

Elektrická energie

Jouleův jev

Vojtěch Beneš

Výstup RVP: žák měří vybrané fyzikální veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, aplikuje s porozuměním termodynamické zákony při řešení konkrétních fyzikálních úloh

Klíčová slova: teplo, elektrická energie, Jouleův jev, elektrický proud, elektrický odpor

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

střední

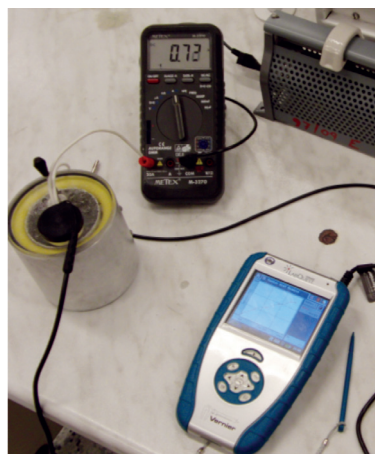
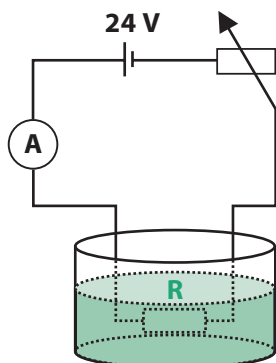
Úkol Na základě experimentů vyvodte matematický vztah pro Jouleovo teplo.

Pomůcky Směšovací kalorimetr, rezistor o odporu $10\ \Omega$, stejnosměrný zdroj $24\ \text{V}$, reostat $105\ \Omega$ ($I_{\text{max}} = 1,6\ \text{A}$), multimetr, bodové teplotní čidlo Vernier, digitální váha nebo odměrný válec, vodiče, počítač, Logger Pro, Excel

Teoretický úvod Prochází-li elektrický proud jakoukoli součástí, tato součástka se zahřívá. Například vlákno žárovky se průchodem proudu rozžhává natolik, že začne svítit, topná spirála vaříče díky Jouleovu jevu vyvine tolik tepla, že přivede ohřívanou vodu k varu atd. Naopak Jouleův jev je nežádoucí u elektrických zdrojů, motorů, transformátorů a dalších elektrospotřebičů, kde nejenže způsobuje tepelné ztráty, ale může vést k přehřátí a poškození přístrojů.

Budeme zkoumat, jak závisí množství uvolněného tepla Q na elektrickém proudu I .

Schéma zapojení



Vypracování: Pomocí reostatu nastavujeme hodnotu proudu v obvodu.

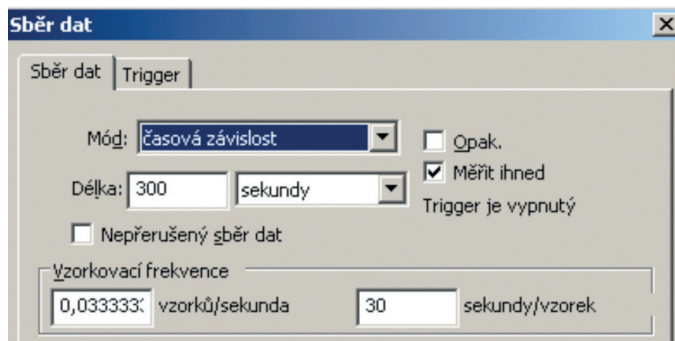
Teplo měříme v půlminutových intervalech po dobu 5 minut teplotu θ vody v kalorimetru. Teplo vypočítáme ze vztahu $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$, kde $c = 4186\ \text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ je měrná tepelná kapacita vody. Měření provedeme při konstantním proudu $0,5\ \text{A}$, potom $0,9\ \text{A}$, $1,2\ \text{A}$ a $1,5\ \text{A}$. Během měření je třeba vodu v kalorimetru míchat, aby nedocházelo k nerovnoměrnému prohřívání.

Jouleův jev

Provedení Změřte odpor rezistoru: $R = \dots\dots\dots$

Do kalorimetru nalijte cca 60 ml vody: $m = \dots\dots\dots$

Provedte nastavení měření podle obrázku.



