

# LVII Olimpiada Fizyczna (2007/2008)

## Zadanie doświadczalne

Masz do dyspozycji:

- baterię słoneczną,
- sześć różnych oporników o oporach  $100\Omega$ ,  $500\Omega$ ,  $1000\Omega$ ,  $2200\Omega$ ,  $3000\Omega$ ,  $4300\Omega$  określonych z dokładnością 5%,
- woltomierz (o oporze wewnętrznym większym niż  $1\text{ M}\Omega$ ),
- żarówkę o napięciu znamionowym 12V i mocy znamionowej  $(5,0\pm 0,2)\text{W}$ ,
- zasilacz prądu stałego umożliwiający zasilanie żarówki napięciem znamionowym,
- linijkę,
- przewody elektryczne, zaciski, taśmę klejącą itp. elementy umożliwiające zestawienie układu eksperymentalnego,
- statyw z poprzeczką umożliwiający zamocowanie żarówki na odpowiedniej wysokości,
- papier milimetrowy.

Baterię słoneczną połóż na stole aktywną powierzchnią do góry (patrz rysunek) i oświetl ją światłem żarówki zasilanej napięciem znamionowym. Żarówka powinna być umieszczona dokładnie nad centralną częścią aktywnej powierzchni baterii słonecznej. Odległość pomiędzy aktywną powierzchnią baterii i włóknem żarówki powinna wynosić 12 cm.

1) Wyznacz zależność napięcia pomiędzy biegunami baterii słonecznej od natężenia prądu płynącego przez baterię pod wpływem oświetlenia. Czy oświetloną baterię słoneczną można uważać za źródło napięcia o określonych wartościach siły elektromotorycznej  $E$  i oporu wewnętrznego  $R_w$ ?

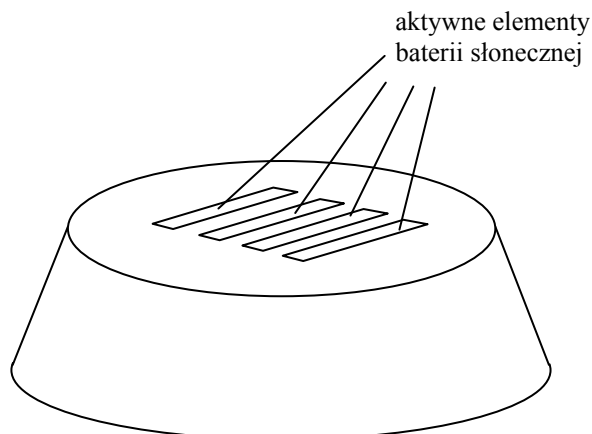
2) Wyznacz maksymalną sprawność baterii słonecznej zdefiniowaną jako stosunek mocy wydzielanej na oporniku podłączonym do biegunów baterii, do mocy promieniowania elektromagnetycznego padającego na powierzchnię aktywną baterii słonecznej.

Przyjmij, że:

- cała energia elektryczna dostarczana do żarówki zasilanej napięciem znamionowym zamieniana jest na promieniowanie elektromagnetyczne;
- żarówka emituje promieniowanie elektromagnetyczne izotropowo;
- moc promieniowania elektromagnetycznego docierającego do baterii słonecznej z otoczenia jest znikomo mała w porównaniu z mocą promieniowania docierającego z żarówki.

Uwagi:

