zajęcia otwarte z fizyki

CO SIEDZI W BATERII

Instrukcja dla uczniów szkół ponadpodstawowych

WSTĘP

Celem ćwiczenia jest własnoręczne wykonanie ogniw elektrycznych i przetestowanie ich działania. Wyznaczymy wartość dwóch parametrów charakteryzujących baterię AAA: siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego baterii.

Ogniwo galwaniczne to układ złożony z dwóch elektrod zanurzonych w elektrolicie. Reakcje chemiczne zachodzące między elektrodami a elektrolitem są źródłem różnicy potencjału pomiędzy elektrodami. Koniecznym jest zastosowanie dwóch elektrod: anody i katody. Na anodzie zachodzi proces utleniania pierwiastka, zaś na katodzie zachodzi reakcja redukcji. Ogniwa, które kupujesz w sklepach wykorzystują jako elektrolity substancje chemiczne niekorzystne dla środowiska. Możliwe jest wykonanie „eko-ogniwa" z rzeczy które znajdziesz w każdym domu. Elektrody wykonamy z gwoździa ocynkowanego oraz miedzianej pięciogroszówki. Natomiast za elektrolit posłuży Ci sok z owoców bądź warzyw. Bardzo dobrze sprawdzają się cytryny, jabłka, ogórki bądź ziemniaki. Ważne, aby owoc bądź warzywo zawierało elektrolit, czyli substancję zawierającą jony za pomocą których przewodzi on prąd elektryczny.

Rozpatrzmy szczegółowiej działanie ogniwa na przykładzie wspomnianego eko-ogniwa. Rolę elektrolitu pełni w nim sok z cytryny. Na ogniwie z cynku może zajść proces utleniania cynku, w wyniku którego oddaje on elektrony. Z tego powodu cynk pełni rolę anody. Powstałe w ten sposób jony cynku przechodzą do soku z cytryny:

$$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-} \qquad (1)$$

Z kolei na miedzianej monecie może zajść redukcja jonów wodorowych pochodzących z elektrolitu w wyniku czego powstanie gazowy wodór:

$$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2 \qquad (2)$$

Z tego powodu miedź pełni tu rolę katody, przy czym działa ona jako odbiorca elektronów a sama nie bierze udziału w reakcji. Elektrony używane w miedzi do tworzenia cząsteczek wodoru są przenoszone z cynku przez zewnętrzny przewód łączący miedź z cynkiem. Cząsteczki wodoru powstałe na powierzchni miedzi w wyniku reakcji redukcji ostatecznie ulatniają się w postaci gazowego wodoru. Zachodzenie tych procesów jest związane z wartością potencjałów standardowych (E^0) tych materiałów (Tab. 1). Potencjałem standardowym określa się wkład elektrody do wartości siły elektromotorycznej ogniwa. Można go również zdefiniować jako zdolność elektrody do wyciągania elektronów. Siła elektromotoryczna ($\mathcal{E}$) to maksymalna wartość różnicy potencjałów między elektrodami ogniwa, gdy nie płynie przez nie prąd. Można ją wyznaczyć jako różnicę potencjałów standardowych elektrod:

$$\mathcal{E} = E^0(\text{katody}) - E^0(\text{anody}). \qquad (3)$$

Wartości potencjałów standardowych dla różnych pierwiastków są wyznaczane względem referencyjnej elektrody wodorowej, której potencjał przyjęto jako równy zero. Warto zwrócić uwagę, że zależą również od stopnia utlenienia pierwiastku, czego przykładem jest redukcja jonów Cu^{2+} do jonu Cu^{+} bądź do obojętnej miedzi (E^0 0,15 V vs. 0,34 V).

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

Tabela 1. Wartości potencjałów standardowych w temperaturze pokojowej.

