

Grzegorz Karwasz^{1,2}
Anna Okoniewska¹

1. Pomorska Akademia Pedagogiczna w Słupsku
2. Università di Trento, Dipartimento di Fisica, Trydent, Włochy

O źródłach prądu

Dwusetna rocznica wynalezienia przez Aleksandra Voltę ogniwa („voltaicznego”, zwanego też stosem Volty) skłoniła nas do zaproponowania kilku doświadczeń, które niejako odtwarzają historyczne etapy odkryć w dziedzinie sposobów wytwarzania „elektryczności”. Jest to propozycja dla nauczyciela fizyki w gimnazjum lub szkole średniej, jak w prosty sposób, bez większych wkładów pieniężnych, wzbogacić pracownię o nowe pokazy ilustrujące zjawiska z elektrostatyki, zasady działania ogniów galwanicznych i fotowoltaicznych. Niektóre z tych doświadczeń zostały zaprezentowane w trakcie XXXVI Zjazdu Fizyków Polskich w Toruniu. Również obecny artykuł posiada wersję internetową, wzbogaconą o zdjęcia i animacje [gryf.wsp.slupsk.pl/if/InstytFizyki.html].

Skarpety Symmera, czyli ładunki elektryczne

Słowo *elektron* wywodzi się z greckiego „bursztyn”. Pocieranie przedmiotów: metalicznych - jak w szkolnej maszynie elektrostatycznej, czy izolatorów, jak bursztyn, lub siarkowa kula w XVII-wiecznych maszynach elektrostatycznych, jest najstarszym sposobem sztucznego wytwarzania prądu.

Robert Symmer, angielski urzędnik na dworze królewskim w Anglii, w 1759 roku zaobserwował, że dwie skarpety z tego samego materiału (zdjęte z nogi) odpychają się, a skarpety z różnych materiałów przyciągają się. Ta banalna obserwacja była pierwszym dowodem na istnienie ładunków elektrycznych różnych znaków, w odróżnieniu od oddziaływania grawitacyjnego.

W dobie tworzyw sztucznych bez trudu można znaleźć odpowiednią kombinację szalik - sweter - kurtka, które się przyciągają lub odpychają (foto 1). Powstające napięcia elektrostatyczne, np. po zdjęciu kurtki z tworzywa sztucznego, są tak wysokie, że bez trudu zniszczą komputer, o ile przed jego dotknięciem nie zadamy o ich neutralizację (wystarczy dotknąć kaloryfera).



Foto 1 Chustka zdjęta z płaszcza jest naelektryzowana i jest przyciągana przez inne materiały, (natomiast dwa końce chustki się odpychają)

Ogniwo galvaniczne lub stos Volty

W 1791 roku, Luigi Galvani, lekarz z zawodu, zauważył, że mięśnie martwej żaby kurczą się, jeśli znajdują się między dwoma różnymi metalami, np. cynowym talerzem i srebrnym nożem. Galvani wykonał szereg doświadczeń na spreparowanych mięśniach żab pozostając w mniemaniu, że natura „elektryczności jest biologiczna, nie fizyczna”. Eksperymenty doktora pobudziły ciekawość jego rodaka Aleksandra Volty, który w konsekwencji zbudował „stos”.

Oryginalne ogniwo Volty – to pionowa kolumna monet dwóch rodzajów, ułożonych na przemian i oddzielonych (co druga) papierem nawilżonym w słonej wodzie, aż do stu takich par. Na wystawie w Paryżu w 1800 roku Volta pokazał zarówno stos, jak i ciąg ogniw z dwoma płytkami zanurzonymi w kwasie. Volta pisał „W przypadku dwóch różnych metali możliwe jest, że jeden z nich absorbuje płyn elektryczny z ciała mokrego a drugi oddaje, powodując w ten sposób stan nierównowagi, czyli przepływ prądu”.

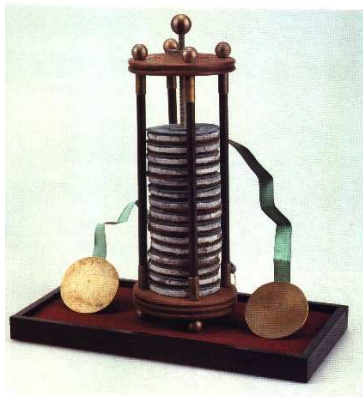


Foto 2 Stos Volty z monet, np. 20 i 5 gr., przekładanych bibułą nawilżoną w słonej wodzie (20gr-5gr-bibuła-20gr-5gr itd.). Świeże monety, dobre kontakty i duży opór wewnętrzny użytego miernika pozwalają na odczyt napięcia około 4,5 V z 20 par monet (najlepsze są jednak stare polskie monety aluminiowe lub włoskie liry - jedna para przekładana bibułą nasączoną octem daje napięcie około 0,5 V; 0,20 i 0,05 Euro dają napięcie 0,1 V z pary).