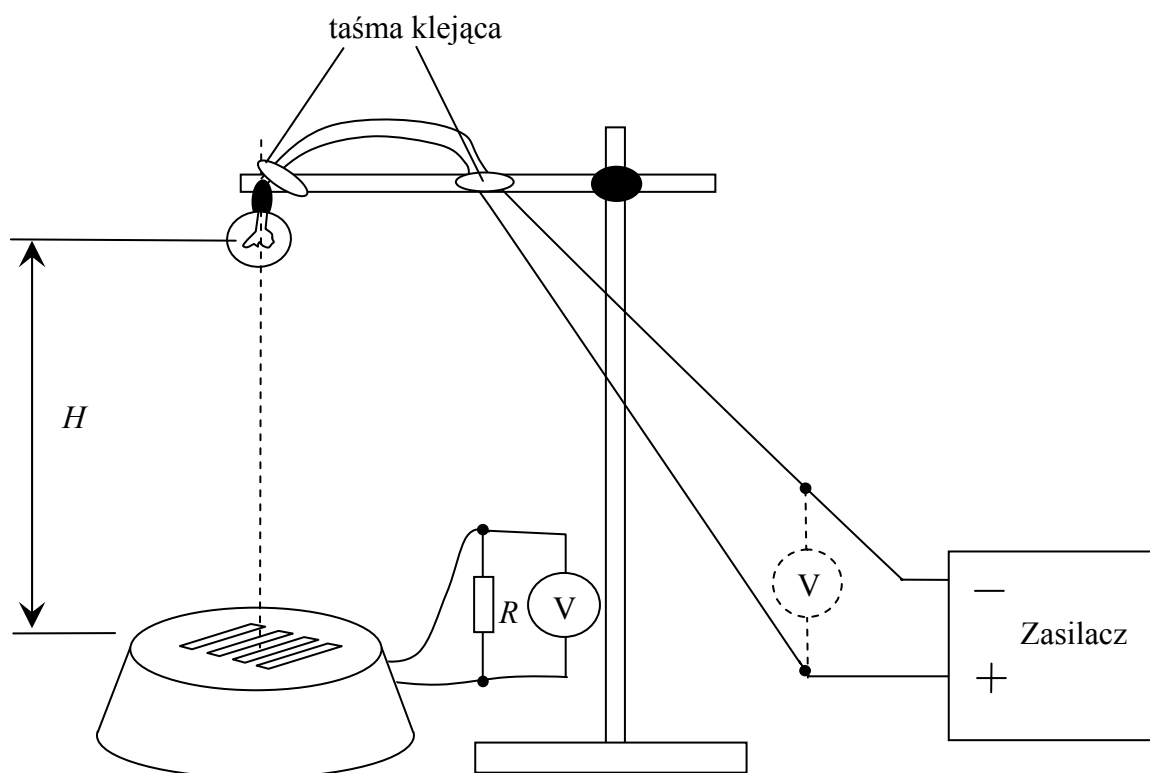
1) Powierzchnię aktywną baterii słonecznej stanowią cztery prostokątne paski o niebieskawym zabarwieniu, widoczne na tle czarnej obudowy. Są to złącza półprzewodnikowe stanowiące aktywne elementy baterii słonecznej.



2) Elementy obwodu elektrycznego (oporniki, baterię słoneczną itp.) możesz łączyć skręcając ich końcówki.

## Rozwiązanie

Badanie własności baterii słonecznej można wykonać w układzie przedstawionym na rys. 1. Postępując zgodnie z opisem zawartym w treści zadania, baterię należy umieścić dokładnie pod żarówką. Można to zrobić patrząc na układ z różnych stron i odpowiednio przesuwać elementy względem siebie. Przy dobieraniu wzajemnego położenia żarówki i baterii przydatna może być linijka ustawiana pionowo za układem. Regulując wysokość poprzeczki na statywie należy żarówkę umieścić w odległości 12 cm od powierzchni aktywnej baterii słonecznej. Zgodnie z poleceniem żarówkę należy podłączyć do źródła napięcia. Wartość napięcia zasilania żarówki można sprawdzić woltomierzem i w razie konieczności doregulować zasilacz.



Pierwsza część zadania dotyczy porównania własności baterii słonecznej ze źródłem napięcia o ustalonej sile elektromotorycznej i ustalonym oporze wewnętrznym. Żeby ją wykonać należy zbadać doświadczalnie relację pomiędzy napięciem na biegunach oświetlonej baterii i natężeniem płynącego przez nią prądu. Zmianę natężenia prądu generowanego w baterii można uzyskać podłączając do baterii oporniki o różnych wartościach. Gdyby baterię słoneczną można było traktować jako źródło napięcia o określonym oporze wewnętrznym  $R_w$  i pewnej stałej sile elektromotorycznej  $E$  to po podłączeniu do niej opornika o oporze  $R$  powinien być spełniony związek

