

### 11. ročník, úloha II. E ... kadeřnictví v rukou fyzika (8 bodů; průměr ?; řešilo 45 studentů)

Změřte pomocí fěnu (ručního elektrického vysoušeče vlasů) tepelnou kapacitu vzduchu.

*Poznámka:* Připomínáme, že experimentální úloha je od slova experimentovat. Proto neváhejte a místo teoretických výpočtů se chopte fěnu a opravdu si to zkuste. Kromě experimentálních zážitků budete oceněni i tím, že experimentální úloha je hodnocena tradičně více, než ostatní úlohy.

Uvedu dvě nejčastější (a zároveň nejsmyslnější) metody měření.

Nejprve si řekněme, jaký aparát chceme použít, tedy i jaké veličiny chceme měřit. Energie  $E$  dodaná fénem je

$$E = Pt,$$

kde  $P$  je výkon dodávaný vzduchu a  $t$  je čas, po který vzduch zahříváme. Měrná tepelná kapacita vzduchu potom ukazuje, kolik energie (tepla)  $Q$  je vzduch schopen pojmout

$$Q = mc(T_k - T_p),$$

kde  $c$  je měrná tepelná kapacita vzduchu,  $m$  je hmotnost vzduchu, kterou určíme z objemu  $V$  a hustoty vzduchu  $\rho = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  jako  $m = \rho V$ ,  $T_p$  a  $T_k$  jsou počáteční a konečná teplota vzduchu.

Pokud předpokládáme, že energie dodaná fénem ohřívá vzduch, tj.

$$E = Q,$$

potom jednoduchými úpravami dostaneme

$$c = \frac{Pt}{(T_k - T_p)\rho V}. \quad (1)$$

Potřebujeme tedy změřit objem vzduchu, který se ohřeje za určitý čas, a počáteční a konečnou teplotu vzduchu.

#### První metoda

Nalezneme co nejlépe tepelně izolující nádobu, do které uzavřeme fén s teploměrem. Proces měření je zřejmý. Fén zapneme na určitou dobu, sledujeme, o kolik se ohřál vzduch v nádobě. Objem nádoby změříme.

Zřejmě není příliš vhodné použít místnost, neboť ta není příliš dobře tepelně izolovaná, a než fén ohřeje takové množství vzduchu, tak se vzduch stěnami místnosti stačí ochladit. Navíc my sami ovlivňujeme teplotu vzduchu.

Já jsem použil skříň s rozměry  $v \times h \times b$

$$v = (0,33 \pm 0,01) \text{ m}, \quad h = (0,39 \pm 0,01) \text{ m}, \quad b = (0,41 \pm 0,01) \text{ m}$$

a měřil jsem po dobu deseti sekund ( $t = (10,00 \pm 0,05) \text{ s}$ ). (Odhady chyb plynou z toho, že jsem měřil pravítkem a stopoval vteřinovou ručičkou na hodinkách. Jde o chyby střední, tzn. že hodnota naměřené veličiny leží na 99 % v intervalu určeném trojnásobkem této střední chyby (tzv. mezní chyba).) Hodnotu měrné tepelné kapacity jsem nejprve spočetl orientačně z prvního pokusu (tabulka 1), přičemž jsem použil hodnotu příkonu udanou výrobcem fěnu  $P = 1200 \text{ W}$

(hodnotu by bylo samozřejmě nejlepší zjistit přímým měřením napětí a proudu v obvodu, já předpokládám střední chybu uvedené hodnoty 5 %).

Ze vztahu (1) vypočte hodnota

$$c \sim 30\,000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1},$$

což je o řád a půl větší, než hodnota z tabulek ( $c = 1\,003 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ).

Podrobnější proměření a výpočty včetně výpočtů chyb tedy zřejmě nemají své opodstatnění. Důležité ovšem je provést ještě alespoň dvě měření, abychom zjistili, zdali to jedno provedené měření nebylo úplně špatně — viz tabulka 1

Tabulka 1

č. m.	$T_p$ [°C]	$T_k$ [°C]	$t$ [s]
1	21,5	28,0	10,0
2	24,0	30,0	10,0
3	23,5	30,0	10,0

Měření rozdílů teplot ovšem provádíme v určité výšce nad dnem nádoby. Samozřejmě, čím výše, tím teplejší vzduch. Ve skříní vzniká tedy gradient teploty, jehož proměřováním se celý pokus komplikuje. Můžeme použít nádobu malé výšky, ale jednodušší a lepší je měřit druhou metodou.