Pierwiastek	Reakcja zachodząca na elektrodzie	Potencjał standardowy E^0 (V)
Au	$Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au$	1,42
Ag	$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	0,80
Cu	$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	0,34
Cu	$Cu^{2+} + e^- \rightarrow Cu^+$	0,15
H	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	0,00
Fe	$Fe^{3+} + 3e^- \rightarrow Fe$	-0,04
Zn	$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	-0,76
Al	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	-1,66
Li	$Li^+ + e^- \rightarrow Li$	-3,05

Przykładowo, potencjał standardowy eko-ogniwa będzie równy:

$$E^0 = E^0(H^+/H_2) - E^0(Zn^{2+}/Zn) = 0\ \text{V} - (-0{,}76\ \text{V}) = 0{,}76\ \text{V} \quad (4)$$

Na wartość siły elektormotorycznej ogniwa wpływa również stężenie jonów, które biorą udział w procesie elektrodowym. Wartości te łączy ze sobą równanie Nernsta:

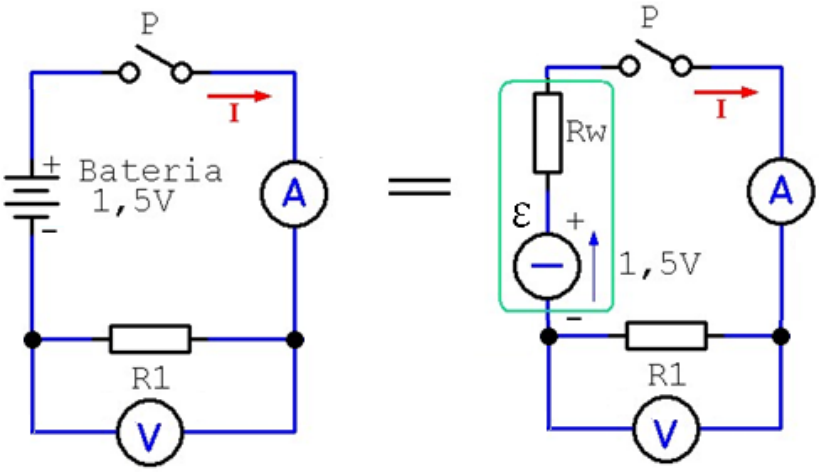
$$\mathcal{E} = E^0 + \frac{0{,}05917\ (\text{V})}{z} \log \frac{[ox]}{[red]}, \quad (5)$$

gdzie E^0 to potencjał standardowy ogniwa, z to liczba elektronów wymienianych w reakcji połówkowej, zaś $[ox]$ i $[red]$ to stężenia molowe formy utlenionej i zredukowanej. Wykorzystanie równania Nernsta oraz potencjałów standardowych ogniw pozwala opisać ilościowo pracę ogniwa. Analiza równania (5) pozwala stwierdzić, że wraz z ubytkiem jonów z roztworu potencjał ogniwa będzie malał. Będzie to skutkowało obniżeniem wydajności prądowej ogniwa co doprowadzi do spadku generowanego przez nie napięcia. W przypadku ogniw zbudowanych z owoców i warzyw, które cechują się niewielkim stężeniem jonów, proces ten ogranicza ich żywotność.

Działanie ogniwa charakteryzuje również wewnętrzny opór elektryczny (R_w), który efektywnie zmniejsza napięcie na zaciskach ogniwa (U). Przyczyną powstania oporu wewnętrznego ogniwa jest m. in. ograniczona szybkość procesów chemicznych oraz obecność reakcji ubocznych, które zachodzą w ogniwie. W szczególności w miarę zużycia opór wewnętrzny ogniwa rośnie. Skutkuje to spadkiem dostarczanego przez ogniwo napięcia.
Pomiar oporu wewnętrznego nie jest możliwy przy pomocy omomierza gdyż doprowadziłoby to do zwarcia ogniwa. Można tego dokonać mierząc spadek napięcia po dołączeniu do obwodu rezystora. Płynący w obwodzie prąd pokonuje zarówno opór zewnętrzny (R_1) jak i opór wewnętrzny ogniwa. Korzystając z praw Kirchhoffa, prawo Ohma dla całego obwodu przyjmuje postać

$$\mathcal{E} = IR_1 + IR_w. \quad (6)$$

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



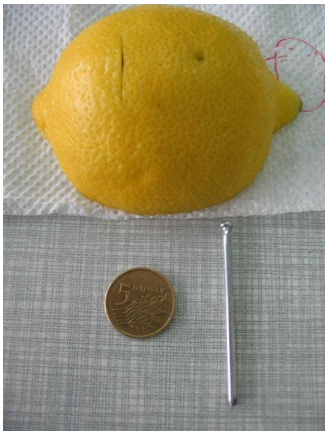
Rysunek 1. Po lewej stronie zawarto schemat obwodu do pomiaru siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego ogniwa. Po prawej stronie na schemacie układu uwzględniono obecność oporu wewnętrznego ogniwa.

