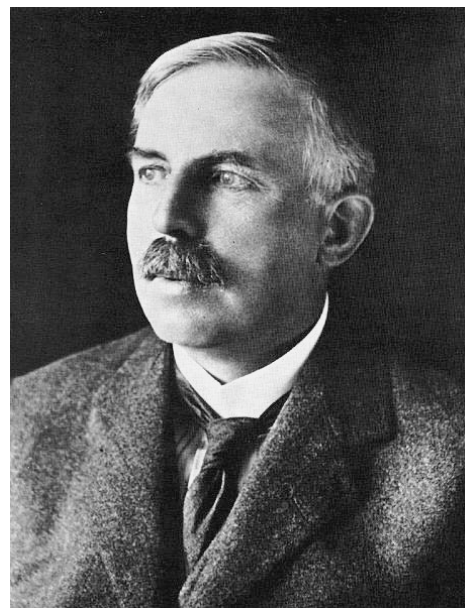


3.2. Model Rutherforda – model planetarny

Eksperymenty nad rozpraszaniem cząstek α na bardzo cienkiej folii złota, przeprowadzone w 1909 roku przez Ernesta Rutherforda (1871-1937) (Rysunek 3-11) oraz jego dwóch studentów – Hansa Geigera (1882-1945) i Ernesta Marsdena (1889-1970), szybko wykazały brak zgodności pomiędzy założeniami modelu atomu Kelvina-Thomsona a wynikami ich badań.



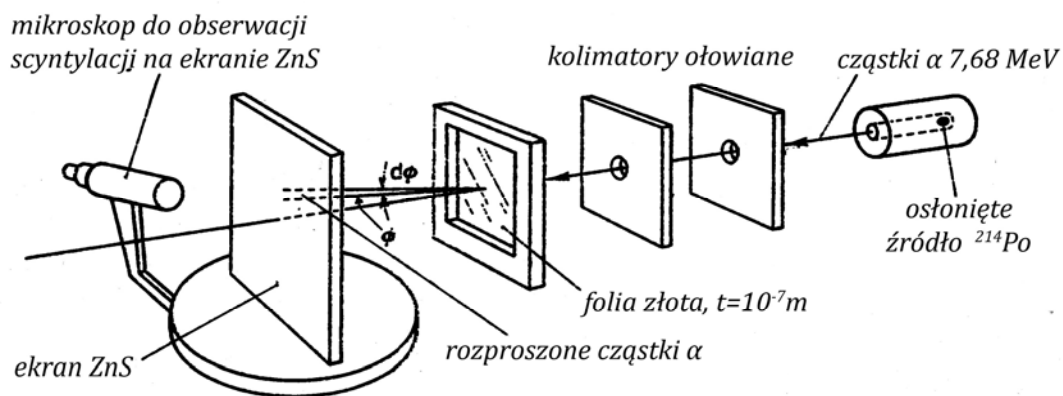
Rysunek 3-11 - Ernest Rutherford

Układ doświadczalny (Rysunek 3-12) składał się ze źródła cząstek α – polonu (^{214}Po), kolimatorów ołowianych formujących promieniowanie cząstek w pojedynczą wiązkę, folii złota o grubości ok. 10^{-7}m (co odpowiada mniej więcej czterystu warstwom atomów złota), ekranu pokrytego siarczkiem cynku ZnS oraz mikroskopu (37). Cząstki α , w wyniku rozproszenia na folii, padały na ekran pod różnymi kątami w stosunku do wiązki promieniowania, z której pochodziły. Scyntyłacje – emisje błysków światła – ekranu powstające w wyniku tych zderzeń pozwalały na ustalenie za pomocą mikroskopu liczby cząstek rozproszonych pod danymi kątami (5). Doświadczenie polegało na zliczeniu cząstek α odchylonych w jednostce czasu w wąskim przedziale kątów. (37)

Zgodnie z założeniami modelu atomu Kelvina-Thomsona tor ruchu cząstki α w wyniku zderzenia z atomem złota uległby małemu odchyleniu, ponieważ pole elektryczne w jego wnętrzu jest słabe (37). Istotnie, wartość potencjału cząstki α na powierzchni atomu Thomsona o jednorodnie rozmytym ładunku dodatnim Ze wynosi:

