

Úloha I.E ... Kdy už budou ty těstoviny?

14 bodů; (chybí statistiky)

Změřte závislost času začátku varu na jejím množství v nádobě. Měření opakujte několikrát pro alespoň pět různých objemů. Dbejte přítom na konzistentnost podmínek, zejména na kritérium varu a počáteční teplotu vody, nádoby a sporáku. Výslednou závislost se pokuste vysvětlit.

Dodáv boj se sporákem na koleji.

Jednoduchý model

Ohrev vody je úkon, ktorý bežný človek vykoná aj niekoľkokrát denne. Navyše obvykle chceme aby voda zovrela čím skôr, či už pri varení večerných cestovín, či ranej kávy alebo čaju. Zjednodušené môžeme popísať ohrev vody pomocou kalorimetrickej rovnice

$$Q = mc\Delta T = mc(T_f - T_i),$$

kde Q je teplo dodané vode, m je hmotnosť vody, c je merná tepelná kapacita vody a ΔT je rozdiel počiatočnej T_i a koncovej teploty T_f , pričom predpokladáme, že pri koncovej teplote voda ešte nevrje. Dodané teplo sa dá jednoducho určiť ako súčin výkonu kanvice a času, ktorý beží

$$Q = Pt = UI t = \frac{U^2}{R} t,$$

kde sme využili vzťah pre výkon v elektrickom obvode pre súčiastku pod napätím U , ktorou tečie prúd I a má elektrický odpor R . Všetko toto teplo ale nezohrieva len vodu, zohriať musíme aj varné teleso, ktorému musíme dodať teplo

$$Q = C(T_f - T_i),$$

kde C je tepelná kapacita varného telesa. Ak by sme túto sústavu považovali za uzatvorenú (žiadne odparovanie vody) a tepelne izolovanú, výsledný vzťah pre čas varenia by po dosadení za hmotnosť vody z objemu $m = \rho V$ vyzeral

$$t = \frac{C(T_f - T_i) + \rho V c (T_f - T_i)}{\frac{U^2}{R}}.$$

Ak predpokladáme, že v priebehu varenia sa jednotlivé veličiny nemenia dostávame lineárnu závislosť času na objeme.

Postup merania a použité pomôcky

Meranie sme vykonávali pre rýchlovarnú konvicu s objemom povoleným na ohrev vody medzi polovicou a celým litrom s deklarovaným výkonom $P = 1000 \text{ W}$ s použitím vody z kohútika. Objem vody v konvici sme merali použitím dvoch rôznych hrnčiek, ktorých vlastný objem sme určili s pomocou kuchynských váh ako $V_1 = 145 \text{ ml}$, $V_2 = 330 \text{ ml}$, kde chybu merania objemu pre oba hrnčky počas experimentu odhadujeme na $\Delta V_0 = 10 \text{ ml}$. Pri prepočte sme vzhľadom na presnosť použili hustotu vody $\rho = 1,00 \text{ g/ml}$. Čas sme merali od spustenia kanvice po automatické vypnutie kanvice vnútorným termostatom pomocou hodínok s presnosťou $\Delta t = 1 \text{ s}$.

Pred začiatkom merania sme napustili všetku potrebnú vodu do veľkého hrnca a počkali, kým sa jej teplota vyrovnala s teplotou v miestosti. Teplota použitej vody a vzduchu bola

priebežne monitorovaná a pohybovala sa v medziach $T_i = 22\text{ }^\circ\text{C}$ až $T_i = 24\text{ }^\circ\text{C}$. Pred začiatkom merania nebola kanvica aspoň pol dňa použitá, bola teda izbovej teploty. Do kanvice sme z hrnca nabrali potrebný objem vody a nechli vodu variť. Po vypnutí kanvice sme vodu vyliali a kanvicu sme dôkladne vypláchli studenou vodou (o teplote asi $19\text{ }^\circ\text{C}$). Následne sme do kanvice napustili studenú vodu a nechali 10 minút stáť. Túto vodu sme vyliali a po ďalších piatich minútach státi na vzduchu sme začali ďalšie meranie.