### Druhá metoda

Měříme přímo u výstupu fénu, na jakou teplotu se nám vzduch fénem ohřeje. Potom je ovšem třeba určit ještě objemový průtok  $V/t$  vzduchu fénem.

Nejlepší by samozřejmě bylo určit rychlost vycházejícího vzduchu, např. lopatkovým kolem. To se ale nutně nemusí točit takovou rychlostí, jakou vychází vzduch z fénu, neboť pohyb vzniká odporem vzduchu. Rychlost otáčení zřejmě ovlivňuje také turbulentní proudění okolo lopatek. Navíc není jednoduché ani určení frekvence otáčení kola.

Nejjednodušší a nejdostupnější je přivázat na hrdlo fénu igelitový sáček, sledovat, za jak dlouho se naplní, a potom změřit jeho objem.

Moje měření touto cestou jsou uvedena v tabulce 2

Tabulka 2

č. m.	1	2	3	4	5	průměr	$\Delta't$
$t$ [s]	0,660	0,640	0,710	0,600	0,710	0,664	0,042

Měření jsem prováděl pomocí malého programu, který určoval časový rozdíl mezi dvěma stisky klávesy, které jsem stiskl současně se zapnutím a vypnutím fénu. Je to metoda velmi nepřesná, proto jsem provedl jen pět měření (mělo by jich být alespoň osm), přičemž ke směrodatné odchylce  $\Delta't$  vzešlé ze statistického zpracování připočítávám ještě odhad chyby  $\Delta''t = 0,050 \text{ s}$  takto

$$\Delta t = \sqrt{(\Delta't)^2 + (\Delta''t)^2} = 0,065 \text{ s}.$$

(Statistické zpracování spočívá ve výpočtu průměru hodnot, hodnoty by měly ležet v intervalu určeném trojnásobkem směrodatné odchylky  $\sigma = \sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)/n}$  (tzv. 3- $\sigma$  kritérium). Směrodatná odchylka je zároveň chyba průměrné hodnoty.)

Objem igelitového sáčku jsem změřil tak, že jsem do něj napustil vodu, když jsem ho předtím vložil do kýblu. Není to příliš přesné měření  $V = (0,0070 \pm 0,0005) \text{ m}^3$ .

Teplotní měření jsem provedl v místnosti se vzduchem o teplotě  $T_p = (26,5 \pm 0,2) \text{ }^\circ\text{C}$  tak, že jsem teploměr umístil co nejbližší ústí fénu. Naměřil jsem  $T_k = (110,0 \pm 10,0) \text{ }^\circ\text{C}$ , přičemž teplota velmi kolísala. Jelikož absolutní chyby hodnot se při součtu či rozdílu hodnot sčítají je  $T_k - T_p = (80 \pm 10) \text{ }^\circ\text{C}$ .

Jelikož pro chyby součinu nebo podílu hodnot se sčítají relativní chyby, je relativní chyba

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta(T_k - T_p)}{T_k - T_p} + \frac{\Delta V}{V} = 0,05 + 0,098573 + 0,125749 + 0,071429 = 0,345751.$$

Výsledná hodnota je  $c = (1,1 \pm 0,4) \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  (hodnotu uvádíme tak, aby chyba byla na jednu platnou cifru, poslední platná cifra hodnoty je řádu platné cifry chyby).

Hodnota je přijatelná vzhledem k hodnotě v tabulkách. Můžeme diskutovat příkon fénu. Rozhodně se u druhé metody nespotřebuje celý příkon, dodávaný do fénu. To ale neznamená, že získaná hodnota je kvůli tomu větší. To při dané chybě měření nemůžeme rozhodnout.

*Michal Hvězda*