zajęcia otwarte z fizyki

CIEPŁO JOULE'A

Instrukcja dla uczniów szkół ponadpodstawowych

WSTĘP

Energia może przyjmować różne formy i przechodzić z jednej w drugą na wiele sposobów. Jedną z takich form przekazu energii jest ciepło. Zazwyczaj, ciepło towarzyszy przemianom energii z jednej formy w drugą, np. w samochodzie - energia chemiczna magazynowana przez paliwo zmienia się w energię mechaniczną samochodu, przy okazji produkując energię w postaci ciepła, które w tym konkretnym przypadku nie jest pożądane. Dla kontrastu, w czajniku, energia elektryczna zamieniana jest w ciepło celowo. I również w tym przypadku, występują straty energii - np. na ogrzanie czajnika, które z punktu widzenia użytkownika jest zupełnie niepotrzebne.

Iloczyn pożądanej energii uzyskanej do energii zużytej nazywany jest sprawnością, oznaczaną zazwyczaj grecką literą η (czyt.: "eta"). Przyjmuje ona wartości z przedziału <0,1), gdzie wartość 1 oznaczałaby maszynę idealną – w praktyce niemożliwą do zbudowania. Wyrażając tę wielkość wzorem, uzyskujemy

$$\eta = \frac{E_{uzyskana}}{E_{wprowadzona}}$$

Łatwym do zaobserwowania zjawiskiem konwersji energii jest wspomniane wcześniej podgrzewanie wody przez czajnik elektryczny. Prąd przepływający przez metalową spiralę wykonuje pracę W, która jest absorbowana przez otaczającą spiralę wodę w postaci ciepła. Wprowadzona do układu energia elektryczna jest równa pracy prądu i wyrażona jest wzorem

$$W = U \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t$$

gdzie U oznacza przyłożone napięcie, I to natężenie przepływającego prądu, R - opór przewodnika, a t - czas przepływu prądu.

Woda, która pobiera ciepło Q, reaguje na tę zmianę energii podnosząc swoją temperaturę, zgodnie ze wzorem

$$Q = m \cdot c_w \cdot \Delta T$$

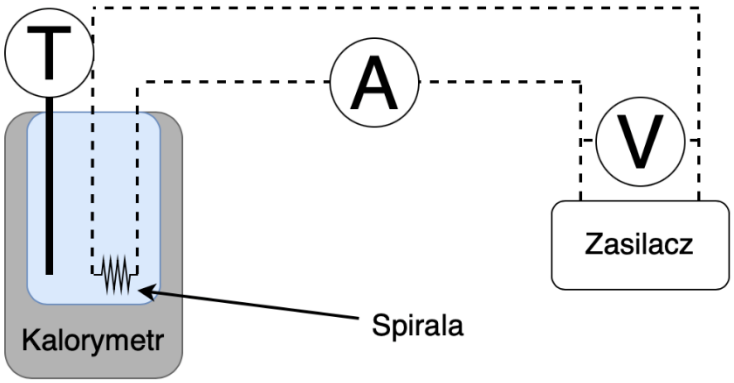
gdzie m to jej masa, c_w to ciepło właściwe, charakterystyczne dla każdej substancji, a ΔT to zmiana temperatury.

PRZEBIEG EKSPERYMENTU

Eksperyment będzie polegał na wykorzystaniu energii elektrycznej do podgrzewania wody. Podczas jego przebiegu, badana będzie sprawność tej przemiany energetycznej. W tym celu, do izolowanego termicznie naczynia zwanego kalorymetrem (łac. *calor* - "ciepło", gr. *metron*

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

- “miara”), włożona zostanie metalowa spirala (grzałka), przez którą przepuszczony zostanie prąd elektryczny pochodzący z zasilacza, którego wartości napięcia i natężenia będzie można odczytać z podłączonych do układu mierników. Odczyty te pozwolą na wyznaczenie mocy prądu elektrycznego, która wydziela się na spirali. W kalorymetrze zanurzony zostanie termometr pozwalający na kontrolowanie zmiany temperatury wody, a co za tym idzie - pobranego przez nią ciepła.



Chcąc wyznaczyć sprawność badanej przemiany energetycznej, skorzystajmy ze wzoru na poprzedniej stronie. Naturalnie, energia uzyskana to ciepło, a wprowadzona - jest pracą prądu elektrycznego, zatem po podstawieniu do wzoru otrzymujemy zależność

$$\eta = \frac{Q}{U \cdot I \cdot t}$$

Należy pamiętać, że nie tylko woda pobiera ciepło. Jest ono również wykorzystane do podniesienia temperatury spirali grzewczej oraz wewnętrznego naczynia kalorymetru. Z uwagi na różne materiały, z których wykonane są te elementy, a co za tym idzie - różne ciepła właściwe, wzór na pobrane ciepło przyjmuje postać

$$Q = (m_w c_w + m_k c_k + m_s c_s) \cdot \Delta T$$

gdzie indeksy oznaczają poszczególne elementy (w - woda, k - kalorymetr, s - spirala).

Po zestawieniu dwóch powyższych wzorów otrzymujemy zależność

$$\Delta T = \frac{\eta U I}{m_w c_w + m_k c_k + m_s c_s} t$$

Widzimy zatem, że zależność zmiany temperatury od czasu, dla układu wykorzystującego stałe napięcie, dana jest funkcją liniową postaci $y = ax$, gdzie $y = \Delta T$, $x = t$ oraz $a = \frac{\eta U I}{m_w c_w + m_k c_k + m_s c_s}$.

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne
Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

Do dyspozycji masz:

- kalorymetr z grzałką, mieszadłem i termometrem,
- zasilacz
- wodę destylowaną,
- wagę.

Podczas pomiarów, zmierzony zostanie czas podgrzewania wody w kalorymetrze przy podłączeniu spirali w różnych konfiguracjach (krótka, długa, połączone szeregowo). Dla każdego układu zmierzymy zmianę temperatury w konkretnych odstępach czasu (np. co 30 sekund) aż do momentu, gdy osiągniemy temperaturę o 10 stopni wyższą, niż temperatura początkowa.

Przed rozpoczęciem pomiarów temperatury wyznacz masę kalorymetru i wpisz ją do tabeli poniżej

Kalorymetr		
c_k [J/g*K]	m [g]	$c_k \cdot m$ [J/K]
0,903		

W tabeli poniżej należy umieścić masę wody użytej w eksperymencie z wykorzystaniem danego układu spirali. Uzupełnij wartość iloczynu tych dwóch wielkości.

Układ	Spirala			Woda		
	c_s [J/g·K]	m [g]	$c_s \cdot m$ [J/K]	c_w [J/g·K]	m [g]	$c_w \cdot m$ [J/K]
Krótka	**0,400**	**0,036**		**4,180**		
Długa		**0,156**				
Połączone		**0,192**				

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

Pomiary wykonamy dla 3 różnych zestawów. Zastanów się, czy istotne jest, by za każdym razem temperatura początkowa była taka sama i na co ewentualnie może mieć ona wpływ. Wyniki pomiarów zanotuj w tabeli poniżej.

Krótka				**Długa**				**Połączone**			
$I_k =$		$U_k =$		$I_d =$		$U_d =$		$I_p =$		$U_p =$	
t [s]	T [˚C]	t [s]	T [˚C]	t [s]	T [˚C]	t [s]	T [˚C]	t [s]	T [˚C]	t [s]	T [˚C]

Dla każdej serii pomiarów wykonaj wykres na papierze milimetrowym zależności $T(t)$. Do zaznaczonych punktów dopasuj zależność liniową postaci $y = ax$.

Zgodnie ze wcześniejszymi wyprowadzeniami, sprawność będzie możliwa do obliczenia ze wzoru

$$\eta = \frac{a}{UI} \cdot (m_w c_w + m_k c_k + m_s c_s)$$

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

Obliczenia wstaw do poniższej tabeli. Zwróć uwagę na jednostki poszczególnych wielkości

	Krótka	**Długa**	**Połączone**
a [ ]			
$\frac{a}{UI}$ [ ]			
$m_w c_w + m_k c_k + m_s c_s$ [ ]			
η_i			

ANALIZA NIEPEWNOŚCI POMIAROWYCH

Wyznaczenie niepewności pomiarowych jest niemal tak samo ważne, jak wyznaczenie samej wielkości. Jak widzimy, sprawność wyliczona jest z użyciem kilku zmiennych, z których każda z nich znana jest z pewną dokładnością. Przyjmijmy, że ciepła właściwe jako wielkości tablicowe znane są dokładnie. Masy wyznaczamy dzięki wadze, której dokładność pomiaru wynosi $\Delta m =$ 0,01 g. Przy masach rzędu 100 g, jest to ok. 0,1‰, a więc i tę wielkość uznajemy za wyznaczoną dokładnie.

Na wyznaczenie współczynnika kierunkowego a wpływ ma bardzo wiele rzeczy. Począwszy od dokładnego zmierzenia punktów pomiarowych, poprzez umiejętne odwzorowanie ich na papierze milimetrowym, aż do ręcznego dopasowania prostej do danych. Oszacuj, jaki będzie rozsądny poziom niepewności dla takiego dopasowania (np. wyrażony w procentach).

Do obliczania niepewności I oraz U wykorzystaj instrukcję używanego miernika uniwersalnego. Znajdziesz tam instrukcję, w jaki sposób wyznaczyć niepewność uzyskanego pomiaru w zależności od zakresu.

Ostatecznie, niepewność pomiarowa sprawności wyliczona będzie metodą propagacji niepewności pomiarowych. Zgodnie z tą metodą, niepewność pomiaru to pierwiastek z sumy kwadratów niepewności składowych i w naszym przypadku dana jest wzorem

$$\Delta\eta = \eta\sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2}$$

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

Wyznaczone wartości wpisz do tabeli poniżej.

	Krótka	**Długa**	**Połączone**
Δa [ ]			
$\frac{\Delta a}{a}$			
ΔI [ ]			
$\frac{\Delta I}{I}$			
ΔU [ ]			
$\frac{\Delta U}{U}$			
$\Delta\eta_i$			
u_i			
$\eta_{śr} =$		$\Delta\eta_{śr} =$	

Po obliczeniu wartości sprawności wraz z niepewnościami dla trzech różnych napięć przyłożonych do spirali, należy wyznaczyć średnią wartość sprawności. Dla pomiarów tej samej wielkości obarczonych różnymi niepewnościami, wyznaczyć można średnią ważoną, zgodnie ze wzorem

$$\eta_{śr} = \frac{\eta_1 u_1 + \eta_2 u_2 + \eta_3 u_3}{u_1 + u_2 + u_3}$$

a jej niepewność

$$\Delta\eta_{śr} = \frac{1}{\sqrt{u_1 + u_2 + u_3}}$$

Wartości u to wagi pomiaru, wyznaczone zgodnie ze wzorem

$$u_i = \left(\frac{1}{\Delta\eta_i}\right)^2$$

Opracowanie:
A. Spyra, A. Drabińska

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa