

# Ogniwa słoneczne

Konrad DZIATKOWSKI\*

Nazwa ogniwa fotowoltaicznego pochodzi od dwóch słów: greckiego słowa *fos* znaczącego światło oraz nazwiska włoskiego uczonego i wynalazcy Alessandro Volty, który jest uważany za twórcę pierwszej baterii.



Skarabeusz z grobu Tutanchamona. Uskrzydłony żuk chrapie, symbol wschodzącego Słońca, toczy przed sobą krąg słoneczny, podobnie jak prawdziwy owad toczy kulę gnoju, by złożyć w niej jaja. Jednocześnie cały motyw da się przeczytać jako Neb-cheper-Re, tronowe imię władcy, który nosił ten klejnot (patrz str. 8).



**Rozwiązanie zadania F 770.**  
Wahadło zaczyna drgania względem punktu zawieszenia z okresem

$T = 2\pi\sqrt{l/g}$  i prędkością początkową  $v$ .  
Początkowa prędkość względem układu odniesienia związanego z Ziemią jest równa zeru. Aby w chwili zatrzymania punktu zawieszenia „zatrzymać” także wahadło, należy tego dokonać w odległości  $x$  takiej, że  $nT = x/v$ , gdzie  $n$  jest liczbą naturalną. Stąd

$$v = \frac{x}{nT} = \frac{x}{2\pi n} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Ogniwa słoneczne (fotoogniwa) to urządzenia zdolne w bezpośredni sposób przetwarzać energię promieniowania słonecznego w energię elektryczną. Bardziej precyzyjnie nazywane są ogniwami fotowoltaicznymi, gdyż to właśnie zjawisko fotowoltaiczne – czyli generowanie siły elektromotorycznej pod wpływem promieniowania elektromagnetycznego – leży u podstaw działania tego typu urządzeń. W 1839 roku Alexandre Edmond Becquerel zaobserwował, że poddana działaniu światła słonecznego warstwa chlorku srebra może być źródłem prądu elektrycznego. W szczególnym układzie Becquerela elektroda AgCl była zanurzona w elektrolicie i efektowi fotowoltaicznemu towarzyszyła odpowiednia reakcja chemiczna rozkładająca elektrodę. Jednak najważniejszą obserwacją był fakt generowania prądu elektrycznego pod wpływem światła oraz specyficzna zależność jego natężenia od długości fali promieniowania: fotoprąd mógł być zaobserwowany tylko dla długości fali mniejszych od pewnej wartości progowej. Nasuwa się tu podobieństwo do zjawiska fotoelektrycznego zewnętrznego, w którym elektrony są wybijane z ciała stałego pod wpływem fotonów z zakresu nadfioletowego (energia rzędu kilku elektronowoltów). I chociaż efekt fotowoltaiczny, którego energia progowa wynosi około 1 eV, był nazywany efektem fotoelektrycznym wewnętrznym, to odmiennosć obu zjawisk nie ma charakteru wyłącznie ilościowego – inny jest przede wszystkim ich mikroskopowy mechanizm.

Chlorek srebra to półprzewodnik, czyli materiał, który pozbawiony wszelkich domieszek i defektów struktury krystalicznej nie przewodzi prądu w temperaturze zera bezwzględnego. Elektrony całkowicie wypełniające jeden ze zbiorów dostępnych stanów energetycznych (tzw. pasmo walencyjne) nie mogą – pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego – zmienić swojej energii, ponieważ najbliższe wolne stany energetyczne są dopiero w kolejnym, całkowicie pustym zbiorze (tzw. paśmie przewodnictwa). Ten zbiór stanów jest nieosiągalny dla elektronów w warunkach zera bezwzględnego, ale już dla temperatur dodatnich prawdopodobieństwo znalezienia elektronu w paśmie przewodnictwa jest niezerowe, tym większe, im wyższa jest temperatura i mniejsza jest przerwa energetyczna  $E_g$  między krawędziami pasma przewodnictwa i pasma walencyjnego. W analogiczny sposób elektron może być „przeniesiony” z pasma do pasma dzięki światłu, pod warunkiem że energia  $E_f$  pochłoniętego fotonu promieniowania elektromagnetycznego będzie nie mniejsza niż  $E_g$  – ta ostatnia wartość odpowiada progowej długości fali zaobserwowanej przez Becquerela. Taki „przeniesiony” elektron nie tylko jest swobodnym nośnikiem prądu, ale pozostawia w paśmie walencyjnym nieobsadzony stan – tzw. dziurę pasmową – która również jest nośnikiem prądu, tyle że o dodatnim ładunku.

Wygenerowanie światłem pary elektron-dziura nie czyni jeszcze z półprzewodnika źródła napięcia elektrycznego – w tym celu nośniki o przeciwnych ładunkach muszą być przestrzennie rozseparowane. W doświadczeniu Becquerela było to możliwe dzięki zastosowaniu elektrolitu, którego jony uwalniały z AgCl ładunki jednego rodzaju, podczas gdy przeciwne ładunki pozostawały na elektrodzie. W ogniwach fotowoltaicznych zamiast elektrolitu stosuje się tzw. złącze p-n. Dzięki odpowiedniemu domieszkowaniu półprzewodnika atomami innych pierwiastków można uzyskać materiał, który bez udziału światła będzie miał niezerowe przewodnictwo elektryczne, a liczebność nośników obu rodzajów będzie istotnie różna: materiał z przewagą elektronów nazywany jest półprzewodnikiem typu n, z przewagą dziur – typu p. Złącze p-n to półprzewodnik, którego typ przewodnictwa zmienia się w miarę możliwości gwałtownie, a na granicy rozdzielającej obszary p i n powstaje wewnętrzne pole elektryczne. Gdy na takie złącze pada promieniowanie elektromagnetyczne o energii większej od granicznej i na granicy obszarów p-n generowane są pary fotonosników o przeciwnych ładunkach, wewnętrzne pole elektryczne złącza odciąga dziury w kierunku obszaru typu p, a elektrony w kierunku obszaru typu n. W ten sposób rozdzielone przestrzennie ładunki stają się źródłem różnicy potencjałów, czyli dokonuje się wspomniana na samym początku artykułu zamiana promieniowania elektromagnetycznego na napięcie elektryczne.

\*Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski