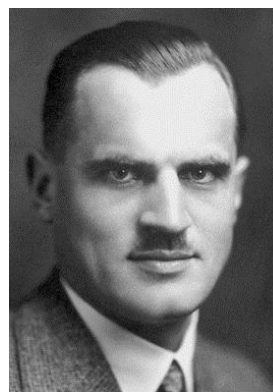


Zjawisko Comptona

Zofia Gołqb-Meyer

Zjawisko zderzenia fotonu ze spoczywającym elektronem, nazwane później jego imieniem, zaobserwował i opisał Arthur Holly Compton (1892–1962), za co w roku 1927 otrzymał Nagrodę Nobla. Fizyka była wtedy w stanie rewolucyjnego wrzenia. Powstawała fizyka kwantowa.

Arthur Compton, Amerykanin, dołączył do grona rewolucjonistów kwantowych. Podobnie jak jego europejscy koledzy był doskonale wykształcony (między innymi w Princeton), pochodził z inteligenckiej, wręcz akademickiej rodziny, i miał możliwość podróżowania po Europie (m.in. do laboratorium Rutherforda w Cambridge, Anglia) w celach naukowych¹.



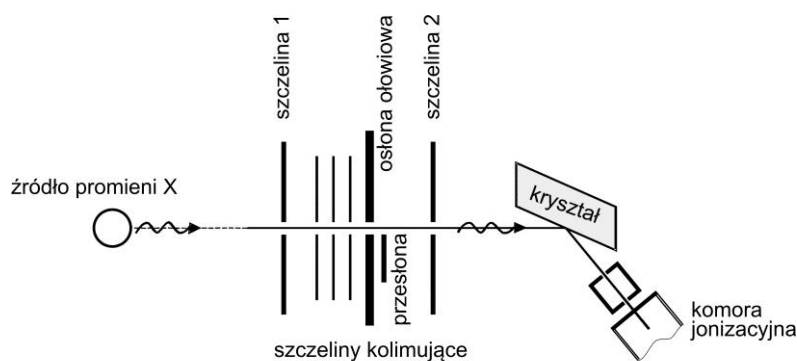
Za umowną datę narodzin fizyki kwantowej uważa się 19 października 1900 roku, kiedy to Max Planck na posiedzeniu Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego w celu wytłumaczenia widma ciała doskonale czarnego przedstawił ideę skwantowania promieniowania elektromagnetycznego. W 1918 roku Planck otrzymał Nagrodę Nobla za „wkład do rozwoju fizyki dzięki odkryciu kwantów energii”. Skwantowana porcja pola elektromagnetycznego nosi nazwę fotonu, a jej energia jest równa $E = h\nu$ (ν – częstotliwość fali). Na cześć Plancka „ h ” nazwano stałą Plancka. Albert Einstein wykorzystał pojęcie fotonu niosącego energię $h\nu$ (i odpowiednio pęd $h\nu/c$) do wyjaśnienia zjawiska fotoelektrycznego, za co został uhonorowany Nagrodą Nobla w 1921 roku. Przy ówczesnym doskonałym falowym opisie światła i krótszych fal elektromagnetycznych, to jest promieni Roentgena i promieniowania gamma, idea korpuskularnej natury światła, a bardziej ogólnie, idea dualizmu falowo-korpuskularnego, z trudem torowała sobie w fizyce drogę, choć europejscy wielcy fizycy, jak Niels Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schroedinger, Born i inni budowali już zręby mechaniki kwantowej. Sam Bohr w 1922 roku w referacie noblowskim ([1], s. 465) miał powiedzieć: „hipoteza kwantów światła... nie może wyjaśnić natury promieniowania”. Z kolei Werner Heisenberg w książce *Część i całość* przytacza fragment rozmowy, jaką przeprowadził z młodym fizykiem z Chicago,

¹ Polecamy czytelnikom *Historię Fizyki* Andrzeja Kajetana Wróblewskiego, cytowaną w tym artykule.

Bartonem, w 1929 roku ([1], s. 126): „Podczas, gdy w Europie niepoglądowe rysy nowej teorii atomu, dualizm... prowadziły z reguły do gwałtownych dyskusji, czasem do zaciętego odrzucania nowych myśli, większość fizyków amerykańskich zdawała się gotowa do zaakceptowania nowego sposobu widzenia bez żadnych zahamowań”.

Zjawisko rozpraszania promieni Roentgena na graficie, w czasie którego dochodzi do zmiany częstotliwości tego promieniowania, uważane jest za jedno z milowych doświadczeń sugerujących niedostateczność opisu klasycznego i konieczność zastosowania fizyki kwantowej. Obecnie jest ono już rutynowo wykonywane przez studentów w pracowni fizycznej.

