu opatřené nátěrem různých barev. **Černá** barva pohlcuje nejvíce záření, a proto se zahřívá **nejrychleji**.
- V učivu mechaniky se setkáváte se zákonem zachování mechanické energie, který ale v mnoha reálných situacích nelze aplikovat – při mnoha dějích dochází k přeměně energie do jiné než mechanické formy. Vyberte si jeden takový děj, který jste zkoumali, a vlastními slovy popište, co se při něm odehrává a jakým způsobem jste to experimentálně ověřili.

Viz výše.

Typické omyly studentů

- Nejvíce nepřesností se studenti obvykle dopouštějí tehdy, když mají vysvětlit, co se stane s kinetickou energií padajícího předmětu po jeho dopadu (část 2, bod 1). Obvykle zaznívá, že mechanická energie se „ztratila do země“, „použila na deformaci“, případně „přeměnila na teplo“ – tato tvrzení naznačují správný směr myšlenek, ale jsou formulačně nevhodná. První uvedená formulace je vyloženě nešťastná, hovořit o ztrátě energie je v rozporu s prvním termodynamickým zákonem; poslední formulace zase evokuje představu tepla coby stavové veličiny, energie obsažené v látce.



TÁNÍ KRYSTALICKÝCH LÁTEK

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.
- Je-li součástí vaší úlohy elektrický obvod, nechte si zkontrolovat jeho zapojení.

Část 1: Teplota tání pentahydrátu thiosíranu sodného

Cíl a idea měření

Pentahydrát thiosíranu sodného budeme zvolna zahřívat, dokud zcela neroztaje, a do grafu necháme vykreslovat závislost jeho teploty na čase. Z této závislosti nakonec vyčteme teplotu tání této krystalické látky.

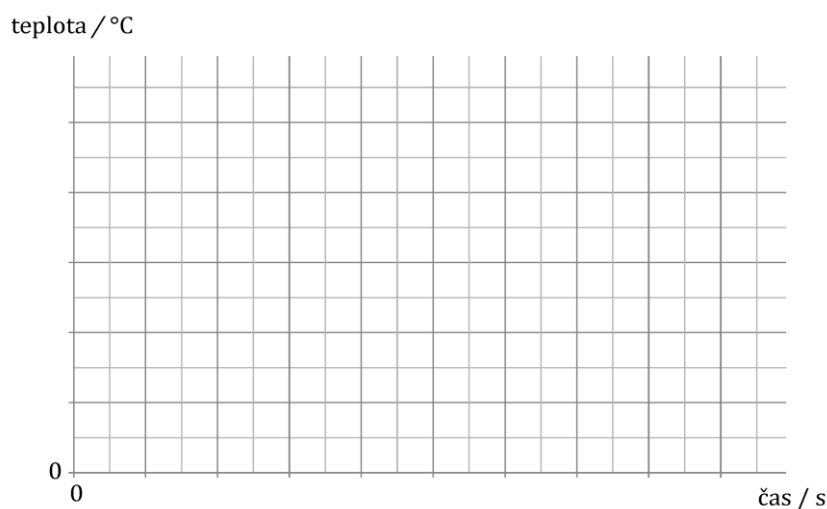
Teoretický úvod

Teplota, při které pevná krystalická látka mění své skupenství na kapalné, se nazývá teplotou tání (obvykle označovaná t_f). Jde o jednu ze základních fyzikálních charakteristik krystalických látek, látky amorfní tají vzhledem ke své komplikované vnitřní struktuře v určitém teplotním intervalu.

Jestliže je pevná krystalická látka zahřívána, přestane po dosažení teploty tání její teplota růst a veškeré dodávané teplo je využíváno na rozrušení struktury krystalické mřížky. Teprve když se látka v celém svém objemu změní na kapalinu, začne se vlivem dodávaného tepla její teplota dále zvyšovat.

Postup

1. Na úvod měření zakreslete do grafu níže váš odhad, jak by mohla měřená závislost vypadat – pomoci vám může závěr Teoretického úvodu.

