

Úloha V.E ... Měrná tepelná kapacita brambor

7 bodů; (chybí statistiky)

Změřte co nejpřesněji měrnou tepelnou kapacitu brambor. Pokus několikrát zopakujte a zkuste odhadnout nejistotu svého měření. Postup měření necháme čistě na vás, nezapomeňte ho však detailně popsat a uvést všechny potřebné okolnosti, jako například varný typ brambor.

Teorie

Měrná tepelná kapacita je veličina popisující množství tepla potřebného k ohřátí jednotkové hmotnosti látky o jeden stupeň Celsia.¹ Teplo Q přijaté při ohřívání tělesa o měrné tepelné kapacitě c a hmotnosti m o teplotu Δt je

$$Q = mc\Delta t.$$

Protože nemáme k dispozici kalorimetr ani jinou dobře izolovanou nádobu, kterou bychom ho mohli nahradit, použijeme k měření dobu ohřívání vody s bramborami na vařiči. Pro vařič předpokládáme konstantní výkon P , a tedy teplo dodané vařičem za čas t můžeme vyjádřit jako

$$Q = Pt.$$

Vyjdeme tedy z předpokladu, že měrnou tepelnou kapacitu vody $c_v = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ známe, a budeme porovnávat časy potřebné k ohřátí samotné vody a vody s bramborami na bod varu za předpokladu konstantního výkonu vařiče. Nesmíme zapomenout ani na tepelnou kapacitu hrnce, tedy dobu potřebnou pro přivedení vody k varu budeme měřit již pro její nalití do rozehřátého hrnce. Pro ohřátí vody o hmotnosti m_v na teplotu varu budeme potřebovat čas t_v . Dále uvažujeme, že rozdíl pokojové teploty a teploty varu je Δt , který je stejný pro vodu i pro brambory. Dodané teplo tedy je

$$Q_v = Pt_v = m_v c_v \Delta t. \quad (1)$$

Do vroucí vody nyní vhodíme brambory o hmotnosti m_b a měříme čas t_b potřebný k přivedení vody s bramborami k varu. Jelikož voda byla už předtím na teplotě varu, ohříváme nyní již jenom brambory. Pro dodané teplo pak platí

$$Q_b = Pt_b = m_b c_b \Delta t. \quad (2)$$

Když z rovnice (2) vyjádříme měrnou tepelnou kapacitu brambor c_b a za podíl výkonu a rozdílu teplot dosadíme z rovnice (1), dostaneme:

$$c_b = \frac{Pt_b}{m_b \Delta t} = \frac{m_v t_b}{m_b t_v} c_v.$$

Výsledky

Měření jsme prováděli celkem čtyřikrát. Při prvních dvou měřeních jsme zjistili, že přesně určit okamžik, kdy se voda začíná vařit, je problematické, proto jsme při dalších měřeních použili teploměr. Navíc jsme určovali i dobu, za kterou dosáhne voda i voda s bramborami teploty 95°C . Všechna měření jsou uvedena v tabulce 1.

¹nebo jeden Kelvin, stupnice se liší jen počátkem, ale rozdíly teplot jsou stejné

$\frac{m_v}{\text{kg}}$	$\frac{m_b}{\text{kg}}$	$\frac{t_v}{\text{s}}$	$\frac{\sigma(t_v)}{\text{s}}$	$\frac{t_b}{\text{s}}$	$\frac{\sigma(t_b)}{\text{s}}$	$\frac{c_b}{\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}}$	$\frac{\sigma(c_b)}{\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}}$
1,300	0,822	720	30	540	30	4 960	480
1,200	0,353	750	30	160	30	3 030	690
0,966	0,352	585	30	173	30	3 390	760
1,292	0,547	795	30	370	30	4 600	550
0,966	0,352	551	5	145	5	3 020	130
1,292	0,547	752	5	306	5	4 020	90

Tab. 1: Naměřené hmotnosti brambor a vody včetně časů potřebných pro jejich přivedení k varu

Poslední dvě měření jsou pro měření do dosažení teploty 95°C , které se dá určit mnohem přesněji než dosažení bodu varu, proto mají tyto hodnoty také nejmenší odhadnutou chybu $\sigma(t) = 5\text{ s}$, zatímco pro bod varu odhadujeme nejistotu určení času na 30 s. Protože měření hmotností vody i brambor na kuchyňské váze s nejmenší jednotkou jeden gram je v porovnání s měřením časů velmi přesné, můžeme jeho chybu zanedbat a určit výslednou relativní chybu měrné tepelné kapacity brambor jako součet relativních chyb doby vaření samotné vody a vody s bramborami

$$\frac{\sigma(c_b)}{c_b} = \frac{\sigma(t_b)}{t_b} + \frac{\sigma(t_v)}{t_v}.$$

Každá brambora má jiný poměr vody a škrobu, bude mít tedy jinou měrnou tepelnou kapacitu, v průměru by však mohly být měrné tepelné kapacity podobné. Pro naše výsledky vychází průměrná měrná tepelná kapacita se směrodatnou odchylkou jako $c_b = (3840 \pm \pm 340)\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Diskuse

Jelikož jsou brambory tvořené především škrobem a vodou, bude jejich měrná tepelná kapacita kombinací jejich měrných tepelných kapacit. Na internetu² jsme našli, že měrná tepelná kapacita brambor je přibližně $3,6\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, podle jiného zdroje³ je měrná tepelná kapacita škrobu přibližně $1\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a u vody již víme, že to je přibližně $4180\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, tedy měrná tepelná kapacita brambor je menší než vody, což našemu výsledku odpovídá. Pro úplnost dodáme, že jsme použili brambory varného typu B.

Závěr

Naměřili jsme měrnou tepelnou kapacitu brambor $c_b = (3840 \pm 340)\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, což je relativní chyba přibližně 8%. To není až tak přesné měření (za přesné bychom považovali měření s relativní chybou menší nebo rovnou 1%), tedy naše metoda není zdaleka ideální, ale pro řádový odhad to stačí. Výsledek měření se dále v rámci nejistot shoduje s jiným zdrojem, který

²<http://kmd-trinec.blogspot.com/2010/05/krumple-grule-bandory.html>

³<https://adoc.pub/queue/heterogenni-systemy-faze.html>

jsme našli, což vypovídá o jeho pravdivosti (nenašli jsme bohužel tabelované hodnoty pro lepší porovnání).

Kateřina Rosická
kackar@vyfuk.mff.cuni.cz

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími 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 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.