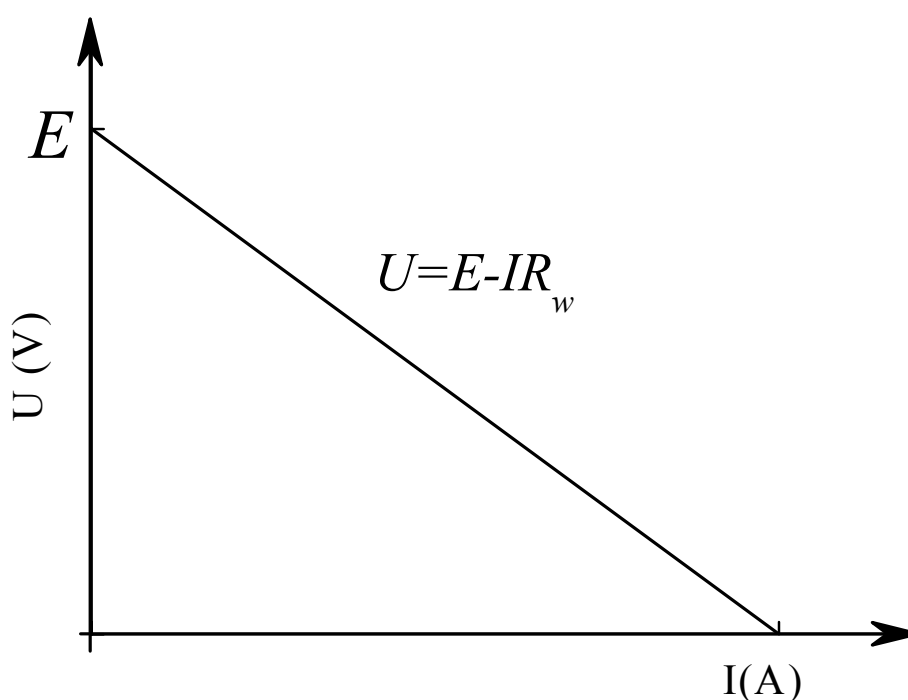
$$U = E - IR_w, \quad (1)$$

gdzie  $U$  – napięcie na zaciskach baterii,  $E$  – siła elektromotoryczna,  $I$  – natężenie prądu płynącego przez baterię. Napięcie  $U$  można zmierzyć bezpośrednio na zaciskach baterii połączonej z oporem  $R$ . Ponieważ opór wewnętrzny woltomierza jest znacznie większy od

oporu oporników dostępnych w zestawie pomiarowym, to znając napięcie  $U$  możemy od razu wyznaczyć natężenie prądu  $I$  płynącego przez baterię:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (2)$$

Ze związku (1) wynika, że napięcie na zaciskach źródła o ustalonej sile elektromotorycznej  $E$  i stałym oporze wewnętrznym  $R_w$  powinno być liniową funkcją natężenia prądu  $I$  płynącego w obwodzie. Wykresem tej zależności jest linia prosta (rys. 2). Dla natężenia prądu  $I$  dążącego do zera wartość napięcia powinna dążyć do wartości siły elektromotorycznej  $E$ , natomiast współczynnik kierunkowy prostej powinien być określony przez wartość oporu wewnętrznego źródła  $R_w$ .



Rys. 2

W zestawie pomiarowym jest sześć oporników o wartościach odpowiednio  $100 \Omega$ ,  $500 \Omega$ ,  $1000 \Omega$ ,  $2200 \Omega$ ,  $3000 \Omega$ ,  $4300 \Omega$ . Wykorzystując odpowiednie połączenia tych oporów, można uzyskać wypadkowy opór obciążenia baterii słonecznej w zakresie od ok.  $70 \Omega$  do  $11100 \Omega$ . (Uzupełniającym pomiarem może być podłączenie do baterii samego woltomierza, którego opór wewnętrzny jest bliski  $1 M\Omega$ ).