Nastavte proud $I = 0,5$ A a změřte závislost teploty na čase. Získanou tabulku hodnot zkopírujte do Excelu a dopočítejte zbývající sloupce, tj. změnu teploty $\Delta\theta$ a uvolněné teplo Q .

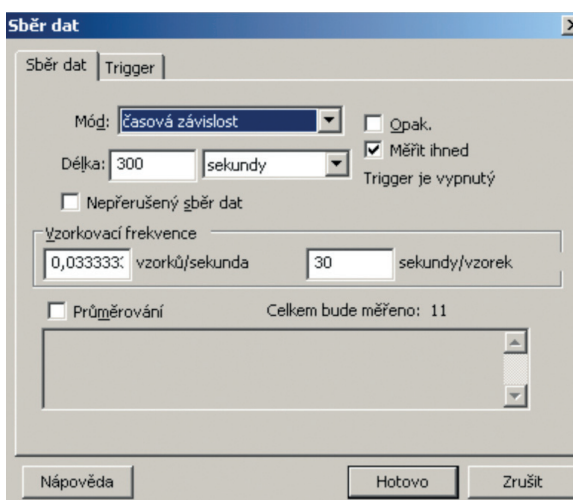
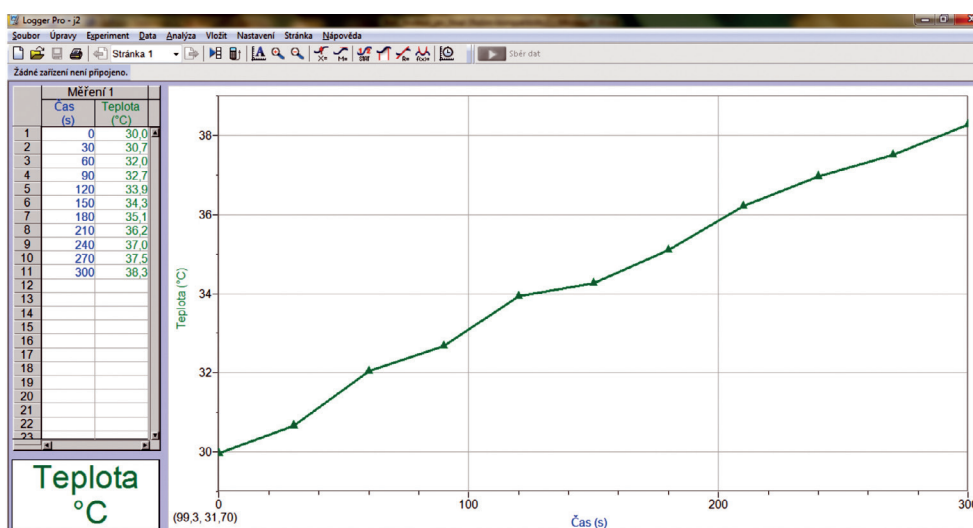
t (s)	teplota θ (°C)	$\Delta\theta$ (°C)	Q (J)
0			
30			
60			
...			
300			

Měření opakujte pro proudy 0,9 A, 1,2 A a 1,5 A. Před každým měřením vyměňte vodu za studenou.

- Zpracování**
- Do jediného grafu zobrazte závislosti tepla Q na čase t pro čtyři proudy. O jakou matematickou závislost se jedná? Zapište ji a zobrazte rovnice získaných přímk. Na čem závisí jejich sklon?
 - Sestrojte graf závislosti směrnice přímky k na příslušném proudu I . O jakou matematickou závislost se jedná? Zapište ji a zobrazte rovnici získané křivky. Porovnejte velikost konstanty s vlastností rezistoru. (Pokud si nevíte rady, může vám napovědět graf funkce $k = f(I^2)$.)
 - Na základě výsledku a) a b) objevte vzorec pro výpočet uvolněného tepla Q v závislosti na I a t

Elektrická energie
Jouleův jev
Vojtěch Beneš

Popis nastavení Bodové teplotní čidlo zapojíme do LabQuestu a ten do USB portu počítače. Po spuštění programu Logger Pro je čidlo automaticky detekováno a je připraveno k měření. Provedeme nastavení (**Experiment** → **Sběr dat**) podle obrázku a zahájíme měření kliknutím na ikonu  **Sběr dat**. Počítač do tabulky vypíše změřené hodnoty a vykreslí graf.