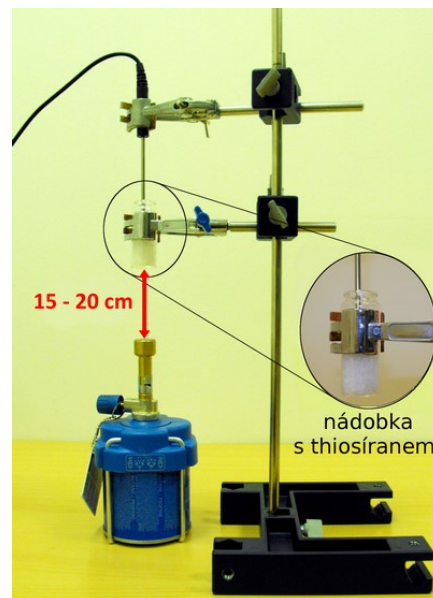
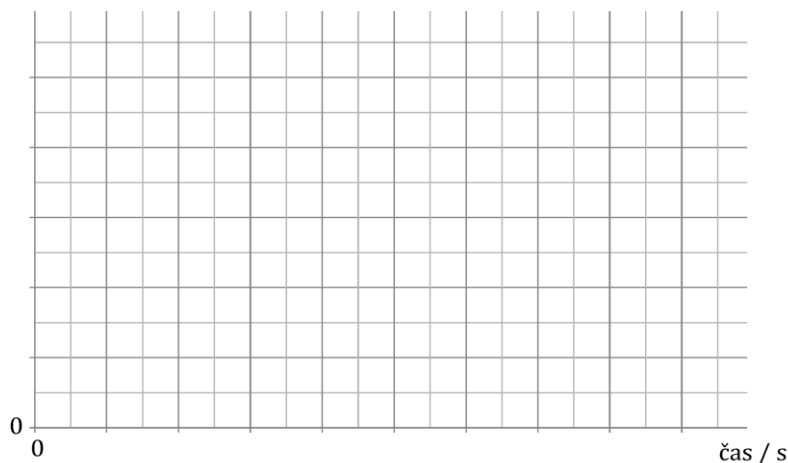


2. Nádobku umístěte do držáku laboratorního stojanu tak, aby bylo její dno vzdáleno od hořáku kahanu 15 až 20 cm (obr. 1).
3. Teplotní čidlo připojte k počítači a umístěte ho do nádobky tak, aby jeho špička zůstala i po roztátí látky ponořená, ale nedotýkala se stěn ani dna nádobky.



- Otevřete soubor *Teplota_tani.cmb* umístěného ve složce *Termodynamika* na ploše.
- Spusťte měření, současně zapalte kahan a nechte ho hořet **co nejmenším plamenem!!!** Jeho intenzitu během měření neměňte. Měření ukončete, jakmile teplota překročí 60 °C.
- Překreslete naměřenou závislost do grafu níže.

teplota / °C



Obr. 1

- Odhadněte z grafu výše teplotu tání pentahydrátu thiosíranu sodného:
- Z čeho jste v předcházejícím bodě teplotu tání odhadli? K čemu ve střední části grafu dochází?

- Co by se na grafu změnilo, kdybychom nechali tát místo několika gramů třeba 1 kg pentahydrátu? Co by naopak zůstalo stejné?

Závěry

- Pokud čistá krystalická látka mění své skupenství z pevného na kapalné, její teplota se při dodávání tepla .
- Teplota tání pentahydrátu thiosíranu sodného je přibližně .



Část 2: Výroba chladicí směsi

Cíl a idea experimentu

Přidáním kuchyňské soli ke směsi ledu a vody předvedeme, jaký vliv může mít příměs na teplotu tání chemicky čisté látky.

Teoretický úvod

Teplota tání krystalické látky obecně závisí také na tlaku, dále ji pak ovlivňují příměsi – například kuchyňská sůl přidaná do směsi voda-led teplotu tání této směsi snižuje a umožňuje tak tání ledu i při teplotách nižších než $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tající led odnímá svému okolí teplo a tím jej ochlazuje.

Postup

1. Několik ledových kostek z mrazáku rozbijte na tříšť a tu přisypte do kádinky k malému množství vody. Jaká je nyní teplota v kádince?

2. Za stálého míchání teplotním čidlem přisypte kuchyňskou sůl. Co se děje s teplotou směsi?

3. Ovlivňuje průběh experimentu míchání směsi? Proč ano/ne?

4. Jaké nejextrémnější teploty jste dosáhli?

5. Máte nějakou zkušenost s využitím tohoto jevu v praxi? A pokud ano, jak toto využití funguje?

Závěry

- Přidání kuchyňské soli ke směsi vody a ledu teplotu tání této směsi; vodu tak můžete udržet kapalnou například i při teplotě . Toho se v praxi využívá například .



