

### 3. Atomistyka współczesna

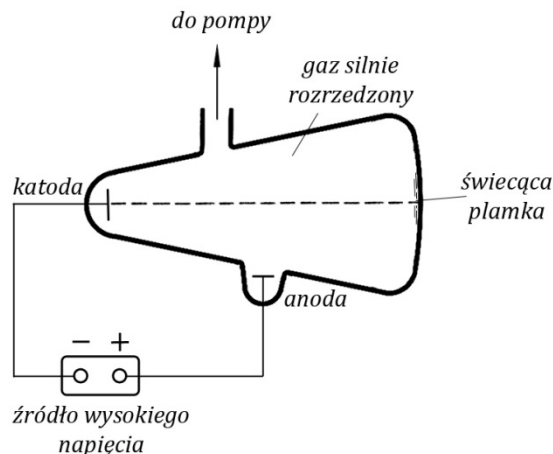
---

Niewątpliwie myśl, że atom ma wewnętrzną strukturę dojrzewała w wyniku długiego procesu rozmaitych zjawisk. Nim wspomniane w końcu poprzedniego rozdziału badania spektroskopowe oraz badania emisji promieniowania rentgenowskiego i jądrowego pozwoliły nadać koncepcji atomu współczesny kształt, wcześniej miały miejsce odkrycia torujące do tego drogę. Do takich milowych kroków należy zaliczyć wynik badań nad przewodnictwem elektrycznym w rozrzedzonym powietrzu, które zapoczątkował Michael Faraday (1791-1867) w połowie XIX wieku, przypuszczając, że ich wyniki mogą rzucić pewne światło na elektryczną (nie atomistyczną) budowę materii (3). W 1855 roku odkrył wyładowania jarzeniowe w rozrzedzonym powietrzu (podobne zjawisko w gazach pod normalnym ciśnieniem zostało odkryte już ponad wiek wcześniej).

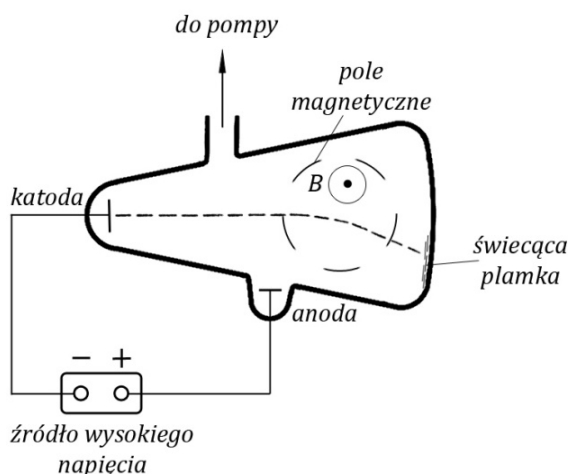
Systematyczne badania nad tym zjawiskiem w latach sześćdziesiątych dziewiętnastego stulecia prowadzili Julius Plücker (1801-1868) oraz Heinrich Geissler (1814-1878).

Układ doświadczalny (Rysunek 3-1) składał się ze szklanej, szczelnie zamkniętej rury do wyładowań, w której znajdowało się powietrze. Wtopione były w nią elektrody: katoda (-) i anoda (+). Dołączona do tego układu pompa zapewniała uzyskanie niskiego ciśnienia gazu w jego wnętrzu (5).

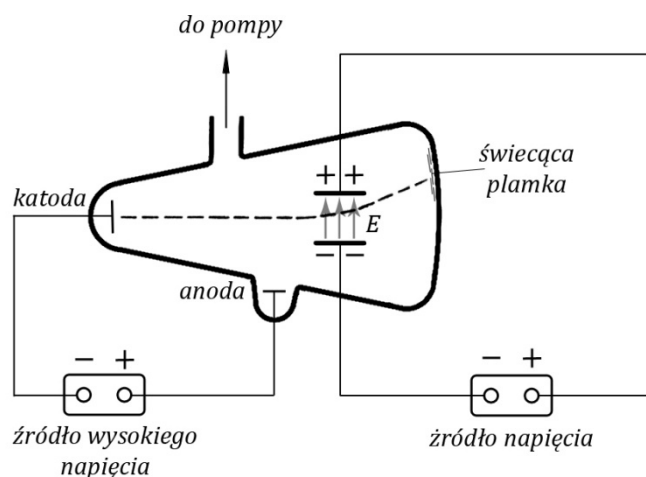
Badacze stwierdzili, że przy dostatecznie niskim ciśnieniu – ok. 133 Pa (w porównaniu z 101325 Pa ciśnienia atmosferycznego) – wyładowanie jarzeniowe zanikało, natomiast część rury naprzeciwko katody zaczynała zielonkawo świecić. Powstała zielona plamka okazała się reagować na przyłożone pole magnetyczne i przesuwała się względem ściany rury (Rysunek 3-2), co odkrył i opisał w 1869 roku Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914) (3). Na podstawie wyników swoich badań, postawił on hipotezę, że świecenie ścianki rury wywołane jest promieniowaniem wysyłanym przez katodę, odchylanym w polu magnetycznym.