Wyniki pomiarów wykonanych dla wszystkich dostępnych oporów oraz ich kombinacji zebrano w tabeli 1. Korzystając z uzyskanych danych eksperymentalnych wykonano wykres zależności napięcia baterii od natężenia przepływającego przez nią prądu (rys. 3). Przyjmując, że napięcie na opornikach mierzone jest z dokładnością do  $1 \text{ mV}$ , głównym źródłem niepewności pomiarowej jest niepewność wyznaczenia wartości oporu użytych w doświadczeniu oporników. W treści zadania podano, że oporniki mają tolerancję  $5\%$ , zatem względna niepewność wyznaczenia natężenia prądu płynącego w obwodzie jest zbliżona do tej wartości (względna niepewność wyznaczenia napięcia na baterii jest znacznie

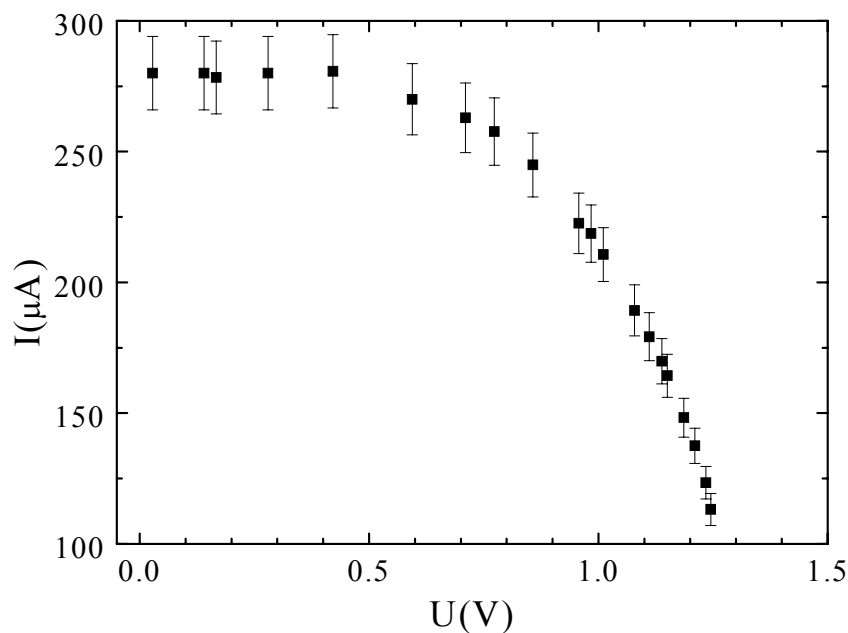
mniejsza). Zgodnie z tym rozumowaniem wartości bezwzględne niepewności pomiarowej natężenia prądu, zaznaczone na rys. 3, stanowią 5% jego wartości.

Tabela 1

Lp.	R( $\Omega$ )	U (V)	I ( $\mu$ A)	P <sub>b</sub> ( $\mu$ W)
1	100	0,028	280	7.9
2	500	0,140	280	40
3	600	0,167	278	46
4	1000	0,280	280	78
5	1500	0,421	281	118
6	2200	0,594	270	160
7	2700	0,710	263	187
8	3000	0,773	258	199
10	3500	0,857	245	210
11	4300	0,957	222	213
12	4500	0,984	219	215
13	4800	1,011	211	213
13	5700	1,079	189	204
14	6200	1,111	179	199
15	6700	1,138	170	193
16	7000	1,150	164	189
17	8000	1,186	148	176
18	8800	1,210	137	166
19	10000	1,234	123	152
20	11000	1,245	113	141

