

13. ročník, úloha I. E ... měrná tepelná kapacita vody (8 bodů; průměr ?; řešilo 115 studentů)

Vaším úkolem je změřit měrnou tepelnou kapacitu vody. Metodu měření si můžete vybrat sami, lze například měřit rychlost vzrůstu teploty vody ohřívané ponorným vařičem nebo měřit změnu teploty vody při ponoření tělesa o známé teplotě a tepelné kapacitě, vaší vynalézavosti se však meze nekladou.

Vypracování experimentální úlohy by mělo obsahovat na začátku trochu teorie popisující danou problematiku, následuje stručný, ale srozumitelný popis měření, na škodu není ani výčet pomůcek. Nezbytná je tabulka naměřených hodnot, výpočet odchylky měření (viz Chyby měření) a závěr s diskuzí výsledku, kde srovnáváte jednotlivé metody, výsledky apod.

Vaší vynalézavosti, co se týče způsobu měření, se meze nekladly, ale přesto se objevilo jen několik málo metod. My použijeme obě dvě doporučené v zadání.

I) Kalorimetr

Teorie: Zahřejeme těleso o známé tepelné kapacitě C_t na teplotu t_t a vložíme jej do kalorimetru o kapacitě C_k s vodou o teplotě t_v . Změříme, na jaké teplotě t se soustava ustálí.

Z kalorimetrické rovnice plyne

$$c = \frac{C_t(t_t - t) - C_k(t - t_v)}{m(t - t_v)},$$

kde m je hmotnost vody, kterou jsme určili za pomoci odměrného válce a její známé hustoty.

Pomůcky: kalorimetr ($C_k = 725 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$), odměrný válec (jeden dílek je 0,01l), měděný předmět ($C_t = 145 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$), teploměr (jeden dílek je 0,5 K), ohřivač.

č. m.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
t_v [°C]	22,0	23,5	23,5	23,25	22,0	22	21,5	22,75	22,5	22,25
t_t [°C]	80,0	81,25	84,5	79,75	90,5	80,0	82,25	80,75	80,0	80,0
t [°C]	23,75	25,0	25,0	24,75	24,25	23,75	23,5	24,5	24,25	24,0

Aritmetický průměr měrné tepelné kapacity je $\bar{c} \doteq 4,22 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Standardní odchylka je $s_{\text{st}} = 0,5 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Směrodatná odchylka je $s_{\text{sm}} = 0,17 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Systematickou chybu jsme odhadli na $s_{\text{sys}} = 1,0 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Celková chyba je $s_{\text{celk}} = 1,2 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Výsledná hodnota tedy je $c = (4,2 \pm 1,2) \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Diskuze: Velká chyba je způsobena hlavně malou tepelnou kapacitou předmětu vzhledem ke schopnostem teploměru, která vede jak k velké systematické chybě, tak k velké standardní chybě. Toto měření by se dalo zpřesnit užitím tělesa o vyšší tepelné kapacitě či použitím přesnějšího teploměru.

II) Ohřívání vody

Teorie: Nalijeme 1l vody do rychlovarné konvice. Změříme počáteční teplotu. Zapneme konvici a měříme, za jaký čas se voda ohřeje o x stupňů.

Během ohřívání dodáme vodě teplo $Q = P\eta t = cm\Delta T$, kde P je příkon, η je účinnost, t je čas, po který vodu zahříváme, c je měrná tepelná kapacita a ΔT je rozdíl koncové a počáteční teploty. Měrnou tepelnou kapacitu tedy určíme ze vztahu

$$c = \frac{P\eta t}{m\Delta T}.$$

Pomůcky: varná konvice ($P = 1\,000$ kW, η jsme odhadli na $0,95 \pm 0,05$), teploměr, stopky, odměrný válec.

Naměřené hodnoty pro $V = 1,00$ l:

T [°C]	24,5	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0
t [s]	0,0	26,0	48,6	71,6	94,4	113,2	137,2	157,3	180,9	201,3	223,5	241,2

Aritmetický průměr je $c = 4,28$ kJ·K⁻¹·kg⁻¹.

Standardní odchylka je $s_{st} = 0,11$ kJ·K⁻¹·kg⁻¹.

Směrodatná odchylka je $s_{sm} = 0,03$ kJ·K⁻¹·kg⁻¹.

Systematická chyba je $s_{sys} = 0,2$ kJ·K⁻¹·kg⁻¹.

Celková chyba je $s_{celk} = 0,2$ kJ·K⁻¹·kg⁻¹.

Výsledná hodnota je $c = (4,3 \pm 0,2)$ kJ·K⁻¹·kg⁻¹.

Diskuze: Měření dává poměrně příznivou chybu. Přesto by ji určení účinnosti mohlo výrazně zmenšit, neboť velká část chyby je dána právě tím, že jsme ji odhadli. K zpřesnění by přispělo i změření tepelné kapacity konvice, kterou bychom získali provedením tohoto měření ještě s jiným množstvím vody a porovnáním výsledků obou měření.

Toto měření je přesnější než první hlavně díky větší přesnosti měřidel.

III) Další metody

Další metoda, která se vyskytla, se od předchozí lišila jen použitím mechanického zdroje energie (mixér). Byly zde vyšší ztráty a proto byla méně přesná.

Naopak další metoda byla spíše opakem druhé. Voda se ohřála na teplotu vyšší než teplota okolí a měřilo se, jak rychle se ochlazuje. Se znalostí poklesu teploty a odevzdaného tepla je možné vypočítat c .

Ukázkový případ, jak se vyhnout měření, provedl jeden řešitel, když vyšel z tvrzení, že od té doby, co postavili přehradu, jsou teploty v létě o dva stupně nižší a v zimě o dva stupně vyšší. Spočítal jaké teplo přijme z (odevzdá do) okolí přehrada a se znalostí objemu přehrady určil měrnou tepelnou kapacitu.

Miroslav Musil