Tabulku hodnot označíme myší, zkopírujeme do schránky a vložíme do Excelu.

Vyměníme vodu v kalorimetru a měření spustíme opětovným kliknutím na ikonu  **Sběr dat**.



Jouleův jev

Ukázka výsledků $R = 10,6 \, \Omega$, $m = 60 \, \text{g}$

Proud $I = 0,5 \, \text{A}$

$t \, (\text{s})$	teplota $\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$Q \, (\text{J})$
0	24,15	0	0
30	24,29	0,14	35
60	24,73	0,58	145
90	25,01	0,86	215
120	25,26	1,11	279
150	25,61	1,46	366
180	26,69	2,54	639
210	26,09	1,94	488
240	26,35	2,2	552
270	26,72	2,57	644
300	26,76	2,61	656

Proud $I = 0,9 \, \text{A}$

$t \, (\text{s})$	teplota $\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$Q \, (\text{J})$
0	29,96	0	0
30	30,66	0,7	176
60	32,05	2,08	523
90	32,68	2,72	682
120	33,94	3,97	998
150	34,27	4,31	1081
180	35,11	5,14	1292
210	36,22	6,25	1571
240	36,97	7,01	1760
270	37,51	7,55	1895
300	38,27	8,31	2087

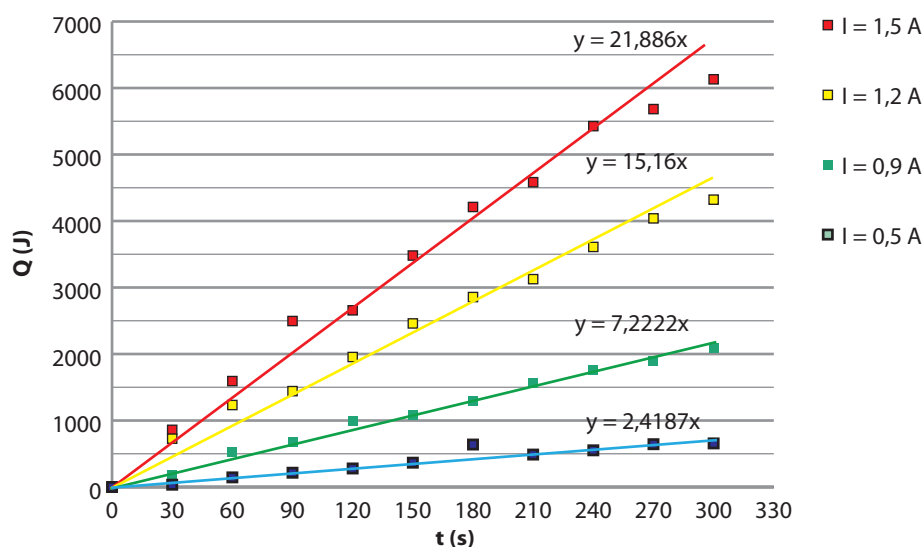
Proud $I = 1,2 \, \text{A}$

$t \, (\text{s})$	teplota $\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$Q \, (\text{J})$
0	22,09	0	0
30	24,98	2,9	727
60	27	4,91	1233
90	27,83	5,74	1442
120	29,87	7,78	1955
150	31,88	9,79	2460
180	33,46	11,37	2857
210	34,53	12,45	3126
240	36,46	14,37	3610
270	38,17	16,09	4040
300	39,29	17,2	4321

Proud $I = 1,5 \, \text{A}$

$t \, (\text{s})$	teplota $\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$Q \, (\text{J})$
0	22,55	0	0
30	25,98	3,43	860
60	28,89	6,34	1593
90	32,49	9,94	2496
120	33,13	10,58	2657
150	36,41	13,86	3481
180	39,32	16,76	4211
210	40,81	18,25	4584
240	44,16	21,61	5427
270	45,18	22,63	5683
300	46,96	24,41	6131