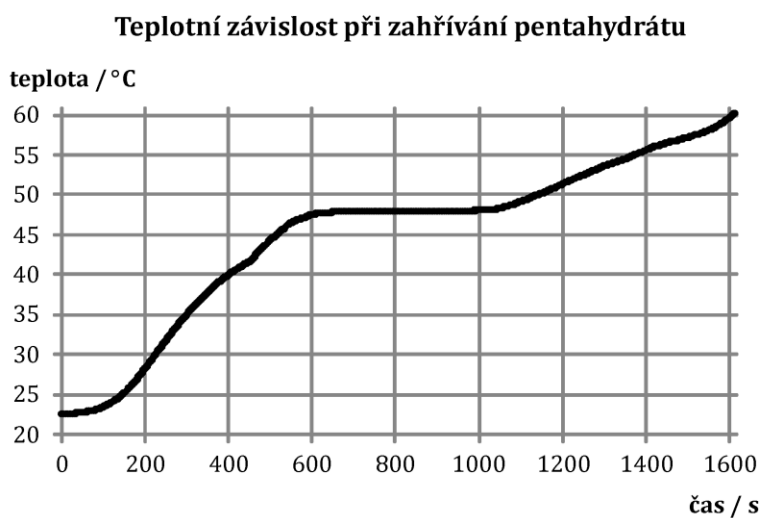
TÁNÍ KRYSTALICKÝCH LÁTEK AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Část 1: Teplota tání pentahydrátu thiosíranu sodného

Postup

6. Překreslete naměřenou závislost do grafu níže.

Ukázka studenty vzorově naměřené závislosti:



7. Odhadněte z grafu výše teplotu tání pentahydrátu thiosíranu sodného: **Přibližně 48 °C.**
8. Z čeho jste v předcházejícím bodě teplotu tání odhadli? K čemu ve střední části grafu dochází?

Teplotu tání poznáme z grafu výše díky tomu, že se při ní dočasně přestane teplota pevné krystalické látky zvyšovat, a to navzdory dodávání tepla. Veškeré dodávané teplo se přitom spotřebovává na změnu skupenství; ve vzorovém grafu lze tento jev pozorovat přibližně v časovém intervalu 600 až 1000 sekund.

9. Co by se na grafu změnilo, kdybychom nechali tát místo několika gramů třeba 1 kg pentahydrátu? Co by naopak zůstalo stejné?

Změnil by se sklon křivek, které popisují nárůst teploty pevné látky a kapaliny – pro větší hmotnost látky by při stejné intenzitě zahřívání rostla teplota pomaleji, tedy i křivky odpovídající teplotní závislosti by měly pozvolnější průběh. Nezměnila by se teplota tání, ovšem vlastní proces tání by trval déle.

Závěry

- Pokud čistá krystalická látka mění své skupenství z pevného na kapalné, její teplota se při dodávání tepla **nemění**.
- Teplota tání pentahydrátu thiosíranu sodného je přibližně **48 °C**.



Část 2: Výroba chladicí směsi

Postup

1. Několik ledových kostek z mrazáku rozbijte na tříšť a tu přisypte do kádinky k malému množství vody. Jaká je nyní teplota v kádince?

Typicky $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, obecně ale závisí na poměru vody a tříště a jejich počátečních teplotách.

2. Za stálého míchání teplotním čidlem přisypávejte kuchyňskou sůl. Co se děje s teplotou směsi?

Teplota směsi při přisypávání soli rychle klesá.

3. Ovlivňuje průběh experimentu míchání směsi? Proč ano/ne?

Míchání pokles teploty urychluje, protože umožňuje rychlejší rozpouštění soli.

4. Jaké nejextrémnější teploty jste dosáhli? Obvykle mezi $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Máte nějakou zkušenost s využitím tohoto jevu v praxi? A pokud ano, jak toto využití funguje?

Praktickým využitím experimentu je kromě přípravy chladicích směsí zejména využití při zimním solení namrzlých chodníků. Experiment ukazuje, že je možné zajistit koexistenci ledu a vody při teplotě hluboko pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ačkoliv je tedy venkovní teplota pod bodem mrazu, voda na chodníku zůstává nadále v kapalném skupenství a na rozdíl od ledu nepředstavuje pro chodce žádné riziko.

Závěry

- Přidání kuchyňské soli ke směsi vody a ledu **snižuje** teplotu tání této směsi; vodu tak můžete udržet kapalnou například i při teplotě $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Toho se v praxi využívá například **při zimním solení namrzlých chodníků**.

Typické omyly studentů

- Studenti si sice téměř automaticky spojí s výrobou chladicí směsi zimní údržbu chodníků, přitom jim ale vůbec nemusí být jasné, jak spolu experiment a praxe souvisí. (Sugestivní otázka může znít: „Chci, aby led na chodníku roztával, jak mi tedy pomůže, že snížím jeho teplotu?“) Proto je nutné zdůrazňovat, že přidání soli především snižuje teplotu tání/tuhnutí směsi – tedy že můžeme vodu udržovat kapalnou i při teplotách hluboko pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jinak řečeno, ze zledovatělého chodníku jsme schopni „udělat“ pouze chodník mokrý.