Oznaczając przez $U = IR_1$ spadek napięcia na oporze zewnętrznym (który jest równy spadkowi napięcia na zaciskach ogniwa), możemy zapisać:

$$U = \mathcal{E} - IR_w. \tag{7}$$

Równanie to pokazuje, że różnica potencjału pomiędzy zaciskami źródła jest mniejsza od jego siły elektromotorycznej. Napięcie na zaciskach ogniwa tym mniej różni się od siły elektromotorycznej źródła, im mniejsze jest natężenie płynącego w obwodzie prądu oraz im mniejszy jest opór wewnętrzny ogniwa. Stąd też wynika trudność bezpośrednich pomiarów siły elektromotorycznej. Jeśli do pomiaru użyjemy woltomierza, spowodujemy przepływ prądu w wyniku czego woltomierz wskaże mniejsze napięcie od siły elektromotorycznej ogniwa.

Wykonanie eko-ogniwa.



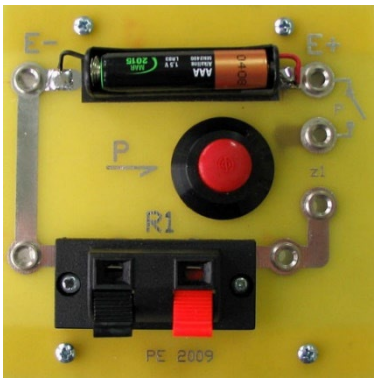
Do zrobienia jednego ogniwa wystarczy nam w zupełności połówka wybranego owocu. W pierwszej kolejności podziel owoc na połowy (w przypadku cytrusów zrób to jak na zdjęciu po prawej stronie). Następnie zrób w cytrynie nacięcie na monetę i otworek na gwóźdź. Wciśnij monetę i gwóźdź w cytrynę – ogniwo jest gotowe. Możesz zmierzyć jego napięcie przy pomocy woltomierza. Jeśli masz do dyspozycji inne owoce lub warzywa zrób z nich ogniwa i sprawdź czy otrzymane napięcie różni się w zależności od tego czego użyjesz. Sprawdź jak istotne jest to, aby jedna elektroda była z gwoździka, a druga z pięciogroszówki. Czy ogniwo będzie tak samo działać jeśli użyjesz dwóch takich samych elektrod (dwóch gwoździków lub dwóch monet)?

Z drugiej połówki cytryny możesz zrobić drugie ogniwo. Dwa ogniwa połączone w szereg bez problemu powinny zaświecić czerwoną diodę świecącą LED. Sprawdź jakie napięcie dostaniesz łącząc dwa ogniwa. Co będzie się działo jeśli połączymy siły i dołączymy następne ogniwa zrobione przez wasze koleżanki i kolegów z grupy?

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

Badanie oporu wewnętrznego ogniwa.

Układ pomiarowy



Układ pomiarowy służący do pomiarów siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego baterii składa się z:

- płytki drukowanej (patrz zdjęcie)
- baterii AAA
- dwóch mierników uniwersalnych
- oporników o różnych opornościach
- przewodów

Oporniki należy podłączyć w zaciski oznaczone na płytce w gniazdo oznaczone jako R1.

Aby zmierzyć spadek napięcia na oporniku należy jeden z mierników uniwersalnych ustawić w pozycji do pomiaru napięcia i podłączyć go równolegle z opornikiem. Posłuży on nam za woltomierz, jego zakres należy ustawić, tak aby móc zmierzyć napięcie rzędu 1,5 V. Aby zmierzyć prąd płynący w obwodzie należy miernik uniwersalny ustawić w pozycji do pomiaru natężenia prądu i podłączyć szeregowo do układu, tzn. pomiędzy zaciski oznaczone na płytce jako z1. Ten miernik posłuży nam za amperomierz. **Pamiętaj, aby zawsze zaczynać pomiary natężenia prądu od największego zakresu amperomierza i stopniowo w miarę potrzeby zmieniać zakres dobierając go do wartości natężenia płynącego prądu.** Możesz wstępnie oszacować jakiego natężenia prądu należy się spodziewać. W tym celu zmierz opór oporników i korzystając z prawa Ohma $I = U/R$ oblicz natężenie prądu dla napięcia 1,5 V. Czerwony, okrągły przycisk P służy do zamykania obwodu w miejscu oznaczonym na płytce jako P. Naciskaj go tylko na czas odczytywania wskazań miernika, nigdy nie trzymaj dłużej niż przez kilka sekund.