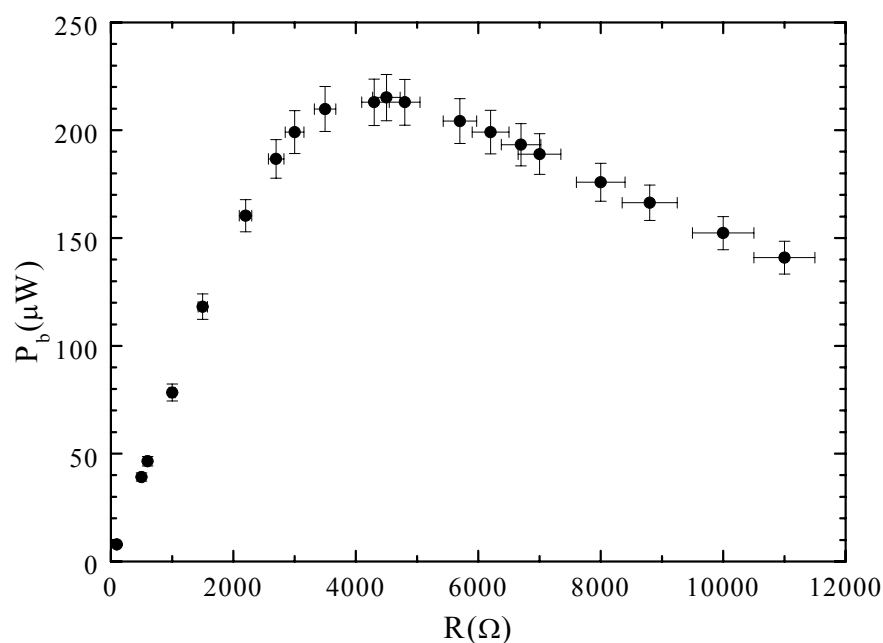
Z wykresu przedstawionego na rys. 3 wynika, że zależność napięcia na zaciskach baterii słonecznej nie jest funkcją liniową przepływającego przez nią prądu. Zatem badanej baterii słonecznej nie można traktować jako źródła napięcia o stałym oporze wewnętrznym. Warto zwrócić uwagę, że wykonując pomiary tylko dla sześciu oporników dostępnych w zestawie pomiarowym, informacja o zależności napięcia na zaciskach baterii od prądu przez nią płynącego byłaby ograniczona, jednak pozwoliłaby poprawnie rozwiązać pierwszą część zadania. Mimo to, ponieważ pierwsza część punktu 1 zadania mówi o wyznaczeniu zależności napięcia od prądu, nie precyzując ani zakresu zmian prądu, ani liczby punktów pomiarowych, to wyznaczenie tej zależności w szerszym zakresie, wymagające łączenia (szeregowego, ew. równoległego) oporników, jest dodatkowo punktowane. W przypadku drugiej części zadania ograniczenie się tylko do sześciu oporów jest niewystarczające.

Wyznaczenie maksymalnej sprawności baterii słonecznej, będące przedmiotem drugiej części zadania, wymaga wyznaczenia zależności mocy  $P_b$  wydzielanej na oporniku podłączonym do baterii od wartości tego oporu  $R$ . Alternatywnie można też zbadać zależność wydzielanej na oporniku mocy od napięcia na zaciskach baterii lub prądu przepływającego przez baterię. Wszystkie te zależności można uzyskać korzystając z danych zawartych w tabeli 1.



Rys. 3

W trzeciej kolumnie tabeli 1 umieszczone są wyliczone wartości mocy  $P_b = UI$  wydzielanej na różnych oporach podłączanych do baterii. Na rys. 4. przedstawiono zależność mocy  $P_b$  od wartości oporu  $R$  obciążającego baterię. Niepewność wyznaczenia mocy  $P_b$  (zaznaczona na wykresie) wynika głównie z niepewności wyznaczenia wartości oporów  $R$  (5%).



Rys. 4

Z rys. 4 wynika, że maksymalna moc jaką udało się wydzielić na oporniku dołączonym do baterii wynosi  $P_{max}=(215\pm 10)\mu\text{W}$ . Przy założeniu, że żarówka promieniuje energię izotropowo, a odległość  $H=12\text{cm}$  elementu aktywnego od żarówki można uznać za znacznie większą niż rozmiary obszaru aktywnego baterii (ok. 3 cm), to można przyjąć że moc padająca na obszar aktywny jest proporcjonalna do kąta bryłowego  $\omega=S/4\pi H^2$ , gdzie  $S$  –

powierzchnia aktywnego obszaru baterii. Zatem moc  $P_p$  światła padającego na element aktywny baterii wyniesie