**Rysunek 3-1 - Układ doświadczalny do badania zjawiska promieniowania katodowego**



**Rysunek 3-2 - Zjawisko odchylenia promieni katodowych w polu magnetycznym (prostopadłym do płaszczyzny rysunku)**



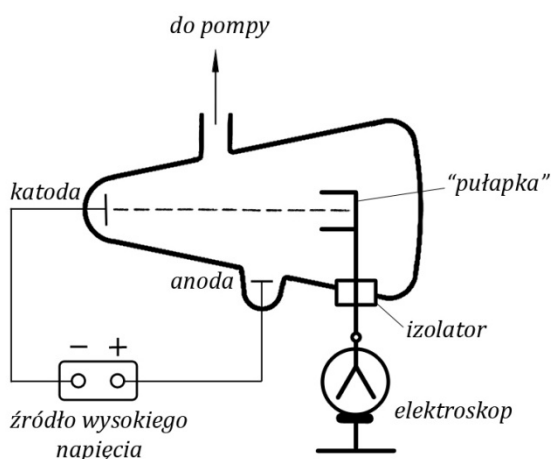
**Rysunek 3-3 - Zjawisko odchylenia promieni katodowych w polu elektrycznym**

W 1876 roku Eugen Goldstein (1850-1930) odkrył, że promieniowanie to odchyła się także w polu elektrycznym (Rysunek 3-3) (3). On też nadał mu nazwę promieniowania katodowego.

Odkrycie zjawiska odchylenia promieniowania katodowego w polu elektrycznym potwierdziło przypuszczenia Cromwella Fleetwoda Varleya (1828-1883) o tym, że niesie ono ładunek elektryczny (31). W 1895 roku Jean Baptiste Perrin (1870-1942), umieszczając wewnątrz rury podłączonej do elektroskopu „pułapkę” na promieniowanie katodowe, stwierdził, że na elektroskopie pojawia się ładunek ujemny (Rysunek 3-4). Wreszcie, Joseph John Thomson, badając ilościowo odchylenie promieni katodowych pod wpływem działania wzajemnie prostopadłych pól: magnetycznego i elektrycznego, wyznaczył w 1897 roku stosunek ładunku  $q$  do masy  $m$  dla promieni katodowych:

$$\frac{q}{m} \approx 1,4 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$$

gdzie  $q$  – ładunek,  $m$  – masa.



**Rysunek 3-4 - Układ doświadczalny do określenia rodzaju ładunku niesionego przez promienie katodowe**

Istotnym stwierdzeniem Thomsona było, że stosunek ten nie zależy ani od rodzaju gazu wypełniającego rurę do wyładowań, ani też od materiału z jakiego wykonana była katoda (3). Pozwoliło mu to na stwierdzenie, że promienie katodowe stanowią strumień swoistych kawałków materii, strumień cząstek, które nazwał elektronami (5).

Wartości ładunku  $q$  elektronu, jego masy  $m_e$  oraz stosunku  $q$  do  $m_e$  wyznaczone wspólnie wynoszą w przybliżeniu (3):

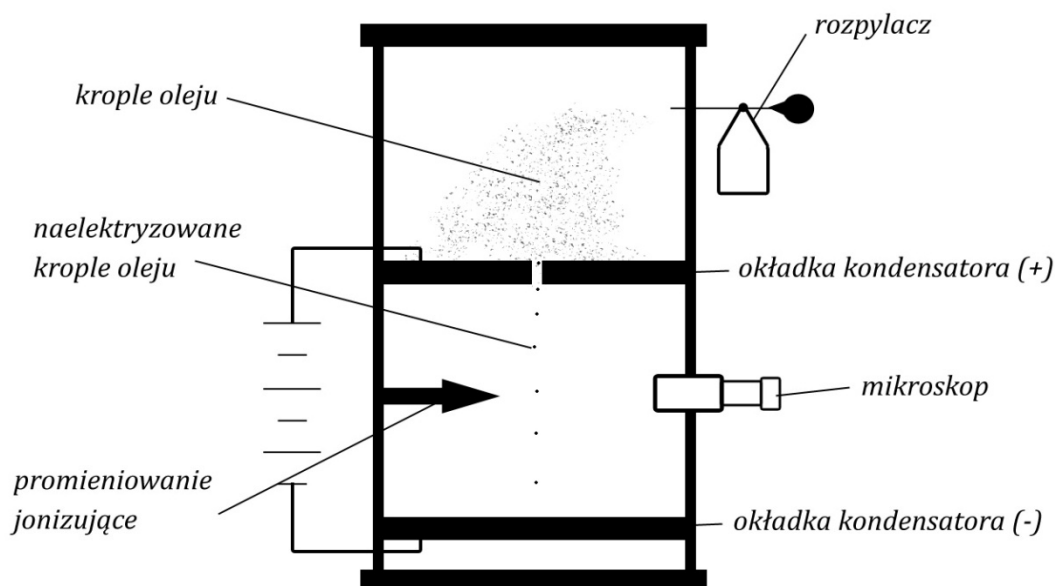
$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\frac{q}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$$

gdzie:  $q$  – ładunek elektronu,  $m_e$  – masa elektronu.