VYPAŘOVÁNÍ, KONDENZACE A VAR

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.
- Je-li součástí vaší úlohy elektrický obvod, nechte si zkontrolovat jeho zapojení.

Část 1: Skupenské teplo vypařování a kondenzace

Cíl a idea experimentů

V bloku jednoduchých pokusů prokážeme pomocí termovizní kamery a teplotních čidel existenci skupenských tepel vypařování a kondenzace. Cílem je ukotvení představy, že vypařující se kapaliny své okolí obvykle ochlazují.

Teoretický úvod

Na rozdíl od tání či tuhnutí probíhá vypařování kapaliny při každé teplotě. Pro kompletní odpaření daného množství kapaliny je třeba dodat jí tzv. skupenské teplo vypařování. Naopak, při kondenzaci odevzdává plynná látka skupenské teplo kondenzace, aby se mohla stát kapalinou.

Postup

1. Lihovou fixou začněte psát na papír a sledujte napsaný text termovizní kamerou. Co pozorujete?

2. Máte pro pozorovaný jev nějaké vysvětlení, nějakou hypotézu?

3. Pojdte nyní udělat experiment, který může vaši hypotézu podpořit. Připojte teplotní čidlo k počítači a otevřete soubor *Vyparovani.cmbl* umístěný ve složce *Termodynamika* na ploše.
4. Ponořte teploměr do nádobky s lihem a počkejte, až se měřená teplota ustálí. Rozmyslete si, zda je nějaký důvod, aby se měřená teplota po vyjmutí teploměru z lihu změnila. Pokud ano, jak se změní?



5. Spusťte měření a vyndejte teploměr z lihu. Co se děje s měřenou teplotou? Pokuste se děj vysvětlit.

6. Pomohl vám nějak experiment k vysvětlení pokusu s fixou (potvrzení vaší hypotézy z úkolu 2)?

7. V měřicím softwaru použijte klávesovou zkratku CTRL+L – připraví se vám nové měření do stejného grafu. Vložte opět teploměr do lihu, vyčkejte na ustálení teploty a spusťte měření. Vyndejte teploměr z lihu a nyní s ním neustále mávejte. Co můžete říct nyní o změně teploty? Čím je rozdíl způsoben?

8. Dosud jsme se zabývali vypařováním, pojďme zakončit experimentem demonstrujícím kondenzaci a existenci skupenského tepla kondenzace. Kelímek naplňte vodou z kohoutku a nechte ji minutu „odstát“. Začněte hladinu vody sledovat termovizní kamerou. Nyní překryjte kelímek listem papíru. Pozorujete termovizní kamerou něco pozoruhodného? Umíte to vysvětlit?

Závěry

- Vypařování kapalin z povrchů těles je obecně doprovázeno [] teploty těchto povrchů. Proč tomu tak je?

- Naopak, kondenzace kapalin je spojena s [] tepla, tj. zahřátím okolního prostředí.





Část 2: Teplota varu vody

Cíl a idea měření

Podrobněji se zaměříme na to, při jaké teplotě se vaří voda a jak lze tuto hodnotu ovlivnit.

Teoretický úvod

Speciálním případem vypařování je var, kdy se kapalina vypařuje v celém svém objemu. Při varu je veškeré dodávané teplo využíváno na přeměnu skupenství, proto nedochází ke změně teploty látky.

Teplota varu za normálního atmosférického tlaku je jednou z charakteristických vlastností kapalin. Poznámka, že jde o normální atmosférický tlak, je zde ale velmi důležitá – právě tlak okolního vzduchu teplotu varu kapalin zásadně ovlivňuje, stejně jako přidání případných příměsí k chemicky čisté látce.

Postup

1. Naplňte rychlovarnou konvici maximálně z poloviny vodou a nechte ji při otevřeném víku konvice ohřívat. Přitom zaveďte do vody teploměr a sledujte nárůst teploty. Jakou maximální hodnotu naměříte?

2. Proč není tato hodnota vyšší než 100 °C, když je konvice stále zapnutá a zjevně tak dodává vodě teplo?

3. A proč tato hodnota ani nedosahuje 100 °C, což je přece teplota, která se obvykle jako teplota varu vody udává? Máte nějakou hypotézu?

4. Provedeme nyní experiment, který může dát na předcházející otázku odpověď. Konvici vypněte a vroucí vodu nalejte do vakuovací kuchyňské nádoby (obr. 1). Vaří se nyní voda?