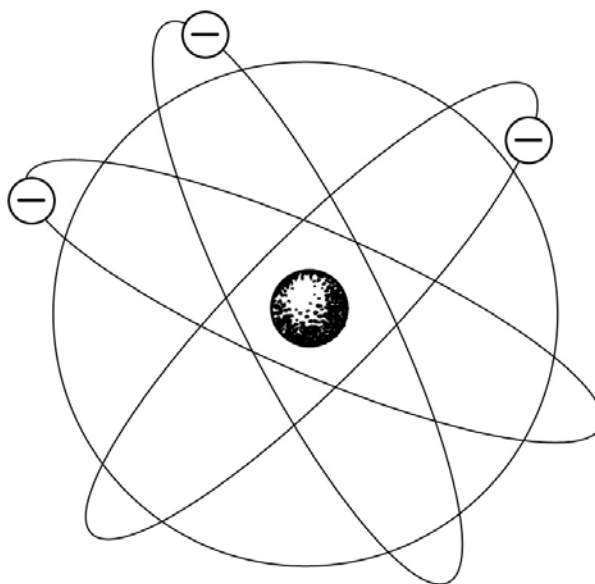
$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2Ze^2}{R}$$

gdzie Z – liczba atomowa, e – ładunek elementarny, a R – promień atomu. Kładąc wartości $Z = 80$ i $R = 0,1 \text{ nm}$ dla złota otrzymujemy na wartość tego potencjału około 2300 eV, co wobec typowej energii cząstek α z naturalnych źródeł ok. 5 MeV, oznacza bardzo niewielką energię, a energia ta musiała być jeszcze pomniejszona o wartość ładunków wnoszonych przez elektrony. W takich warunkach można było łatwo dowieść, że cząstki α powinny rozpraszać się na takich atomach pod niewielkimi kątami, rzędu $4 \cdot 10^{-4}$ radiana. Rutherford oszacował, że tylko jedna na 10^{3500} cząstek α doznałaby odchylenia pod kątem ϕ równym bądź większym niż 90° . Wyniki eksperymentu pokazały jednak, że takiemu odchyleniu ulega jedna na ok. 20000 cząstek przy rozproszeniu na folii złotej i jedna na 8000 cząstek na folii platynowej. Efekt musiał więc pochodzić z oddziaływania z obiektem o znacznie mniejszym promieniu. Ponadto, biorąc pod uwagę mechanikę zderzeń, masa tego małego obiektu musiała być odpowiednio duża.



Rysunek 3-12 - Schemat układu użytego w doświadczeniu Ernesta Rutherforda, Hansa Geigera i Ernesta Marsdena

W 1911 roku Ernest Rutherford zaproponował własny model budowy atomu, zwanym dziś modelem planetarnym (Rysunek 3-13) (4). Całkowity ładunek dodatni atomu stanowi jądro atomowe znajdujące się w jego środku (3). Wokół jądra, na wzór orbit planetarnych, poruszają się elektrony.



Rysunek 3-13 - Model atomu Ernesta Rutherforda

Korzystając z zasady zachowania energii Rutherford oszacował promień jądra atomowego (5). Korzystając z przytoczonego wyżej wzoru na energię cząstki α w polu sił elektrycznych atomu o liczbie porządkowej Z oraz wartości energii kinetycznej cząstki α o masie m poruszającej się z prędkością V :

$$E_k = \frac{mV^2}{2}$$

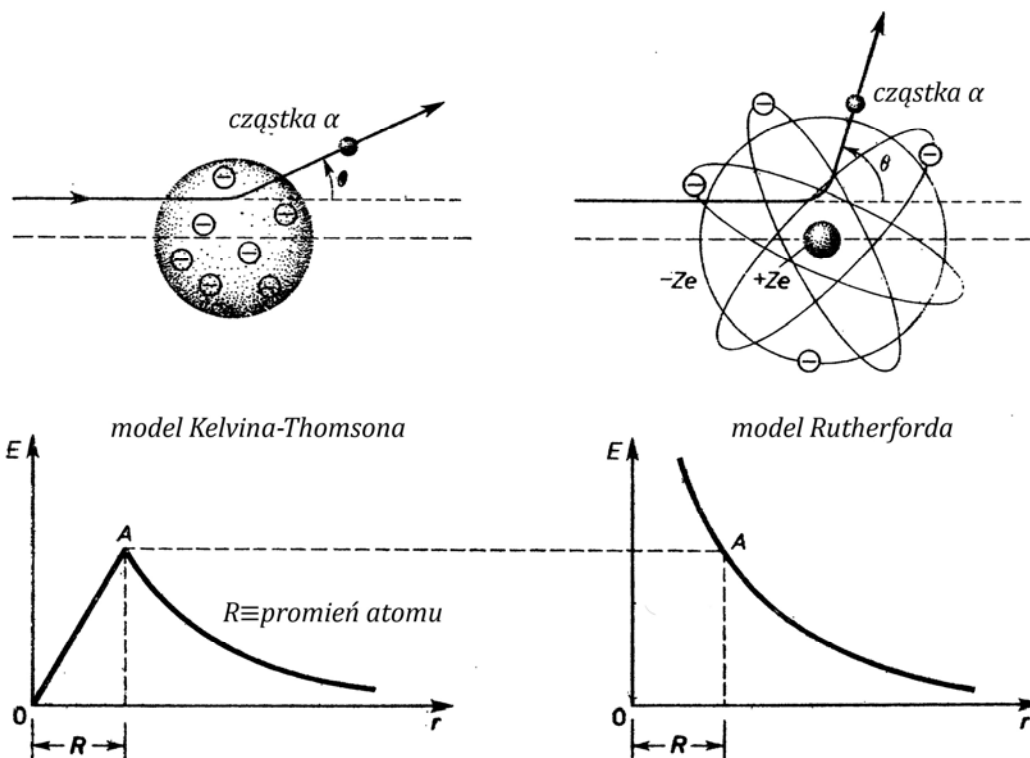
zasada zachowania energii mówi, że w momencie zderzenia cząstki α z jądrem atomu, całkowita energia kinetyczna cząstki zostanie przekształcona na pracę przeciwko siłom odpychania elektrycznego, a więc:

$$\frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} = \frac{mV^2}{2}$$

Tak więc zderzenie musi zachodzić w odległości cząstki od istotnego tu obiektu:

$$r_0 = \frac{4Ze^2}{4\pi\epsilon_0 mV^2}$$

W zależności od liczby porządkowej Z atomu, Rutherford otrzymał wartość promienia jądra atomowego r_0 rzędu $10^{-14} - 10^{-15}$ m. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdził, że prawie całe wnętrze atomu, o rozmiarze rzędu 10^{-10} m, stanowi pusta przestrzeń.



Rysunek 3-14 - Porównanie zjawiska zderzenia cząstki α z atomem zgodnie z modelem Kelvina-Thomsona oraz modelem Rutherforda

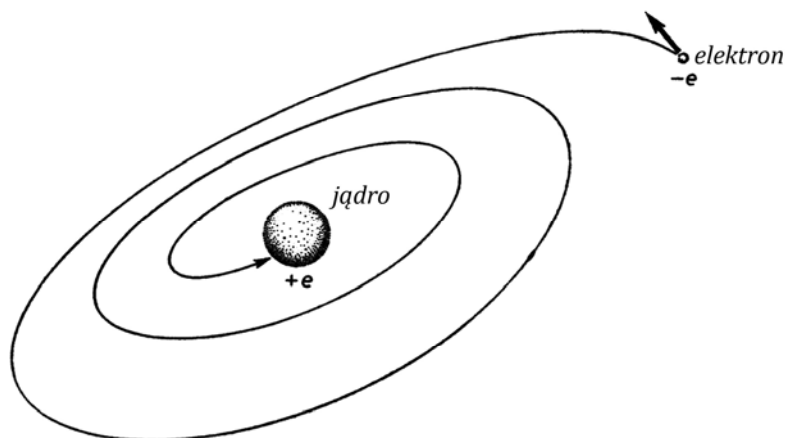
Pole elektryczne, działające na cząstkę α w układzie atomu zbudowanego zgodnie z modelem Kelvina-Thomsona, wzrasta liniowo w miarę przesuwania się cząstki od środka atomu do jego powierzchni, na której osiąga maksimum (37) (Rysunek 3-14). Dla odległości r większej od promienia atomu, pole elektryczne maleje zgodnie z zależnością:

$$E = k \left(Z \frac{e}{r^2} \right)$$

gdzie E – pole elektryczne działające na cząstkę α , r – odległość cząstki α od środka atomu.

Ta sama relacja opisuje wartość pola w zależności od odległości cząstki od jądra atomowego w przypadku modelu Rutherforda. W przeciwieństwie jednak do modelu Kelvina-Thomsona jest ona słuszna w całym zakresie odległości r . Wartość pola, w momencie osiągnięcia przez cząstkę α odległości r równej promieniowi atomu R , osiąga taką samą wartość jak w przypadku modelu poprzedniego.

Model Rutherforda dostarczył poważnych problemów teoretycznych. Aby ujemnie naładowane elektrony i dodatnio naładowane jądro atomowe w wypadku działania sił przyciągania nie spadły na siebie, elektrony musiały być w nieustannym ruchu orbitalnym wokół jądra. To jeszcze nie było powodem do zmartwienia, gdyż analogicznie działa układ planetarny. Tu jednakże, zgodnie z równaniami klasycznej elektrodynamiki Maxwella, cząstki naładowane poruszając się po okręgu tracą energię na skutek emitowania przez nie promieniowania elektromagnetycznego (38). W rezultacie tracące prędkość elektrony powinny w ciągu ułamka sekundy spaść na jądro po torze spiralnym (Rysunek 3-15). Atomy, a z nimi każda materia z nich zbudowana, w mgnieniu oka przestałyby istnieć. Model Rutherforda okazał się mechanicznie niestabilny.



Rysunek 3-15 - Problem utraty energii przez elektron w planetarnym modelu atomowym Rutherforda