Thomson określając stosunek ładunku do masy nie wyznaczył oddzielnie wartości tych dwóch wielkości. Dokonał tego dopiero w 1909 roku Robert Andrews Millikan (1868-1953), który wykonał genialny w swej prostocie eksperyment, w którym obserwował ruch naładowanych kropelek oliwy spadających w powietrzu pod wpływem siły ciężkości, kompensowaną siłą wywołaną przyłożonym polem elektrycznym. Na układ doświadczalny (Rysunek 3-5) składał się rozpylacz oleju, kondensator, mikroskop oraz źródło promieniowania jonizującego – promieniowania X lub gamma. Pod wpływem grawitacji kropelki oleju opadały i część z nich przechodziła przez niewielki otwór w okładce kondensatora. Na skutek promieniowania jonizującego, do opadających kropelek doczepiały się elektrony. Masa naładowanych kropelek mogła być wyznaczona na podstawie obserwacji prędkości ich opadania (ruch kropli w początkowej fazie jest jednostajnie przyspieszony, jednak ze względu na tarcie w powietrzu przechodzi z czasem w ruch jednostajny i właśnie prędkość tego ruchu jest mierzona). Przy zmianie napięcia na okładkach kondensatora prędkość kropli ulega zmianie. Gdy siła pola elektrycznego była równa sile grawitacji, kropelki oleju pozostawały w spoczynku zawieszony w kondensatorze, co pozwoliło na przyrównanie obu sił.



**Rysunek 3-5 - Układ doświadczalny użyty przez Millikana do wyznaczenia wartości ładunku elementarnego**

Opis ilościowy eksperymentu przebiega w następujący sposób. Kropla o promieniu  $r$  doświadcza w powietrzu oporu tarcia

$$R = k \cdot V$$

gdzie  $V$  - jest prędkością kropli, a współczynnik  $k$  dla ośrodka o współczynniku lepkości  $\eta$  wynosi, zgodnie z prawem Stokes'a:

$$k = 6\pi\eta r$$

gdzie  $r$  – promień kropli. Niezależnie kropla doświadcza wyporu powietrza i siły ciężkości

$$W = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_p g \quad Q = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$$

gdzie  $\rho_p$  – gęstość powietrza,  $\rho$  – gęstość kropli, a  $g$  – przyspieszenie ziemskie. W warunkach równowagi (czyli gdy  $Q - W = R$ ) prędkość kropli  $V_g$  jest stała i można ją wyznaczyć z prostego równania:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho - \rho_p) g = 6\pi\eta r V_g$$

Mierząc prędkość kropli, możemy z powyższego równania wyznaczyć jej promień, a więc i współczynnik  $k$  dla oporu powietrza.

Jeśli teraz włączymy pole elektryczne o natężeniu  $E$  w kierunku powodującym ruch kropli do góry, wypadkowa siła działająca na kroplę wyniesie

$$F = qE + W - Q - R = qE - kV_g - kV$$

Jeśli kropla w polu elektrycznym osiągnie prędkość stałą, oznaczmy ją przez  $V_E$ , a więc wypadkowa siła  $F$  będzie równa zeru łatwo zobaczymy, że w takim razie będzie spełniona prosta relacja:

$$qE = k(V_g + V_E)$$

z której można bezpośrednio wyznaczyć wartość ładunku.

Millikan oczywiście nie miał pewności, że kropla ma zawsze taki sam ładunek. Powtarzał więc eksperyment wielokrotnie dla różnych ładunków i wreszcie stwierdził, że mierzony ładunek  $q$  jest zawsze wielokrotnością pewnego ładunku elementarnego, co niewątpliwie świadczyło o korpuskularnym charakterze elektryczności. Opublikowana przez niego w roku 1910 wartość ładunku elementarnego  $e = 4,65 \cdot 10^{-10}$  jednostek elektrostatycznych (a w 1913 r. zmierzona dokładniej  $e = (4,774 \pm 0,009) \cdot 10^{-10}$  jednostek elektrostatycznych) niewiele odbiega od wartości przyjmowanej obecnie. (4) Nie stosowana już dziś „jednostka elektrostatyczna” jest ładunkiem zdefiniowanym jako taki, który oddziałując z drugim takim samym ładunkiem umieszczonym w odległości 1 cm działa na niego siłą równą  $10^{-5}$  N. Jego wartość wynosi około  $3,3 \cdot 10^{-10}$  C, a zatem obecnie przyjmowana wartość ładunku elementarnego  $e = (1,6021892 \pm 0,0000046) \cdot 10^{-19}$  C wynosi ok.  $4,803 \cdot 10^{-10}$  jednostek elektrostatycznych.