Obr. 1

5. Uzavřete vakuovací nádobu a začněte pumpičkou vysávat vzduch. Co se děje s uvnitř uzavřenou vodou? Máte pro jev nějaké vysvětlení?



Závěry

- Teplota vody při varu nemůže přesáhnout [] - všechno dodávané teplo se během varu spotřebovává nikoliv na nárůst teploty, ale na [] .
- V našich podmínkách se obvykle ani s teplotou varu 100 °C nesetkáme - jednou větou shrňte, proč tomu tak je:

[]

- Jakým způsobem můžeme zajistit, aby se voda vařila například již při 90 °C?

[]

- A jak bychom asi zajistili var vody při 110 °C? Využíváme zvýšení teploty varu vody někde v každodenním životě?

[]



VYPAŘOVÁNÍ, KONDENZACE A VAR

AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Část 1: Skupenské teplo vypařování a kondenzace

Postup

1. Lihovou fixou začněte psát na papír a sledujte napsaný text termovizní kamerou. Co pozorujete?
Na těch místech, která byla fixem popsána, naměříme nižší teplotu než ve zbylé části papíru.

2. Máte pro pozorovaný jev nějaké vysvětlení, nějakou hypotézu?

Z popsáných míst se rychle odpařuje těkavá alkoholová složka použitého inkoustu, což vede k prochlazování těchto míst.

3. Pojdte nyní udělat experiment, který může vaši hypotézu podpořit. Připojte teplotní čidlo k počítači a otevřete soubor *Vyparovani.cmbl* umístěný ve složce *Termodynamika* na ploše.

4. Ponořte teploměr do nádoby s lihem a počkejte, až se měřená teplota ustálí. Rozmyslete si, zda je nějaký důvod, aby se měřená teplota po vyjmutí teploměru z lihu změnila. Pokud ano, jak se změní?

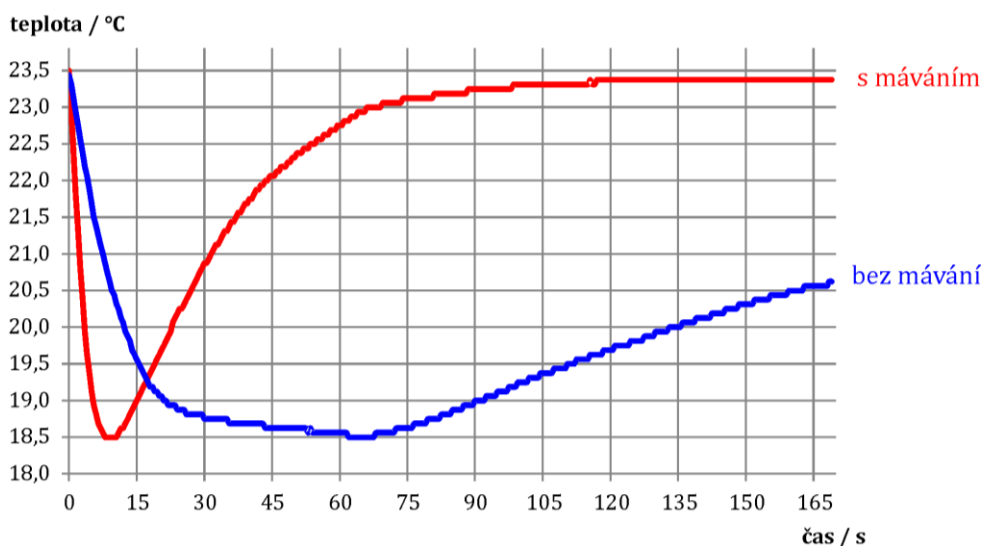
V tomto kroku studenti velmi často tvrdí, že žádný důvod ke změně teploty není – teploměr, líh i okolní vzduch jsou přece během experimentu přibližně ve stavu tepelné rovnováhy.

5. Spusťte měření a vyndejte teploměr z lihu. Co se děje s měřenou teplotou? Pokuste se děj vysvětlit.

Měřená teplota po vyjmutí teploměru z lihu řádově o několik stupňů Celsia poklesne – líh se z těla teploměru odpařuje a odnímá mu tak skupenské teplo vypařování.

7. V měřicím softwaru použijte klávesovou zkratku CTRL+L – připraví se vám nové měření do stejného grafu. Vložte opět teploměr do lihu, vyčkejte na ustálení teploty a spusťte měření. Vyndejte teploměr z lihu a nyní s ním neustále mávejte. Co můžete říct nyní o změně teploty? Čím je rozdíl způsoben?