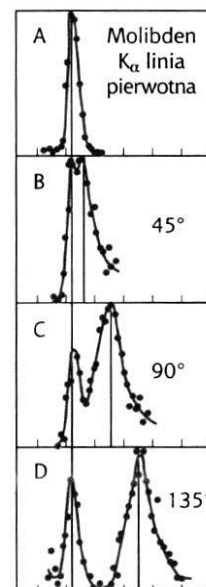
W doświadczeniu Comptona rozprasza się na graficie promienie X i bada natężenie i długość fali rozproszonych promieni.



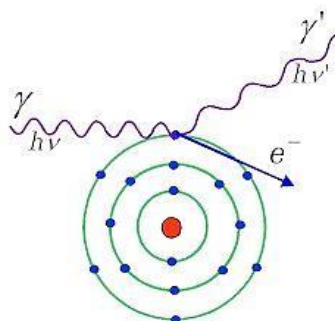
Rys. 1. Schemat aparatury Comptona

Okazało się, że w widmie rozproszonego promieniowania oprócz fal o tej samej długości znajduje się promieniowanie o większych długościach fal.

Rys. 2. Wykres przedstawiający wyniki Comptona. Promieniowanie rozproszone ma dwie składowe o różnych długościach fali: jedna składowa ma identyczną długość fali jak wiązka padająca, druga zaś długość fali większą i zależną od kąta rozproszenia (*Historia Fizyki*, ryc. 15.29, s. 465)

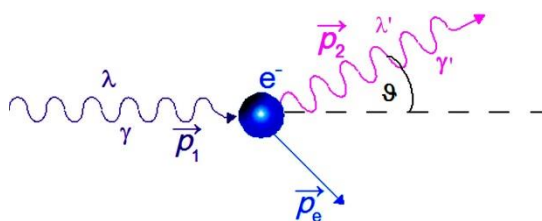


Compton potraktował promienie X jako cząstki niosące energię $h\nu$, oraz pęd $h\nu/c$. Zderzają się one ze swobodnymi elektronami.

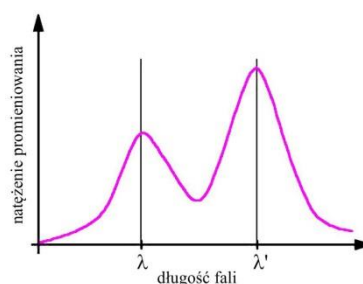


Rys. 3.

W czasie zderzenia zachowane są: pęd i energia. Takie założenie doskonale tłumaczy zjawisko przy zastosowaniu mechaniki relatywistycznej (co ma głębokie uzasadnienie, wszak promienie X poruszają się z prędkością światła). W rezultacie zderzenia fotony (porcje promieniowania X) zmieniają kierunek i energię.



Rys. 4. Schemat zderzenia fotonu z elektronem



Rys. 5. Schematyczny obraz obserwowanego widma

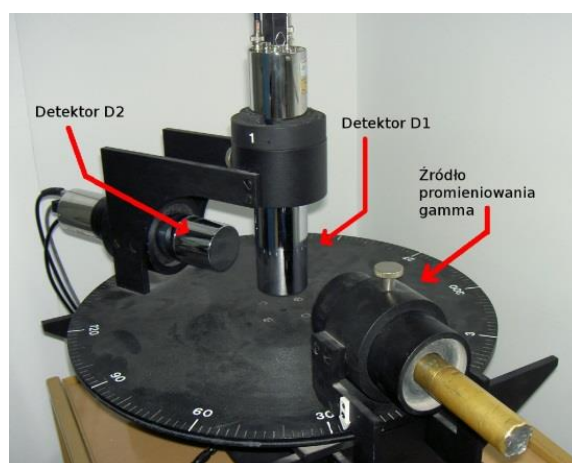
Niezbyt skomplikowane obliczenia, wynikające z zasad zachowania pędu i energii pozwalają wyprowadzić słynny wzór Comptona na zmianę długości fal promieniowania X w zależności od kąta rozproszenia

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta),$$

gdzie θ jest kątem rozproszenia, m_e masą elektronu, c prędkością światła w próżni, a h stałą Plancka. Wyrażenie $\frac{h}{m_e c} = 2 \cdot 10^{-12}$ m nosi nazwę compton-

nowskiej długości fali elektronu. Dlatego w widmie rozproszonego promieniowania obserwuje się dwa piki, przy λ oraz przy λ' .

W przypadku, gdy foton rozprasza się nie na swobodnym elektronie, lecz na całym atomie, w powyższym wzorze zamiast m_e występuje masa atomu i odpowiednia różnica długości fal jest znacznie mniejsza, co powoduje, że nie obserwuje się dodatkowej zmiany długości rozproszonego promieniowania.



Rys. 6. Aparatura używana przez studentów Politechniki Warszawskiej do badania zjawiska Comptona

- [1] Andrzej Kajetan Wróblewski, *Historia Fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1, 2014