Výsledky merania

Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 1 spolu s poradovým číslom merania N . v prvom stĺpci. Chyba merania objemu bola určená ako $\Delta V = \sqrt{n}\Delta V_0$, kde n počet hrnčekov vody, ktoré tvorili daný objem. Túto závislosť sme následne preložili lineárnou závislosťou $t = a + bV$, hodnoty koeficientov boli určené pomocou programu *Gnuplot* metódou najmenších štvorcov ako $a = 60(9)\text{ s}$, $b = 0,403(14)\text{ s}\cdot\text{ml}^{-1}$. Nameranú závislosť spolu s lineárnou závislosťou je vynesená v grafe 1.

Tab. 1: Namerané časy t potrebné na zovretie objemu V vody

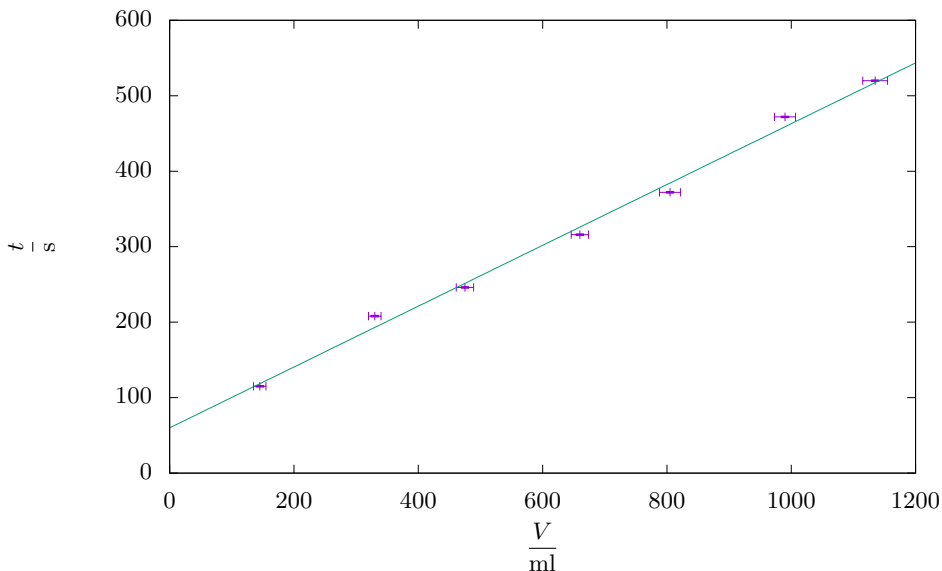
N.	$\frac{V}{\text{ml}}$	$\frac{t}{\text{s}}$
7	145(10)	115
1	330(10)	208
4	475(14)	246
2	660(14)	316
5	805(17)	372
3	990(17)	472
6	1135(20)	520

Diskusia

Nameraná závislosť zohľadniac chyby merania dobre odpovedá lineárnemu fitu. Nepresnosť merania je daná jednak presnosťou merania objemu, ktorú by šlo zlepšiť priamym vážením jednotlivých použitých objemov, alebo použitím odmerného valca.

Ďalej chybu merania času danú presnosťou merania hodinkami v skutočnosti prevažuje chyba daná počiatočnou teplotou a koncom merania. Voda v čase zopnutia termostatu vrela v celom objeme niekoľko sekúnd, v závislosti od množstva vody 5–15 s. Ak prevedieme nepresnosť merania teploty asi jeden stupeň na vplyv určenia času využitím a zanedbaním tepla dodaného kanvici máme $\delta t = t \frac{\Delta T}{T_f - T_i} \approx 0.013t$. Pri nami meraných časoch ide o 1,5–7 s. Presnosť merania sa dá zvýšiť využitím digitálneho teplomera so sondou priamo vo varenej vode a detekciou bodu varu ako prechodu od narastajúcej teploty (v našom prípade lokálne blízko lineárneho priebehu) na konštantnú závislosť počas samotného varu. V tomto prípade je ale nutné do fitovania zahrnúť rôznu počiatočnú teplotu vody.