Wykonanie pomiarów

Zgodnie ze wzorem (7) napięcie mierzone na oporniku R1 jest liniową funkcją natężenia płynącego prądu, z której to zależności można wyznaczyć zarówno siłę elektromotoryczną jak i opór wewnętrzny baterii. Za pomocą mierników, zmierz spadek napięcia na oporniku oraz natężenie prądu płynącego w obwodzie dla kilku różnych oporników. Pomiar wykonaj dla dwóch różnych baterii (najlepiej starej i nowej). Podobny pomiar możesz wykonać dla wykonanego przez Ciebie eko-ogniwa podłączając go w miejsca oznaczone na płytce jako E+ i E–.

Wyniki zapisz w tabeli 2, a następnie przedstaw je na wykresie na papierze milimetrowym w postaci zależności napięcia od natężenia $U(I)$. Do zgromadzonych danych korzystając z linijki dopasuj prostą. Wyznacz równanie tej prostej $y = -Ax + B$. Oblicz współczynniki dopasowanej prostej. Otrzymany współczynnik kierunkowy (A) to opór wewnętrzny ogniwa natomiast wyraz wolny (B) to siła elektromotoryczna baterii. Zapisz otrzymane wartości do tabeli 2.

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

Tabela 2. Pomiary charakterystyki napięcia i prądu płynącego przez opornik.

Bateria 1		Bateria 2		Eko-ogniwo	
U [V]	I [A]	U [V]	I [A]	U [V]	I [A]
$\mathcal{E}$ [ ]	R_w [ ]	$\mathcal{E}$ [ ]	R_w [ ]	$\mathcal{E}$ [ ]	R_w [ ]

Czy obserwujesz zmiany oporu wewnętrznego i siły elektromotorycznej badanych baterii AAA? Co możesz na podstawie tych pomiarów powiedzieć o swoim „eko-ogniwie”?

Niepewności pomiarowe

Określenie niepewności wyznaczonych wielkości jest co najmniej tak samo ważne jak wyznaczenie samej wielkości. Niepewność pomiaru napięcia i natężenia prądu zależy od użytego miernika oraz zakresu pomiarowego. Jeśli miernik został ustawiony w trybie automatycznego doboru zakresu, niepewność wielkości x wyraża się wzorem:

$$u_x = \frac{w}{100} \cdot x + nc. \tag{8}$$

Wielkość w określa procent zmierzonej wielkości dla danego zakresu pomiarowego. nc to z kolei dokładność cyfrowa, która jest określona jako liczba n najmniej znaczących jednostek c odczytu. Przykładowo, jeśli miernik BRYMEN 805 ustawiony w tryb auto wskazuje napięcie 1,1 V, to zgodnie z jego specyfikacją jego zakres pomiarowy wynosi 4 V, a w tym zakresie $w = 0{,}5\%$, $n = 3$ i $c = 0{,}001$ V. Daje to niepewność odczytanego napięcia równą:

$$u_U = \frac{0{,}5}{100} \cdot 1{,}1\ \text{V} + 3 \cdot 0{,}001\ \text{V} = 0{,}0085\ \text{V}.$$

Na poprzednio wykonanych wykresach narysuj niepewności zmierzonych wartości napięcia i natężenia, a następnie oceń niepewności uzyskanych poprzednio współczynników dopasowania prostej. Wartości w, n i c zgodne ze specyfikacją używanego przez Ciebie miernika znajdziesz na stanowisku pracy.

Opracowanie:
J. Kierdaszuk, A. Drabińska

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

MIEJSCE NA OBLICZENIA

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