

**18. ročník, úloha V. E ... paličův seník** (8 bodů; průměr 6,13; řešilo 15 studentů)

Určete teplotu vznícení náplně plynového zapalovače, tj. nejnižší teplotu, na kterou ji musíme zahřát, aby se na vzduchu vznítla. Jako bonus můžete též zjistit teplotu vznícení technického lihu nebo jiné organické látky.

Postupujte například tak, že na odporový drát rozžhavený průchodem elektrického proudu pustíte plyn ze zapalovače. K určení teploty vznícení využijete změřené hodnoty napětí a proudu a známou závislost odporu na teplotě. Vaši vynalézavosti se však meze nekladou.

Varujeme: Oheň způsobuje těžké popáleniny, postupujte proto obezřetně!

*S líhem experimentoval Pavel Augustinský.*

Teplota vznícení je teplota, při které látka vzplane pouze působením tepla, kdežto zápalná teplota je teplota, při které se látka zapálí po přiblížení plamene. Je si proto potřeba uvědomit, že například teplota jisker, které zapalují plyn unikající ze zapalovače, nemusí dosahovat teploty vznícení, stačí jen přesáhnout teplotu zápalnou, která se pohybuje okolo 10°C.

**Teorie**

Budeme postupovat tak, jak navrhuje zadání úlohy. K tomu je potřeba znát závislost odporu drátu na teplotě. Pro kovy lze v širokém rozsahu teplot aproximovat tuto závislost lineárním vztahem

$$R(T) = R_0(1 + \alpha(T - T_0)), \quad (1)$$

kde  $\alpha$  je teplotní součinitel odporu a  $R_0$  odpor při teplotě  $T_0$ . S dostatečnou přesností v oboru našeho měření také platí Ohmův zákon

$$U = RI, \quad (2)$$

ktejří jistě všichni důvěrně znáte.

**Měření**

Seženeme si odporový drátek, který budeme zahřívát průchodem elektrického proudu. Zdůrazňuji přívlastek *odporový*, jelikož drátek musí mít výrazně větší odpor než přívodní vodiče.

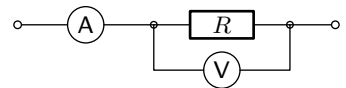
Odpor drátku budeme měřit podle schématu na obrázku 1. Jelikož je jeho odpor zanedbatelný vůči odporu voltmetru, připojíme přímo k drátku voltmetr a před voltmetr zařadíme ampérmetr.

Nejprve měřením určíme koeficient  $\alpha$  ze vztahu (1). To provedeme tak, že změříme odpor drátku při různých teplotách, které měříme například pomocí termistoru v rozsahu do 200°C. Naměřené hodnoty shrnuje následující tabulka.

$t$ [°C]	23	100	150	200
$R$ [Ω]	3,750	3,775	3,780	3,795

Hodnoty vyneseme do grafu a provedeme lineární regresi – body proložíme přímkou, ta protne osu  $y$  v hodnotě  $R_0$  a její směrnice bude (podle (1))  $R_0\alpha$

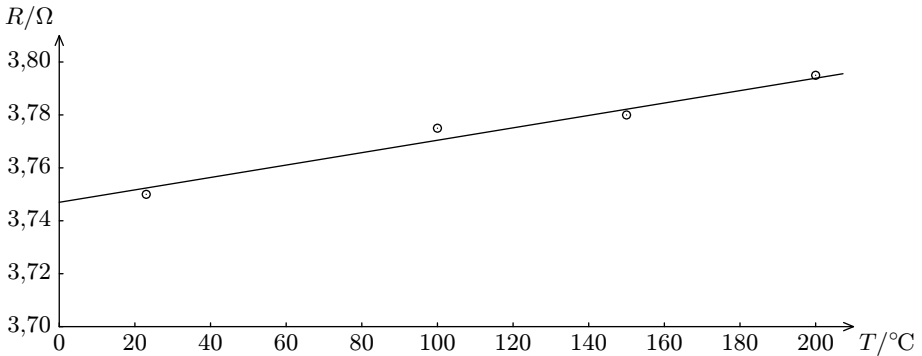
$$R_0 = (3,75 \pm 0,04) \Omega, \quad R_0\alpha = (2,3 \pm 0,5) \cdot 10^{-4} \Omega \cdot \text{K}^{-1},$$



