

Teplota v experimentech

ZDENĚK POLÁK

Jiráskovo gymnázium v Náchodě

V následujícím textu je popsáno několik námětů využitelných při probírání učiva o teple, šíření tepla, tepelných strojích. Jak si sestavit lihový kahan či kalorimetr, využít termocitlivý papír, udělat tepelný stroj, názorně ukázat činnost tzv. heat pipe – tepelné trubice a něco pro zajímavost navíc.

Kahan – základní zdroj tepla

Mají-li se žáci vlastní činností seznamovat s teplem a teplotou, je nutno mít k dispozici větší množství jednoduchých zdrojů tepla. Svíčka čadí a plynový hořák je drahý. Pro většinu pokusů vystačíme s lihovým kahanem. Jak si ho snadno udělat? Použijeme skleničku od dětské přesnídávky. Víčko má z pocínovaného plechu. Připravíme si vhodnou trubičku na knot, kterou bychom mohli k němu připevnit. Když můžeme pájet, tak je výběr snadný. Dobře poslouží měděná trubička z vyřazené lednice, nebo mosazná z velkoobsahové náplně propisovací tužky. (obr. 1). Ve víčku vyvrtáme nebo prorazíme otvor o stejném průměru jako trubička, kterou do něj zapájíme. Pokud tuto možnost nemáme, je nejlepším řešením sehnat trubičku zakončenou závitem. Například z lustrové tyče (obr. 2). Na víčko ji pak upevníme dvěma maticemi. Trubičkou protáhneme bavlněný knot, do skleničky nalijeme líh a kahan je hotov.



Obr. 1: Díly náplně.



Obr. 2: Konec tyče od lustru.



Obr. 3: Několik typů lihových kahanů

Vedení tepla a termocitlivý papír

Pro zjišťování míry zahřátí materiálu je vhodné v určitých případech použít termocitlivý papír. Používá se v levnějších tiskárnách a faxech. Dodává se v ruličkách o různé šíři. Pro pokus si předem nařezeme vhodné archy (A4) které v deskách vyrovnáme, aby se nekroutily. Papír při zahřátí ztmavne. Snadno tak můžeme sledovat, kde se látka zahřívá na vyšší teplotu a jak se teplota šíří materiálem.

Pokud chceme pojmut experiment s vedením tepla jako problémový, připravíme si dvě stejně dlouhé trubičky o délce asi 10 cm, o stejném průměru a shodného vzhledu z materiálů s různou tepelnou vodivostí. Vhodnou dvojicí materiálů je železo a měď. Měděné chromované trubičky o vnějším průměru 10 mm používají instalatéři pro připojení vodovodních baterií, průtokových ohřivačů vody apod. Stejný průměr a chromované provedení mají standardní lustrové trubky sloužící k zavěšení stropních svítidel.

Necháme dva žáky, aby podrželi trubičky za jeden konec a druhý zahřivali plamenem. Zanedlouho se měděná trubička zahřeje celá tak, že ji nelze držet v ruce. V té chvíli oba položí trubičky na termocitlivý papír. Trubičky přitlačíme deskou z tvrdého papíru nebo prkénkem a odvalujeme po papíře. Měděná zanechá nevýraznou stopu o stejné šířce jako je její délka. Díky velmi dobré tepelné vodivosti se rovnoměrně prohřála a má ve všech místech přibližně stejnou, ne příliš vysokou teplotu. Stopa železné trubičky je zcela jiná. Šířka odpovídá jen asi třetině délky trubičky, a u kraje je mnohem výraznější. Konec zasahující do plamene se zahřál na vysokou teplotu, druhý zůstal chladný. Teploty v různých místech se velmi liší. Tepelná vodivost mědi je asi 8 krát lepší než u železa.

Kalorimetr jednoduše

Učitel fyziky často stojí před problémem, jak sehnat větší množství levných a použitelných kalorimetrů. Žáci si je mohou vyrobit sami. Potřebujeme kádinku, pás tenkého molitanu, asi 10 cm vysokou spodní část z 1,5 litrové PET lahve a kus polystyrenu. Kádinku obalíme molitanem a zatlačíme do plastové kádinky ze spodku PET lahve. Z polystyrenu nožem vytváříme kruhové víčko s otvorem pro teploměr kryjící kádinku shora. Ve velké nouzi, když nemáme ani skleněné kádinky, tak si vystačíme jen s PET láhvemi. Uřízneme dva spodky. Jeden z 1,5 litrové o výšce asi 8-10 cm a druhý ze 2 litrové o výšce o 3-4 cm větší. Menší ovineme molitanem a zatlačíme do většího. Takto zhotovená kádinka nemá hubičku a hůř se z ní lije voda ven.



Obr. 4: Díly ke složení kalorimetru. Digitální teploměr není nutný, ale moc dobrý. Je mechanicky odolný a dostatečně citlivý.

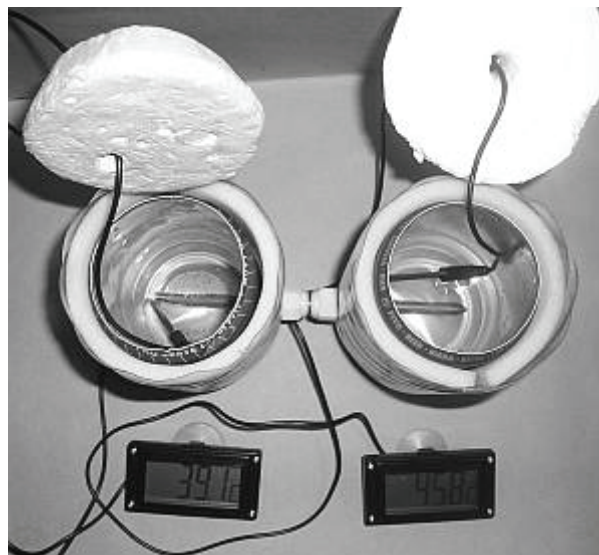
Heat pipe

Jak pasivně, bez konání práce, odvádět a přenášet teplo, když tepelná vodivost kovů nestačí? Řešení navrhl R.S.Gaugler již v roce 1942, ale jeho myšlenka tepelné trubice se začala rozvíjet o mnoho let později. Dnes se stále častěji využívají k odvádění tepla z procesorů v počítačích. Základem je měděná tenkostěnná trubice. Její vnitřní stěny jsou pokryty mikroporézní látkou v níž je nasáklá těkavá kapalina. V ose trubice je prostor vyplněný jen sytou párou dané kapaliny. Pokud trubici v některém místě za-

hříváme, kapalina se vypařuje a pára proudí do míst s nižší teplotou, kde kondenzuje. Kapilárními silami se vrací rychle zpět. Při vypařování se spotřebovává skupenské teplo, které se při kapalnění uvolňuje. Tak se neustále celý vnitřní prostor udržuje s malým rozdílem teplot v různých místech. Navenek to vypadá, jako by trubice měla obrovskou tepelnou vodivost.

V tabulce jsou uvedena data pro jednotlivé látky používané v tepelných trubicích.

Látka	Teplota tání (°C)	Teplota varu při normálním tlaku (°C)	Použitelný rozsah teplot (°C)
Helium	-271	-261	-271 až -269
Dusík	-210	-196	-203 až -160
Čpavek	-78	-33	-60 až 100
Aceton	-95	57	0 až 120
Methanol	-98	64	10 až 130
Flutec PP2	-50	76	10 až 160
Ethanol	-112	78	0 až 130
Voda	0	100	30 až 200
Toluen	-95	110	50 až 200
Rtuť	-39	361	250 až 650
Sodík	98	892	600 až 1200
Lithium	179	1340	1000 až 1800



Činnost tepelné trubice předvedeme jednoduchým pokusem. Propojíme jí dva kalorimetry. Jsou sestavené z plechovek od piva 0,33l, které jsou obalené molitanem a vsunuté do spodku uříznuté 1,5 l PET lahve. Utěsnění trubice ve stěně je pomocí elektrikářských průchodek na kabely. Z časového průběhu teploty v kalorimetrech bylo zjištěno, že 12 cm dlouhá trubice o průměru 6 mm přenáší tepelný výkon přibližně 0,8W při teplotním rozdílu 1°C. Měděná tyč stejných rozměrů by přenášela jen 0,09W/°C a měla by asi čtyřnásobnou hmotnost.

Obr. 5: Kalorimetry z plechovek od piva, na dně je vidět heat-pipe propojující kalorimetry

Model heat pipe

Snadno můžeme vytvořit model trubice bez mikroporézní vrstvy, kde se kapalina vrací zpět ke zdroji tepla jen gravitační silou. Problém je s vlastní trubicí. Aby dovnitř bylo vidět, použijeme skleněnou. Ta má však na rozdíl od měděné velmi špatnou te-

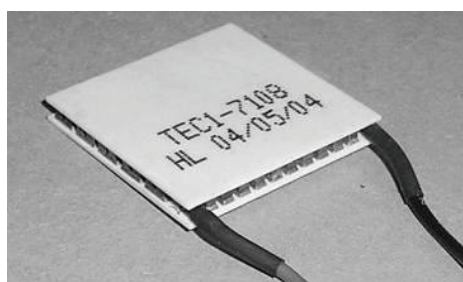
plnou vodivost. Transportovanému teplu klade velký odpor při vstupu a výstupu. Její vlastnosti se pak velmi liší od skutečné.

Jak postupujeme. Skleněnou trubici dostatečné délky (nejméně 60 cm) na jednom konci zatavíme. Dovnitř nalijeme asi do výšky 10 cm etanol. Pro klidnější var přisypeme porcelánové perličky. Na druhý konec navlékneme asi 10 cm dlouhý kousek gumové hadice. Na něj navlékneme tlačku a přiskřípneme, aby uvnitř zůstal jen úzký průchod. Trubicu začneme opatrně zahřívát nad kahanem, nebo ještě lépe ve vodní lázni. Necháme líh bouřlivě vařit, až se celý vnitřek prohřeje na teplotu varu a z hadičky uniká plynný etanol. Oddálíme od zdroje tepla a okamžitě dobře uzavřeme tlačkou. Etanol se dále vaří, ale gumová hadice zmáčknuta atmosférickým tlakem ukazuje, že uvnitř je nižší tlak než v okolí. Trubice je připravena k činnosti.

Ponoříme ji jedním koncem do nádoby s horkou vodou. Uvnitř dojde k bouřlivému varu. Kapalina se vypařuje a kondenzuje na vzdálenějším konci. Ten se intenzivně se zahřívá. Po chvíli jej stěží udržíme v ruce. Teplo z horké vody je transportováno ke vzdálenějšímu konci trubice, přechází do okolí a voda v nádobě rychle chladne.

Tepelný stroj

Tepelný stroj může fungovat ve dvou základních režimech. Jako motor, kdy část tepla přecházejícího z teplejšího tělesa na chladnější přeměňujeme na práci, nebo inverzně jako tepelné čerpadlo. V tom případě prací dosahujeme přenos tepla z chladnějšího tělesa na teplejší. Oba tyto jevy můžeme velmi snadno demonstrovat pomocí Peltierova článku. Jeho principiální schéma je na obr. 7. Vyrábí se v mnoha variantách. Vhodný se dá koupit jako elektronická součástka za cenu od cca 200 Kč. V reálném provedení jde o baterii 72 článků spojených v sérii. Jsou propojeny měděnými můstky a sevřeny mezi dvě keramické destičky tvořící povrch. Celkové rozměry jsou 30 x



Obr. 6 Peltierův článek

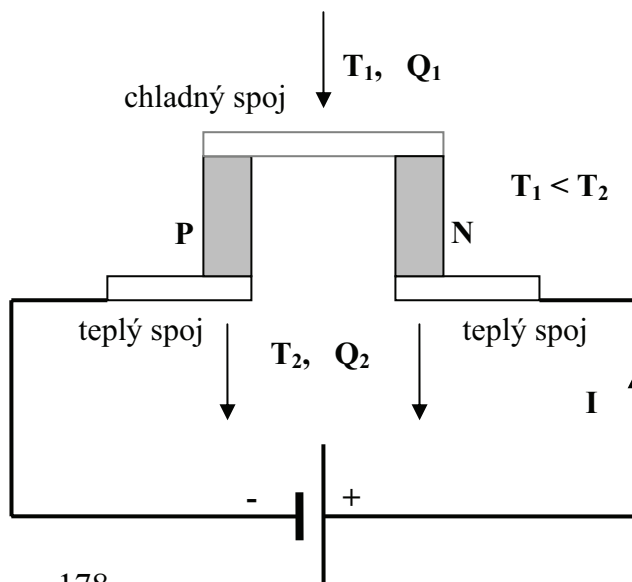
30 x 4 mm. Viz obr. 6.