Pokud teploměrem máváme, je pokles teploty po jeho vyjmutí z lihu výrazně rychlejší, hloubka dosaženého ochlazení se ale od běžného vyjmutí (bez mávání) nijak zásadně neliší. Studenti získají v jednom grafu dvojici závislostí, kterou ilustruje obrázek níže.





8. Dosud jsme se zabývali vypařováním, pojdme zakončit experimentem demonstrujícím kondenzaci a existenci skupenského tepla kondenzace. Kelímek naplňte vodou z kohoutku a nechte ji minutu „odstát“. Začněte hladinu vody sledovat termovizní kamerou. Nyní překryjte kelímek listem papíru. Pozorujete termovizní kamerou něco pozoruhodného? Umíte to vysvětlit?

V místě, kde papír zakrývá hladinu vody, registrujeme nárůst teploty o jednotky stupňů Celsia, který je způsoben kondenzací vodních par na spodní straně papíru. Tento nárůst je dočasný, poté se opět začíná ustavovat tepelná rovnováha s okolím.

Závěry

- Vypařování kapalin z povrchů těles je obecně doprovázeno **poklesem** teploty těchto povrchů. Proč tomu tak je?
Kapaliny na své vypaření spotřebovávají skupenské teplo vypařování, které odnímají svému okolí – to tedy snižuje svoji teplotu.
- Naopak, kondenzace kapalin je spojena s **uvolňováním** tepla, tj. zahřátím okolního prostředí.

Část 2: Teplota varu vody

Postup

1. Naplňte rychlovarnou konvici maximálně z poloviny vodou a nechte ji při otevřeném víku konvice ohřívat. Přitom zaveďte do vody teploměr a sledujte nárůst teploty. Jakou maximální hodnotu naměříte?

Typicky mezi 98,5 °C a 99,5 °C.

2. Proč není tato hodnota vyšší než 100 °C, když je konvice stále zapnutá a zjevně tak dodává vodě teplo?

Veškeré dodávané teplo se coby skupenské teplo varu spotřebovává na vypařování kapaliny v celém jejím objemu.

3. A proč tato hodnota ani nedosahuje 100 °C, což je přece teplota, která se obvykle jako teplota varu vody udává? Máte nějakou hypotézu?

Teplota varu vody je 100 °C za tzv. *normálního atmosférického tlaku* (101,3 kPa), obecně se ale s tlakem mění – například vlivem aktuálního stavu počasí či nadmořské výšky, ve které se experimentátor nachází. Je-li například tlak vzduchu přepočtený na hladinu moře oněch „normálních“ 101,3 kPa, je v nadmořské výšce 300 m n. m. jeho hodnota již pouze 97,4 kPa a teplota varu vody klesá na 98,9 °C.

4. Provedeme nyní experiment, který může dát na předcházející otázku odpověď. Konvici vypněte a vroucí vodu nalejte do vakuovací kuchyňské nádoby (obr. 1). Vaří se nyní voda?

Var vody ustane prakticky okamžitě po vypnutí konvice.



Obr. 1



5. Uzavřete vakuovací nádobu a začněte pumpičkou vysávat vzduch. Co se děje s uvnitř uzavřenou vodou? Máte pro jev nějaké vysvětlení?

Během vysávání vzduchu se uvnitř nádoby obnoví var za teploty významně nižší, než je teplota původně naměřená – například při 75 °C.

Závěry

- Teplota vody při varu nemůže přesáhnout 100 °C – všechno dodávané teplo se během varu spotřebovává nikoliv na nárůst teploty, ale na změnu skupenství z kapalného na plynné.
- V našich podmínkách se obvykle ani s teplotou varu 100 °C nesečkáme – jednou větou shrňte, proč tomu tak je:

Obvykle v ČR experimentujeme v nadmořské výšce alespoň 130 m n. m., typicky výše – s rostoucí nadmořskou výškou přitom klesá atmosférický tlak a také teplota varu vody.

- Jakým způsobem můžeme zajistit, aby se voda vařila například již při 90 °C?

Výrazně snížíme tlak vzduchu nad hladinou vody – například pomocí použité vakuovací nádoby.

- A jak bychom asi zajistili var vody při 110 °C? Využíváme zvýšení teploty varu vody někde v každodenním životě?

Pokud bychom chtěli zajistit var vody při teplotě vyšší než 100 °C, je třeba naopak zvýšit tlak vzduchu nad její hladinou. To se odehrává například v kuchyňských tlakových hrncích, které umožňují var vody za zvýšeného tlaku při teplotách až 120 °C.