$$P_p = \frac{S}{4\pi H^2} P_n, \quad (5)$$

gdzie  $P_n$  – nominalna moc elektryczna żarówki. Powierzchnię elementu aktywnego baterii można wyznaczyć mierząc linijką wymiary pasków aktywnych. Dla badanej baterii wyniosła ona  $S = (2,8 \pm 0,2) \text{ cm}^2$ . Zgodnie z treścią zadania przy zasilaniu napięciem znamionowym moc wydzielona na żarówce wynosiła  $P_n = (5,0 \pm 0,2) \text{ W}$ . Po podstawieniu tej wartości do wzoru (5), przy odległości bateria-żarówka  $H = 12 \text{ cm}$  otrzymujemy moc padającą na aktywny element baterii  $P_p = (11 \pm 2) \text{ mW}$ . Stąd sprawność układu  $\eta = P_p/P_{max} = (2,8 \pm 0,4)\%$ .

Na niepewność wyniku końcowego składa się szereg czynników. Główne z nich to niepewność wyznaczenia wartości oporu obciążającego, wielkości powierzchni aktywnej baterii, odległości bateria-żarówka oraz mocy nominalnej żarówki. Ważnym czynnikiem wpływającym na wynik końcowy jest też staranność wykonywania połączeń pomiędzy opornikami (skręcanie końcówek). Warto zwrócić uwagę, iż do poprawnego rozwiązania zadania konieczne jest zbadanie zależności mocy od obciążenia  $R$  dla możliwie szerokiego zakresu oporów (większego niż  $100\Omega$ - $4,3\text{k}\Omega$ ), przy możliwie dużym zagęszczeniu punktów pomiarowych w obszarze maksimum mocy. Inaczej trudno jest stwierdzić, czy maksymalna moc (wyznaczona dla badanej baterii) rzeczywiście jest osiągnięta dla oporów obciążających bliskich wartości  $(4,5 \pm 0,5) \text{ k}\Omega$ .

Proponowana punktacja:

- 1) Pomysł eksperymentu umożliwiającego porównanie własności źródła z określoną siłą elektromotoryczną  $E$  i ustalonym oporem  $R$  z własnościami baterii słonecznej (wzór (1) – 1pkt, metoda wyznaczania prądu w obwodzie, wzór (2) - 1pkt, poprawny wniosek dotyczący zależności  $U(I)$  - 1pkt) w sumie do 3 pkt.
- 2) Zestawienie układu pomiarowego (1pkt) i wykonanie pomiarów umożliwiających zbadanie zależności  $U(I)$  dla baterii - 3 pkt. za pomiary dla sześciu oporów  $R < 4,3\text{k}\Omega$ , dodatkowy 1 pkt za wykonanie pomiarów dla  $R > 4,3\text{k}\Omega$ , w sumie do 5 pkt.
- 3) Wykonanie odpowiedniego wykresu lub przeprowadzenie równoważnej analizy, uwzględniającej niepewności pomiarowe i pozwalającej stwierdzić, że zależność  $U(I)$  dla baterii słonecznej jest inna niż dla źródła napięcia o określonej sile elektromotorycznej i ustalonym oporze wewnętrznym do 2 pkt.
- 4) Zbadanie mocy elektrycznej wytwarzanej przez baterię (dla odpowiednio dużego zakresu oporu obciążającego baterię) umożliwiające znalezienie maksimum mocy wydzielającej się na oporniku (wyznaczenie mocy dla  $R < 4,3\text{k}\Omega$  - 1 pkt, dodatkowe pomiary dla  $R > 4,3\text{k}\Omega$  - 2 pkt., za wykorzystanie różnych połączeń oporników umożliwiających zagęszczenie pomiarów w okolicy maksimum mocy - 1 pkt) do 4 pkt.
- 5) Znalezienie maksymalnej wartości mocy wydzielającej się na oporniku (wykonanie wykresu zależności mocy od oporu  $R$  (względnie  $I$  lub  $U$ ) lub przeprowadzenie równoważnej analizy umożliwiającej wyznaczenie maksimum mocy (wykres 2 pkt., uwzględnienie niepewności pomiarowych 1 pkt) w sumie do 3 pkt.
- 6) Wyznaczenie mocy światła padającego na element aktywny oraz wyznaczenie sprawności baterii słonecznej 2pkt.
- 7) Dyskusja głównych źródeł niepewności pomiarowej sprawności 1 pkt.