

Úloha V.E . . . nenaolejuje-li Jáchym, naolejuje Matěj 12 bodů; průměr 7,50;
řešilo 38 studentů

Změřte závislost teploty kapaliny v otevřeném hrnku na čase. Jako kapalinu použijte nejdříve vodu, potom olej a nakonec vodu s malou vrstvou oleje na povrchu. Vrstva by měla být co nejtenčí, ale zároveň musí pokrývat celý povrch vody. Měřte v rozsahu od 90 °C do 50 °C. Dávejte pozor na to, aby veškeré podmínky byly při všech experimentech stejné (použijte stejný hrnek se stejnou počáteční teplotou, teploměr ponechte celou dobu v kapalině pokaždé na stejném místě atd.). Popište co nejlépe experimentální aparaturu, srovnajte chladnutí v jednotlivých případech a výsledky diskutujte.

Karel měl v tropickém vedru horkou polévku v přehřáté misce.

Teoretický úvod

Teplotu můžeme pro bežné tělesa v našem okolí charakterizovat ako istú mieru pohybu častíc v látke. Čím vyššia teplota, tým viac sa častice v látke pohybujú. Chladnutie telesa môže mať niekoľko príčin. Teplota sa vo všeobecnosti šíri vedením, žiarením alebo prúdením. Pri vedení sa povrchy s rozdielnou teplotou navzájom dotýkajú, a tak si častice postupne vymieňajú kinetickú energiu, čo pozorujeme ako ohrievanie chladnejšieho materiálu a chladnutie teplejšieho. Táto tepelná energia sa šíri látkou ďalej. Pri žiarení sa pri bežných teplotách uvoľňuje tepelná energia hlavne ako infračervené žiarenie, ktoré odnáša zo systému energiu pomocou fotónov. Pri prúdení sa oblasti kvapaliny alebo plynnej látky navzájom miešajú a tým postupne dochádza k rovnomernému rozptýleniu tepelnej energie.

Ďalším javom, ktorý sa podieľa na zmene teploty telesa, je aj skupenská premena. Pri vyparovaní sa spotrebuje veľké množstvo energie na premenu kvapaliny na plyn. Tým sa daná kvapalina ochladí.

Najpomalší pokles teploty tak očakávame pri vode s vrstvou oleja. Odparovanie vody spôsobí, že voda samotná sa kvôli efektu vyparovania svojou krivkou viac priblíži chladnutia oleja, ktorý obsahuje najmenej tepelnej energie.

Popis experimentu

Našou úlohou bolo sledovanie teploty sústavy hrnčeka spolu s určitou kvapalinou. Zo zadania sme pre náš experiment použili keramický hrnček s valcovým tvarom. Hrnček sme mali umiestnený na kuchynskej doske, materiálové vlastnosti podložky môžeme odhadovať ako blízke drevu. Hmotnosť a rozmery hrnčeka sme zmerali pomocou digitálnych váh, resp. šuplery. Teplotu sme merali pomocou aplikácie Logger Lite a pomocou senzora STS-BTA Vernier s presnosťou (v nami sledovanom rozsahu) 0,4 °C. Períodu jedného merania sme nastavili na 5 sekúnd. Keďže samotný hrnček má pomerne vysokú tepelnú kapacitu, zohriali sme ho najprv naliatím kvapaliny, až potom sme kvapaliny vymenili a prebehlo meranie. Vodu sme zohrievali v rýchlovarnej kanvici. Použitý bol repkový olej, ktorý sme zohrievali na plynovom sporáku, jeho teplotu sme kontrolovali pomocou teplotného senzora počas zahrievania. Použili sme približne rovnaké množstvo jednotlivých tekutín (teda nalievali sme plný hrnček).

Výsledky merania

V tabuľke 1 máme dôležité údaje k meraniu, tabuľka 2 obsahuje parametre hrnčeka. Všimnime si, že kým hustoty vody a oleja sú si relatívne podobné, tak merné tepelné kapacity sa značne

líšia. Preto istý objem oleja obsahuje ani nie polovicu tepelnej energie rovnakého objemu vody. Výsledná závislosť teploty od času je znázornená v grafe 1

Tab. 1: Laboratórne podmienky a konštanty. Vlastnosti vody resp. oleja sa vzťahujú k teplote 70 °C.

Teplota vzduchu	$(21,1 \pm 0,2) \text{ } ^\circ\text{C}$
Tlak vzduchu	$(930 \pm 2) \text{ hPa}$
Vlhkosť vzduchu	$(41 \pm 1) \%$
Hustota vody	$(998 \pm 1) \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Hustota repkového oleja	$(916 \pm 1) \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Merná tepelná kapacita vody	$4190 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Merná tepelná kapacita oleja	$2050 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