Najproblematickejšie je kvantifikovať vplyv počiatočnej teploty kanvice. Vidíme že teplo dodané kanvici odpovedá asi $a/b = 150\text{ ml}$ vody, neistota jeden stupeň v počiatočnej teplote tak bude odpovedať asi dvom sekundám. Máme za to, že našim postupom merania sme zabezpečili homogenitu počiatočnej teploty práve v tomto ráde. Určiť túto teplotu je však náročné, keďže



Obr. 1: Závislost doby varenia vody na jej objeme.

časti kanvice z rozdielnych materiálov sa voči tepelným zmenám chovajú rôzne a majú tak jemne odlišné počiatkové teploty.

Na záver sa pozrime na javy, ktoré by sme museli zohľadniť pri presnejšom meraní, či inej konfigurácii. Vyjdeme z rovnice a prediskutujeme jednotlivé veličiny.

- *Tepelná kapacita* je vo všeobecnosti závislá na teplote, v našom intervale teplôt sa merná teplota vody pohybuje medzi $4\,180 - 4\,216 \text{ kJ}\cdot\text{kg}\cdot\text{K}^{-1}$ ¹. Vzhľadom na povahu merania - meriame vždy medzi dvomi konkrétnymi teplotami - by táto premenlivosť nemala mať priamy vplyv. Zaujíma nás primárne totiž celkové teplo, ktoré vode musíme dodať, nie prerozdelenie tohto tepla do jednotlivých teplotných podintervalov.
- *Tepelný výkon zdroja* je taktiež závislý na teplote prostredníctvom závislosti elektrického odporu varného telesa. S rastúcou teplotou odpor klesá až do dosiahnutia stálej hodnoty pri pracovnej teplote. V prvých sekundách je tak výkon kanvice výrazne vyšší ako neskôr.
- *Tepelné straty* sú ďalším dôležitým javom. Jedná sa hlavne o straty *vedením tepla* z kanvice do okolia a *skupenské teplo* stratené pri *vyparovaní vody*. Oba tieto javy sú výraznejšie, čím je teplota vody vyššia. Môžeme preto očakávať, že v prípade väčších objemov vody, ktoré strávia na vyšších teplotách viac času budú straty vyššie a doba varenia sa výrazne predĺži. Extrémnym prípadom môže byť situácia, keď máme tak slabý zdroj tepla a veľa vody, že sa teplota vody ustáli na teplote dokonca pod bodom varu. V tomto prípade nás „zachráni“ obvykle výpar vody pri teplote pod bodom varu - postupné znižovanie objemu vody posunie rovnováhu k vyšším teplotám. Výpar vody však môže mať vplyv aj pri

¹https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-water-d_660.html

obvyklých situáciách - pri varení vody tak skončíme s menej vody ako sme začali. Tomuto vieme zabrániť použitím pokrievky na ktorej vyparená voda spätne kondenzuje. Oproti odokrytému hrncu tak voda zovrie výrazne rýchlejšie. Zaujímavým prípadom sú tlakové hrnce - vzhľadom na uzatvorenosť sústavy dochádza počas varenia k zvyšovaniu tlaku a tak posunu teploty varu k vyšším hodnotám a predĺženie doby potrebnej na zovretie - to však v tomto prípade obvykle nie je našim cieľom.

Záver

Premerali sme závislosť doby varenia vody na jej objeme v rýchlovarnej konvici. Nameraná závislosť je lineárna, pričom asi minúta varenia je spotrebovaná na ohriatie samotnej konvice. V našom prípade sme nepozorovali zmenu závislosti vplyvom tepelných strát pri vyšších objemoch.

Jozef Lipták
liptak.j@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/>.