Obr.7

Schéma Peltierova článku zapojeného jako tepelné čerpadlo.

Elektrickým proudem I ochlazovaný spoj na teplotu T_1 přijímá teplo Q_1 a odevzdává ho společně s teplem vzniklým průchodem proudu jako teplo Q_2 . Čímž se spoj zahřívá na teplotu T_2 . Teplo Q_2 odevzdává okolí.

Základním polovodičovým materiálem jsou převážně vizmut-telluridy, Bi-Te-Se (typ N) a Bi-Sb-Te (typ P). Spojeny jsou měděnými plátky.



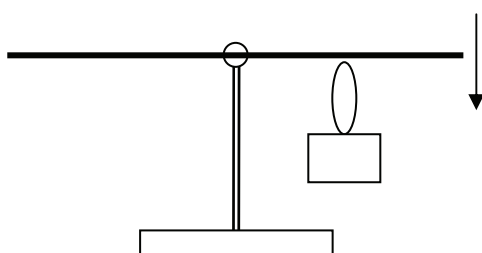
Připojíme-li článek ke zdroji proudu, jedna plocha se výrazně ochlazuje a druhá zahřívá. Funguje jako tepelné čerpadlo a můžeme jím chladit. Takto pracují některé bateriové chladničky nebo aktivní chlazení polovodičových prvků. Jestliže naopak budeme jednu stranu ohřívat a druhou ochlazovat, stane se článek zdrojem napětí. K němu připojený spotřebič bude konat práci. Vhodný spotřebič je malý motorek. Evidentně koná práci a směr otáčení registruje i směr procházejícího proudu.

Polarita napětí a tím i směr otáčení motorku se změní, jestliže zaměníme ohřivanou a ochlazovanou stranu. Ukážeme, že elektrický výkon článku roste s rozdílem teplot. Nestačí jen zahřívát, je nutno nechat teplo přestupovat z teplejší do chladnější části soustavy. Při průchodu proudu i při zahřívání nesmíme překročit hodnoty dané výrobce. Jde o polovodičovou součástku.

Vážení tepla

Na závěr jeden experiment vhodný jako oživení hodiny. Ukážeme, jak jednoduché je ověřit platnost slavné Einsteinovy rovnice $E = mc^2$.

Hliníkovou tyč (trubku) provrtáme uprostřed, malinko nad těžištěm. Zavěšíme otáčivě na stojan. Jako osu otáčení použijeme špendlík se skleněnou hlavičkou zapíchnutý do korkového špuntu. Tyč zaujme vodorovnou polohu. Pak na jedné straně zahříváme a doprovodíme komentářem. „Teplo které dodáme tyči, zvýší energii částic a tím vzroste jejich hmotnost. Proto zahříváné rameno je těžší a



Obr. 8: Sestava pro vážení tepla

těžiště se posune a tyč zaujme novou stabilní polohu s těžištěm pod bodem zavěšení.

klesá dolů.“ Názorně zahřejeme opačné rameno, které po chvíli také převáží na svou stranu. Je samozřejmé, že správné, ale méně poetické je jiné vysvětlení. Zahřátím se hliníková tyč prodlouží, její



Obr. 9: Detail osy otáčení tyče

Doporučení

Další zajímavé informace a náměty na laboratorní práce naleznete na: <http://fyzika.gymnachod.cz>

Literatura

[1] <http://lukepage.wz.cz/hardware/cooling.htm>

[2] http://www.hw.cz/docs/peltier/peltiery_1.html

[3] <http://www.cheresources.com/htpipes.shtml>