Obr. 1. Schéma měření odporu

kde chyby jsme určili ze statistické chyby regrese a chyby měření  $\Delta R = 0,04 \Omega$ , která je daná třídou přesnosti měřicích přístrojů a vlivem přechodových odporů na kontaktech. Pro teplotní součinitel dostáváme

$$\alpha = (6,1 \pm 1,4) \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}.$$



Obr. 2

Nyní se pokusíme změřit teplotu vznícení náplně zapalovače. Odporový drátek budeme zahřívat průchodem elektrického proudu a zároveň budeme měřit proud tekoucí drátkem a napětí na drátku, použijeme regulovatelný zdroj napětí. Napětí zdroje budeme zvyšovat tak dlouho, dokud plyn puštěný na rozžhavený drátek nevzplane. Naměřené hodnoty napětí a proudu při vzplanutí plynu jsou

$$I = (2,92 \pm 0,02) \text{ A}, \quad U = (11,33 \pm 0,05) \text{ V},$$

odtud odpor drátku při teplotě vznícení je

$$R = (3,88 \pm 0,04) \Omega.$$

Teplotu vznícení určíme ze vztahu (1).

$$T_{\text{náplň zapalovače}} = \frac{R - R_0}{R_0 \alpha} + T_0 = (600 \pm 300)^\circ \text{C}.$$

Analogicky budeme postupovat při měření teploty vznícení lihu. Rozžhavený drátek budeme umísťovat do par lihu a napětí budeme zvyšovat, dokud páry nevzplanou. Naměřené hodnoty napětí a proudu jsou

$$I = (2,80 \pm 0,02) \text{ A}, \quad U = (10,77 \pm 0,05) \text{ V},$$

odtud odpor drátku při teplotě vznícení je

$$R = (3,85 \pm 0,04) \Omega.$$

Teplotu vznícení par lihu určíme stejně jako výše.

$$T_{\text{lih}} = \frac{R - R_0}{R_0 \alpha} + T_0 = (400 \pm 200)^\circ \text{C}.$$

*Diskuse a závěr*

Přesnost určení zápalných teplot není příliš velká, což je důsledek malé velikosti součinitele  $\alpha$ . Bohužel většina odporových drátů (tj. drátů s velkým měrným odporem) má málo výraznou závislost na teplotě stejně jako ten, který jsme použili my. Konkrétně náš drátek měl  $\alpha \sim 6 \cdot 10^{-5}$  a to způsobilo obrovskou výslednou chybu (50%). Vhodnější by bylo použít materiál s  $\alpha \sim 1 \cdot 10^{-3}$ .

Další chyba (až 10 %) je způsobena tím, že závislost odporu na teplotě není přesně lineární.

Pokud porovnáme naše výsledky s tabulkovými hodnotami (předpokládáme, že náplň zapalovačů je směs propanu a butanu)

$$T_{\text{propan-bután}} = 480^{\circ}\text{C} - 605^{\circ}\text{C}, \quad T_{\text{ethanol}} = 425^{\circ}\text{C},$$

zjistíme, že se v rámci chyb shodují, což však nijak nezhodnocuje naše měření.

*Poznámky k došlým měřením*

Nejprve chci poděkovat *Petrovi Vaškovi* a *Bedřichovi Roskocovi*, protože měření, které jsem vydával za „naše“, ve skutečnosti provedli oni. Stejně tak oni ručí za jeho věrohodnost.

Naměřené teploty vznícení náplně zapalovačů se řešitelům vešly do intervalu 300 – 2900°C. Někteří udělali tu chybu, že zvolili příliš malý odpor odporového drátku nebo hodnotu  $R_0$  počítali ze vztahu  $R_0 = \rho l/S$ , což může znehodnotit měření, jelikož parametry drátku těžko přesně změříme. Vzhledem k obtížnosti úlohy se jistě objevilo i několik protokolů k neprovedeným měřením, například jedna nejmenovaná řešitelka disponuje 9V zdrojem, který na výstupu dává 270 A. Některým řešitelům se bohužel zapálit plyn nepovedlo vůbec.

**Honza Prachař**

[honzik@fykos.mff.cuni.cz](mailto:honzik@fykos.mff.cuni.cz)