Do ilustracji zasady działania ogniwa Volty wystarczy stosik 20 i 5 groszowych monet i bibuła nasączona słoną wodą (foto 2), dwie jakiegokolwiek płytki z różnych metali (foto 3) połączone przez ciało człowieka (foto 3), przez ziemię w doniczce z kwiatami, pomidor lub ziemniak (foto 4).

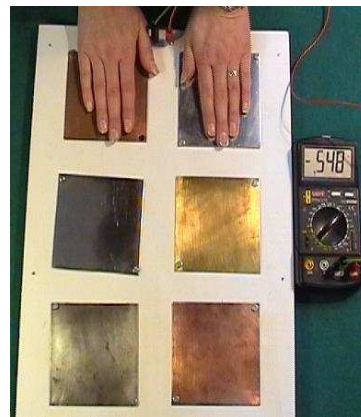


Foto 3 Zestaw do badania „potencjału intelektualnego” uczniów: dwie kolumny płytek z różnych metali (stal, aluminium, miedź, blacha ocynkowana) i woltomierz. Płytki z obu kolumn są podłączone (przewodami pod deską) do dwóch biegunów miernika. Układ pozwala na ciekawe doświadczenia interakcyjne: jak mierzone napięcie zależy od rodzaju pytek, stanu ich powierzchni, czy wreszcie od stopnia przygotowania ucznia do odpowiedzi (wilgotności dłoni?).

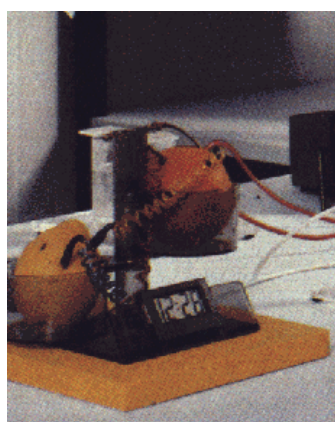


Foto 4 Zegar na kwiaty – foto Roberto Gobbo. Zamiast doniczki z kwiatami można użyć ziemniaka, pomidora, ogórka lub jakiegokolwiek innego elektrolitu organicznego lub nieorganicznego. Elektrody są z miedzi i aluminium.

Napięcie „voltaiczne” jest też przyczyną „kwaśnego” smaku metalowej temperówki: napięcie między aluminiowym korpusem a stalowym ostrzem, używając np. śliny jako elektrolitu, wynosi aż 1,08 V (foto 5).

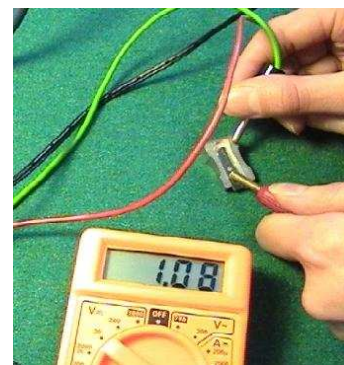


Foto 5 Kwaśna temperówka – korpus z duraluminium a ostrze ze stali nierdzewnej, oddzielone bibułą nawilżoną śliną, daje napięcie 1.08 V.

Prądnicą Faradaya

Andre Ampère, od którego nazwiska pochodzi jednostka natężenia prądu, pisał w 1802 roku: „Pomysł, że zjawiska elektryczne i magnetyczne mają tę samą naturę jest wręcz absurdalny”. Zdanie to zamieścił w komentarzu do doświadczenia Romagnosiego, adwokata z Trento. Doświadczenie zostało zgłoszone na konkurs wynalazców rozpisany przez cesarza

Napoleona. Romagnosi ułożył stosik monet według recepty Volty, połączył końce ogniwa drutem, a w pobliżu drutu położył kompas. Zauważył „wpływ prądu na igłę”. Zgłoszenie Romagnosiego w Paryżu nie wzbudziło zainteresowania i dopiero młody Oersted, obecny wówczas na konkursie, 15 lat później przeprowadził swoje słynne doświadczenie.

Kolejne 14 lat minęło jednak, zanim genialny chłopski syn z Anglii, Michael Faraday, nie odwrócił doświadczenia: nie tylko prąd wpływa na pole magnetyczne, ale i pole magnetyczne (zmienne) może generować prąd elektryczny. Zasadę zmienności prąd - pole magnetyczne ilustruje proste doświadczenie na ryc.6, wykorzystujące cewkę Helmholtza.



Foto 6. Jeden i ten sam przyrząd, ramka z nawiniętym drutem, ilustruje zarówno prawo Faraday-Lenza (siłę elektromotoryczną indukcji $E = -n d\Phi/dt$, gdzie n jest ilością zwojów) jak i siłę działającą na przewodnik z prądem w polu magnetycznym (siłę Faradaya, lub siłę Lorentza w przypadku swobodnych ładunków). Na ramkę o wymiarach $1m \times 1m$ nawinięto około 100 zwojów miedzianego drutu o średnicy $1mm$ (typowy drut transformatorowy).



Foto 6A. Zwojnica, zasilana prądem około $3-5A$ (np. z akumulatora samochodowego) obraca się w polu magnetycznym Ziemi (jest przykładem silnika elektrycznego). Ponieważ w polu magnetycznym Ziemi (około $300mG = 3 \cdot 10^{-8}T$) moment siły jest rzędu $10^{-5}Nm$, ramka obraca się bardzo powoli – z tego powodu wymaga zawieszenia na nici pod sufitem a przewody doprowadzające prąd muszą być odpowiednio giętkie.



Foto 6B W ramce obracanej nawet z umiarkowaną prędkością obrotową pojawia się siła elektromotoryczna rzędu kilku mV (ramka + pole magnetyczne Ziemi stają się prądnicą). Oczywiście, im szybszy obrót, tym większe napięcie generowane, ale trudniejszy odczyt na woltomierzu.

Ogniwa fizyczne

Ogniwo Volty jest jednak bardziej urządzeniem chemicznym niż fizycznym: transport ładunku elektrycznego odbywa się za pośrednictwem reakcji chemicznych: redukcji (w terminologii fizycznej „oddawania elektronów”) lub utleniania (przyłączania elektronów). Na przykład w trakcie pracy ogniwa atomy cynku z elektrody ujemnej przechodzą do roztworu a jony miedzi wytrącają się na elektrodzie dodatniej. Przykładem ogniwa „fizycznego”, tzn. takie w którym polaryzacja elektrod jest zamienna, zostało odkryte przez Thomasa Seebecka prawie równocześnie z doświadczeniem Oersteda: w 1820 roku. Zjawisko Seebecka jest przykładem emisji termoelektrycznej, ale takiej, w której elektrony (pod wpływem temperatury) pokonują różnicę potencjałów (pracę wyjścia) nie między metalem a próżnią jak w lampie elektronowej, ale między dwoma metalami.

Innym sposobem generowania "elektryczności" jest efekt piezoelektryczny¹⁸⁸⁰ - Pierre i Jacques Curie odkryli efekt piezoelektryczny w kryształach kwarcu i tytanianu baru - powstawania ładunków na powierzchni izolatorów, (zob. foto 7).

Energia niezbędna do pokonania pracy wyjścia może być, jak wiadomo dostarczona również przez fotony, jak w doświadczeniu Hertza z 1888 roku – zjawiska fotoelektryczne.

Układ do badania efektu fotoelektrycznego w próżni (firmy Leybold) jest kosztowny natomiast układ do badania efektu w powietrzu wymaga zasilacza wysokiego napięcia, przez co jest w warunkach szkolnych niebezpieczny. Istnieje inny, bardzo prosty i tani sposób obserwacji wewnętrznego efektu fotoelektrycznego – w diodach fotoluminescencyjnych. Zasada jest podobna jak w parze zjawisk - elektroliza a ogniwo Volty: efekt chemiczny generuje prąd, lub prąd powoduje efekt chemiczny. Dioda świeci wskutek rekombinacji nośników dodatnich (dziur) i elektronów w złączu dwóch półprzewodników; oświetlenie złącza światłem odpowiedniej energii powoduje generację par, przemieszczających się w przeciwnych kierunkach (powstanie napięcia).

Foto 7. Zapalacz do gazu wykorzystujący efekt piezoelektryczny wytwarza napięcie kilku tysięcy V. Jeżeli do elektrod zapalacza podłączy się dwa długie druty, to taki układ staje się nadajnikiem (Morse'a). Jest to proste powtórzenie słynnego eksperymentu Hertza – doświadczalnego potwierdzenia istnienia fal elektromagnetycznych.

Ostatnim krokiem od ogniwa Volty do ery telewizji było odkrycie fal elektromagnetycznych, przewidzianych w latach sześćdziesiątych przez Jamesa Clerka Maxwella

i potwierdzonych w doświadczeniu Hertza w 1888 roku (foto 7). Pierwsza transmisja radiowa została przeprowadzona przez Marconiego w 1899 roku. Do ilustracji rozchodzenia się fal posłużyć mogą dwa eksperymenty, jeden z zapalniczką piezoelektryczną do gazu (foto 7), drugi z kulą plazmową (foto 8).



Foto 8. Energia fal elektromagnetycznych generowanych przez kulę plazmową zapala lampę neonową. Przesłonięcie kuli przewodnikiem elektrycznym (folią aluminiową lub ręką) ekranuje fale; przez papier natomiast fale przenikają.

Baterie przyszłości

"Ogniwo Volty stało się fundamentem wszystkich współczesnych wynalazków" – mówił Albert Einstein z okazji uroczystości ku czci 100 rocznicy śmierci Volty w 1927 roku. Po dwustu latach – wszystkie przenośne źródła energii nadal przypominają wynalazek Volty. Co więcej, niedoskonałość ogniw jest jednym z hamulców rozwoju samochodów z napędem elektrycznym, podręcznych komputerów i telefonii komórkowej.

Ogniwa odwracalne (akumulatory) wynalezione już w 1859 roku przez Gastona Planté, różnią się od stosu Volty tym, że zachodzące w nich reakcje elektrochemiczne są odwracalne. Najlepsze z nich, przewyższające akumulatory ołowiowe o czynnik 5 (stosunek pojemności do masy lub pojemności do objętości) wykorzystują lit – metal najbardziej elektroujemny (-3.04 V w stosunku do elektrody wodorowej) i jednocześnie najlżejszy (gęstość właściwa $0,53\text{g/cm}^3$). W ładowalnych bateriach litowych elektrodą dodatnią jest tlenek litu i (najczęściej) manganu LiMnO_2 , a ujemną grafit. Nośnikami ładunku są jony litu.

Inną odmianą ogniwa Volty są jeszcze tzw. ogniwa paliwowe, wynalezione w 1839 roku przez Anglika Williama Grove'a. Ogniwa paliwowe są urządzeniami

elektrochemicznymi, które przekształcają energię paliwa bezpośrednio w energię elektryczną i ciepło. Ich działanie polega na „odwróceniu” elektrolizy wody: do dwóch części ogniwa doprowadzany jest tlen i wodór gazowy. Są więc jak gdyby klasycznymi bateriami, w których w sposób ciągły jest dostarczane paliwo do anody (elektrody ujemnej) oraz utleniacz (najczęściej powietrze) do katody (elektrody dodatniej). Paliwem może być bezpośrednio wodór lub też związek zawierający duże ilości tego pierwiastka (gaz ziemny, metanol). Główna trudność konstrukcyjna polega na odseparowaniu obszarów utleniania i redukcji. Stosuje się w tym celu specjalne półprzepuszczalne membrany polimerowe.

Praktyczne problemy największych firm przemysłu elektronicznego, uczestniczących w wyścigu do zbudowania baterii przyszłości udowadniają jak skomplikowanym zagadnieniem naukowym są zjawiska elektrochemiczne.

Literatura

- [1] G.Bonera, M.Di Bias, M.Gargantini, P.Guaschi, E.Lunati, P.Mascherati, E.Sindoni, „1799:...*E la corrente fu.*” , Meeting per l’amicizia fra i popoli, Rimini, 1999, Katalog wystawy, Università di Pavia.
- [2] www.meetingrimini.org/ita/monstre/corporesult.xml?titolo=1799+e+la+corrente+fu.+Duecento+anni+dalla+pila+di+Volta&anno=1999#top
- [3] www.wsp.slupsk.pl
- [4] J. Szudy, „Stulecie odkrycia elektronu”, Fizyka w Szkole
- [5] A. K. Wróblewski, „Długie narodziny elektronu” ,Wiedza i Życie, nr 5/98, str. 36, zob. też strona internetowa: www.wiedzaizycie.pl/98052300.htm
- [6] J. Kozubowski „Mała wielka cząstka”, Wiedza i Życia, nr 2/98, str. 36, zob. też strona internetowa: www.wiedzaizycie.pl/98022500.htm
- [7] J.-M. Tarascon and M.Armand, Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries, Nature, Vol. 414, Listopad 2001, str, 359
- [8] Max v. Laue "Historia fizyki", wydanie drugie PWN