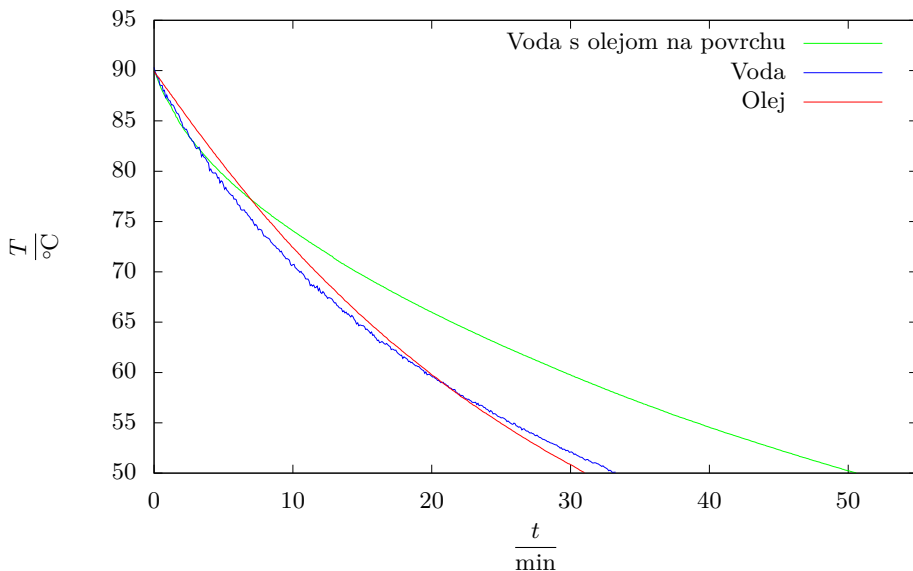
Tab. 2: Parametre hrnčeka.

Výška	$(97 \pm 1) \text{ mm}$
Hrúbka steny v strede hrnčeka	$(7,4 \pm 0,1) \text{ mm}$
Vonkajší priemer podstavy hrnčeka	$(83 \pm 1) \text{ mm}$
Hmotnosť	$(414,10 \pm 0,02) \text{ g}$
Merná tepelná kapacita keramiky (70 °C)	$850 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Objem použitých tekutín	$(300 \pm 5) \text{ cm}^3$
Kapacita vody s hrnčekom	$1609 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$
Kapacita oleja s hrnčekom	$915 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$

Diskusia

Samotné tabuľky s hodnotami nám vedia povedať zopár zaujímavých údajov. Celková kapacita sústav (tekutina a hrnček) sa v prípade oleja od sústav s vodou výrazne líši. Kapacita sústavy oleja je približne o 40 % nižšia oproti ostatným dvom.

Keď sa pozrieme na priebeh funkcií jednotlivých teplôt, môžeme si všimnúť, že samotná voda a voda s olejom sa správajú na začiatku merania relatívne podobne, čo je dosť neintuitívne. Pri nezávislom pozorovaní správania sa tekutín sme si všimli, že rozdiel teploty medzi povrchom a dolnou časťou tekutiny v hrnčeku pri vyšších, ale aj nižších teplotách, dosahoval niekoľko stupňov, čo skreslovalo celkový obraz o množstve tepelnej energie v sústave. Aj preto bola nutná podmienka jedného statického miesta merania. Pri položení na studenú dosku tekutina vie rýchlejšie strácať teplo v počiatočnej fáze práve cez veľký rozdiel teplôt vedením. V tomto prípade sú podstatné vlastnosti väčšiny tekutiny v hrnčeku, teda vody. Táto podobnosť kriviek chladnutia trvala približne prvých 5 minút merania, pravdepodobne kým sa ustanovil stacionárny stav rozloženia teplôt v blízkom okolí hrnčeka. V sústave s čistým olejom bol rozdiel medzi dnom a vrchom hrnčeka veľký, a teda počiatočné odoberanie tepla bolo menšie. Faktor, ktorý pravdepodobne tiež zohral rolu, bolo aj nie úplne dokonalé zohriatie hrnčeka, ktorý sám mohol odoberať teplo inak v rôznych prípadoch.



Obr. 1: Závislost teploty jednotlivých tekutin na čase

Ak si pozrieme bližšie krivku vody, tak môžeme vidieť, že jednotlivé merania, ktoré sú pri sebe, majú často rozdielne hodnoty. Tieto odchýlky sú síce v rámci systematickej chyby prístroja a môžeme ich pokojne zanedbať, avšak pravdepodobne za nimi stojí buď nedokonalý kontakt v meriacom zariadení pri danom meraní, alebo istý typ mikroprúdenia v tekutine vytvorený rôznymi teplotami v tekutine. Preto pozorujeme isté rozdiely po 5 sekundách nášho vzorkovania. Je potrebné mať ďalej na pamäti aj znižovanie objemu vody v hrnčeku odparovaním. Pri vode s olejom sme to nepozorovali, keďže z povrchu sa významne neodparovalo.

Počas väčšiny času merania sa však sústava s vodou správala podobne ako sústava s olejom. To môžeme vysvetliť tým, že olej má síce menšiu tepelnú kapacitu, ale zase, ako už bolo spomenuté, stráca menej energie vyparovaním. Najpomalšie chladla voda s olejom na povrchu, ktorá kombinuje veľkú tepelnú kapacitu vody s malými stratami vypracovaním vďaka oleju.

Nutnou pripomienkou je ešte aj to, že jednotlivé hodnoty uvedené v tabuľkách sú poväčšine stredné hodnoty, keďže veličiny ako napríklad merná teplotná kapacita oleja sa s teplotou výrazne menia. To platí aj pre kermické materiály.

Záver

Z pozorovaných vzoriek najpomalšie chladne voda s olejom na povrchu. Voda a olej v tomto rozmedzí chladnú približne rovnako rýchlo, avšak pre iný hrnček a iné podmienky merania sa môžu líšiť. V našom meraní sa tak teploty zmenili z 90 °C na 50 °C pre olej za 31 minút, vodu

za 33 minut a vodu s olejem na povrchu za 51 minut.

Ivan Hudák
hudakivan@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.