Typické omyly studentů

- V části 1 se lze setkat s velmi silným přesvědčením studentů, že pokud vyjmeme teploměr z lihu, do něhož byl ponořen, k žádné změně měřené teploty nedojde. Toto přesvědčení je pochopitelné – je-li teploměr ponořen do lihu, ustaví se mezi ním a lihem tepelná rovnováha, stejně jako mezi oběma studovanými tělesy a okolím – zdá se, že není důvod, aby se tato rovnováha pouhým vyjmutím teploměru z lihu porušila.



JAK OVLIVNIT RYCHLOST VYPAŘOVÁNÍ

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.
- Je-li součástí vaší úlohy elektrický obvod, nechte si zkontrolovat jeho zapojení.

Cíl a idea měření

Experimentem prokážeme, že plocha hladiny a případné odstraňování par nad kapalinou ovlivňují rychlost vypařování kapaliny. Roli velikosti hladiny posoudíme na základě použití dvou různě velkých nádobek, odstraňování par nad hladinou zajistíme větráčkem z vyřazeného počítače.

Teoretický úvod

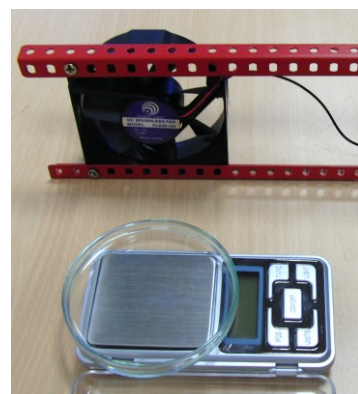
Na rozdíl od tání či tuhnutí probíhá vypařování kapaliny při každé její teplotě. Některé molekuly kapaliny mají dostatečnou kinetickou energii na to, aby její povrch opustily, přičemž s rostoucí teplotou (a tedy rostoucí kinetickou energií molekul) se množství těchto částic zvětšuje.

Kromě teploty kapaliny (a povrchového napětí) je rychlost vypařování ovlivněna také velikostí její hladiny – z větších povrchů se kapalina odpařuje rychleji (více molekul má šanci se dostat k povrchu a opustit jej). Dále můžeme odpařování urychlit tím, že budeme odstraňovat páry kapaliny nad jejím povrchem.

Postup

Tlačítko TARE slouží k vynulování vah. Hmotnost vážených předmětů nesmí přesáhnout 100 g!

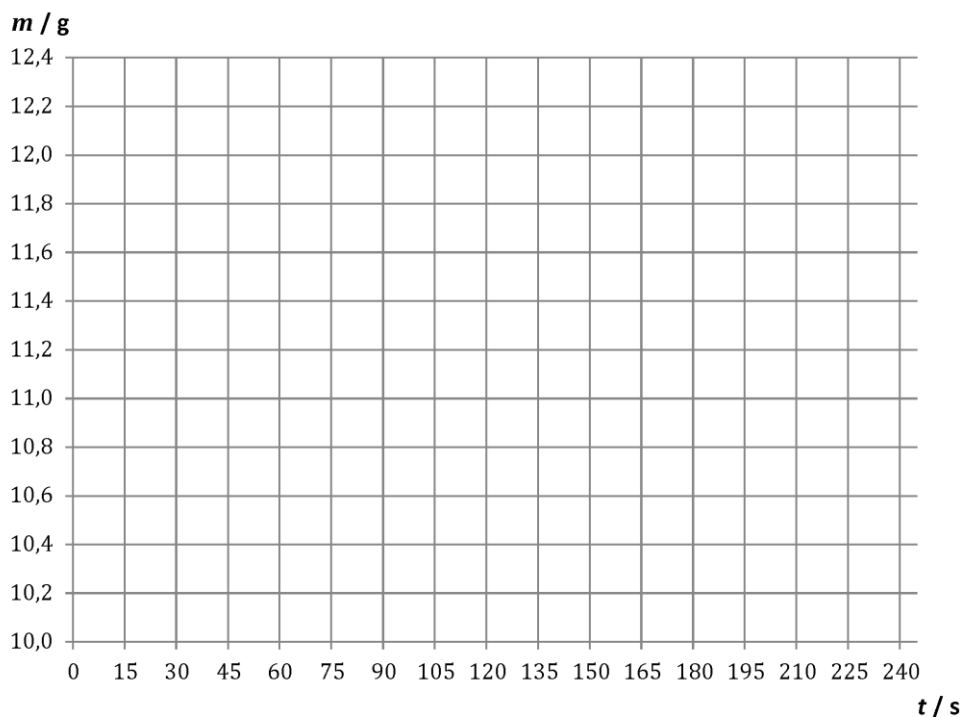
1. Ze složky *Termodynamika* na ploše otevřete soubor *Odparovani.xls*.
2. Zapněte váhy, položte na ně plastovou misku, vynulujte je a do misky nalijte asi 12 g lihu.
3. Každých 15 sekund zaznamenejte do souboru aktuální hodnotu hmotnosti. Měření ukončete po 4 minutách.
4. Vyměňte misku za plastový talířek a měření zopakujte. Výchozí hmotnost lihu (údaj na váze) upravte pipetou tak, aby byla co nejblíže výchozí hodnotě prvního měření. Znovu měřte 4 minuty s patnáctisekundovými intervaly.
5. Třetí, poslední měření proveďte opět s talířem a se stejnou výchozí hmotností. Kromě toho postavte do vzdálenosti asi 20 cm od talíře větráček napájený napětím 9 V (obr. 1). Opět zaznamenávejte po dobu 4 minut.