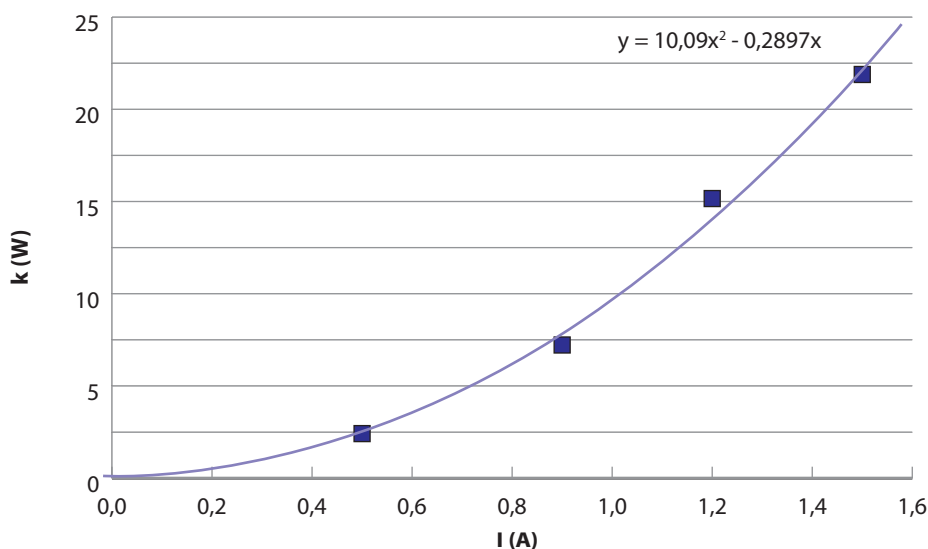
**Teplo
v závislosti
na čase**



Z grafu vyplývá, že pro všechny proudy je dodané teplo přímo úměrné času, můžeme tedy psát $Q = k \cdot t$, kde k je konstanta závisající na proudu (je to směrnice přímk). Proložením přímkovými závislostmi získáme hodnoty k .

k (W)	2,4187	7,2222	15,16	21,886
I (A)	0,5	0,9	1,2	1,5

**Závislost
směrnice
přímek
na proudu**



Z grafu plyne, že k je kvadratickou funkcí proudu (grafem je parabola, která prochází počátkem). Můžeme přibližně psát $k = C \cdot I^2$, kde C je konstanta.

Experimentálně vychází $C = 10,1 \Omega$, což je hodnota identifikovatelná s jedinou elektrickou konstantou měřené soustavy – odporem rezistoru $R = 10,6 \Omega$.

Závěr Může tedy vyvodit

$Q = k \cdot t = C \cdot I^2 \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t$, což je výsledný vztah pro výpočet Jouleova tepla.

Poznámka Místo grafu $k = f(I)$ můžeme sestavit přímo graf $k = f(I^2)$. Tento krok není zcela intuitivní a bez předběžného učitelova navedení by se při objevování mohl jevit jako umělý. Naopak bychom tím lépe prokázali, že $k = C \cdot I^2$. Každopádně je třeba přiznat, že čtyři body v grafu nestačí k pečlivému zjišťování průběhu funkce.

Negativní – tepelné úniky

vlivy – tepelná kapacita kalorimetru a teploměru

na měření – nerovnoměrné prohřívání vody

– vodivost vody snižuje celkový odpor (bylo by možné ošetřit zaizolováním přírodních vodičů k rezistoru, resp. jejich přelakováním; jinak doporučujeme změřit odpor rezistoru až ve chvíli, kdy je ponořen ve vodě)

Při použití teploměru Go!Temp Vernier namísto bodového teplotního čidla dostaneme experimentální teploty méně „zašuměné“ (menší vliv nerovnoměrného prohřívání vody), ale výsledný odpor bude vzdálenější změřené hodnotě (teploměr má výrazně větší teplotní setrvačnost a může se stát, že po prvních 30 s měření Go!Temp nezaregistruje zvýšení teploty). Důrazně upozorňujeme, že při použití bodového teplotního čidla je třeba vodu míchat.