Obr. 1



6. Načrtněte všechny naměřené závislosti do grafu níže.



7. K jakým závěrům jste dospěli? Odpovídají vašemu očekávání?

Závěry

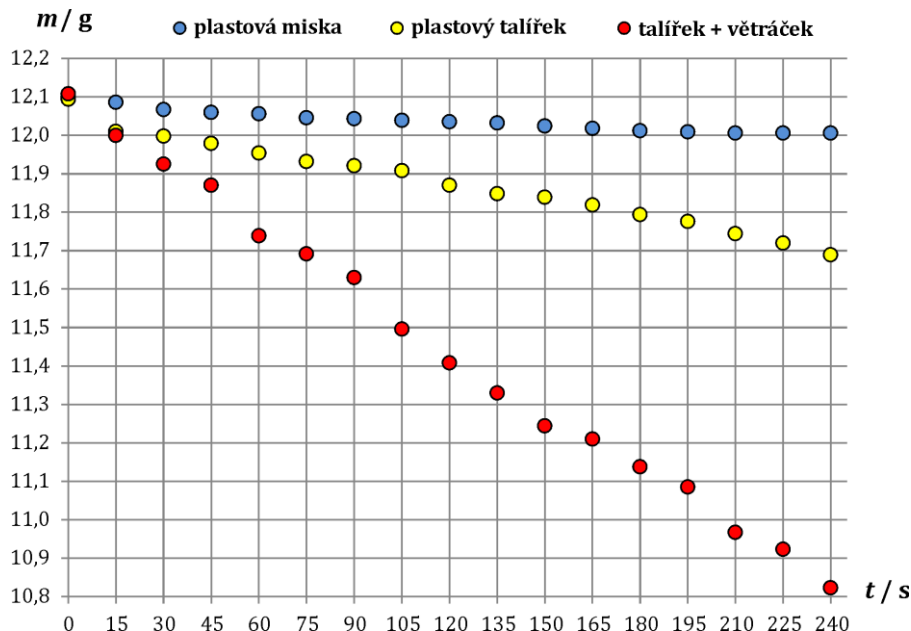
- Pokud zvětšíme povrch hladiny kapaliny, rychlost jejího vypařování se .
- Pokud začneme nad hladinou kapaliny odstraňovat její páry, rychlost jejího vypařování tím .
- Když se po dešti vrátíte domů s mokrým deštníkem, necháváte jej osychat obvykle rozevřený; pokud ho složíte, bude osychat velmi dlouho. Souvisí to nějak s vaším experimentem? A případně jak?



JAK OVLIVNIT RYCHLOST VYPAŘOVÁNÍ AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Postup

6. Načrtněte všechny naměřené závislosti do grafu níže.



7. K jakým závěrům jste dospěli? Odpovídají vašemu očekávání?

Jak zvětšení plochy hladiny, tak odstraňování par nad ní urychlují odpařování kapaliny.

Závěry

- Pokud zvětšíme povrch hladiny kapaliny, rychlost jejího vypařování se **zvýší**.
- Pokud začneme nad hladinou kapaliny odstraňovat její páry, rychlost jejího vypařování tím **zvýšíme**.
- Když se po dešti vrátíte domů s mokrým deštníkem, necháváte jej osychat obvykle rozevřený; pokud ho složíte, bude osychat velmi dlouho. Souvisí to nějak s vaším experimentem? A případně jak?

Složením deštníku výrazně omezíme proudění vzduchu kolem jeho mokrých či vlhkých částí, minimalizujeme nezakryté plochy, ze kterých může probíhat vypařování – deštník tedy bude osychat výrazně déle než v rozevřeném stavu.

Typické omyly studentů:

– žádné –