

3.8. Jądro atomowe i cząstki elementarne

W latach trzydziestych XX wieku, gdy elektronowa budowa atomu została już dobrze poznana, uwaga badaczy skupiona została na jądrze atomu, o którym wiadano, że jest bardzo niewielkie, a jego masa jest odpowiedzialna za całkowitą masę atomu.

Eksperymenty przeprowadzone w latach 1919-1924 przez Ernesta Rutherforda i Jamesa Chadwicka (1891-1974), którzy bombardowali jądra różnych pierwiastków cząstkami alfa pokazały, że w wyniku tych bombardowań pojawiały się w aparaturze jądra wodoru, pomimo że w momencie rozpoczęcia eksperymentu wodoru w niej nie było. Jądra wodoru były więc wybijane z jąder pierwiastków przez cząstki alfa. Ponieważ wynik ten pokazywał się systematycznie dla wielu bombardowanych jąder, badacze doszli do wniosku, że jądra wodoru, czyli protony, są nośnikami ładunku dodatniego we wszystkich jądrach, a to oznaczało, że jądro jest obiektem złożonym, że ma jakąś strukturę wewnętrzną.

Porównując masy atomów różnych pierwiastków, Rutherford wysnuł hipotezę o istnieniu jeszcze jednej cząstki znajdującej się w jądrze atomu, bardzo podobnej do protonu, ale pozbawionej ładunku elektrycznego. Cząstkę, która miała prawie taką samą masę co proton i razem z nim była składnikiem wszystkich jąder atomowych, Rutherford nazwał neutronem. Wkrótce, w 1932 roku, neutron został odkryty eksperymentalnie przez Jamesa Chadwicka, który bombardując cząstkami alfa tarcze berylowe w obecności wosku parafinowego uzyskał dotąd nieznaną, jak przypuszczał, promieniowanie, które trafiając na wosk wybijało z niego protony. Czym w rzeczywistości była ta nowa cząstka, nie było jednak w pierwszej chwili jasne. Takie promieniowanie mogło być czymś podobnym do promieniowania rentgenowskiego, które jak było wiadome nie niesie ładunku elektrycznego i jest przenikliwe. Ta koncepcja musiała jednak upaść, gdyż energia promieniowania rentgenowskiego była, jak pokazał Rutherford, zbyt mała, aby mogło ono wybijać protony z parafiny czy wosku. Musiały być to zatem cząstki masywne. Takimi mogłyby być, jak podejrzewano, cząstki złożone z protonu i elektronu. Ta hipoteza szybko upadła ze względu na długość fali elektronu zbyt dużą, aby elektron mógł zmieścić się w tak małym obszarze przestrzeni. Neutron musiał być samodzielna cząstką, podobnie jak proton, tyle że bez ładunku elektrycznego.

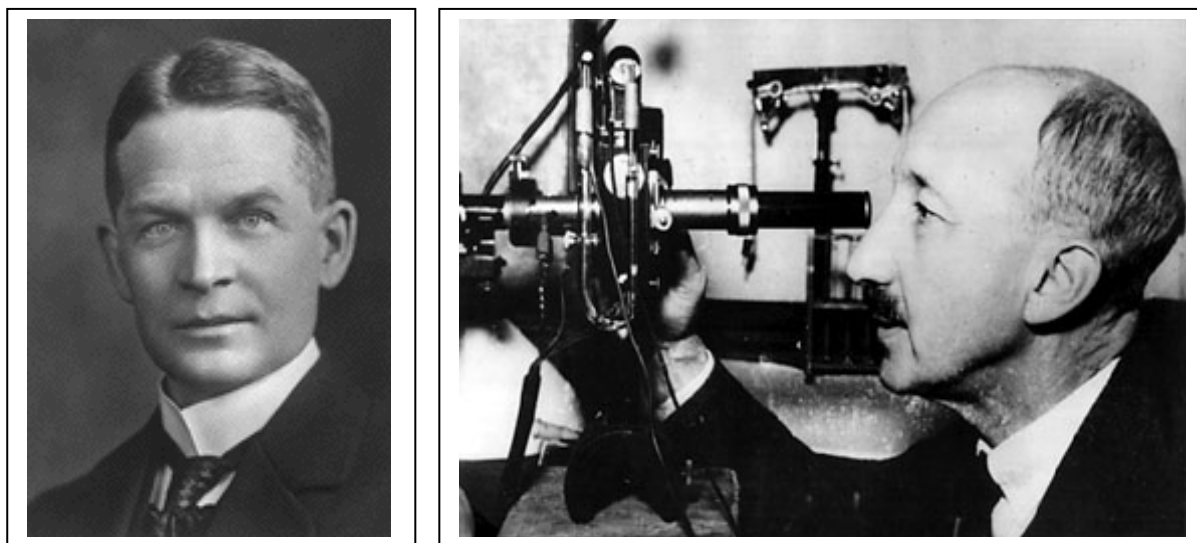
Uznanie protonów i neutronów za składniki jądra atomowego pozwoliło uporządkować wiedzę o podstawowych składnikach atomu. Ze względu na neutralność elektryczną atomu, liczba protonów w jądrze musiała być równa liczbie elektronów w atomie. Liczbę tę nazwano liczbą atomową i standardowo oznacza się ją jako Z . Ponieważ liczba neutronów i protonów w jądrze decyduje o masie atomu, suma tych liczb, oznaczana jako A , została nazwana liczbą masową.

Już wkrótce po odkryciu promieni katodowych odkryto także inny rodzaj promieniowania wychodzącego z katody, ale biegnącego w przeciwnym kierunku – promieniowanie kanalikowe. W odróżnieniu od promieniowania katodowego jednak, promieniowanie to było cechą gazu wypełniającego rurę do wyładowań – jak się łatwo było przekonać jonami dodatnimi tego gazu. Ku zdziwieniu badaczy, reakcja tego strumienia cząstek na pole elektryczne i magnetyczne była odmienna od reakcji promieniowania kanalikowego i to nie chodziło bynajmniej o różny ładunek elektryczny. Istotną obserwacją było, że odchylane promieniowanie dzieli się na składowe, których odchylenia były trochę różne, tak jak by masa cząstek odchylanych była różna. Tego typu obserwacja nieuchronnie

prowadziła do odkrycia faktu, że dany pierwiastek chemiczny może występować w formach różniących się masą – w postaci wielu izotopów. Wśród wybitnych uczonych zajmujących się tą sprawą należy wspomnieć chemika Fredericka Soddyego (1877-1956) i George'a von Hevesyego (1885-1966) (Rysunek 3-47), którzy za swoje prace nad izotopami, otrzymali Nagrodę Nobla. Wiedza o podstawowych składnikach jądra atomowego pozwoliła szybko zrozumieć, że różne izotopy danego pierwiastka chemicznego różnią się zawartością neutronów w jądrze. Z tego właśnie względu jądra atomowe (*nuklidy*) przyjęto oznaczać symbolem



gdzie X jest symbolem chemicznym pierwiastka.



Rysunek 3-47 - Frederick Soddy i George von Hevesy

W latach trzydziestych XX wieku do cząstek elementarnych, będących podstawowymi składnikami świata, zaliczano proton, neutron, elektron i foton. Z biegiem czasu liczba tych cząstek zaczęła niemal lawinowo wzrastać i coraz ważniejszym stawała się odpowiedź na pytanie, które cząstki są rzeczywiście elementarne i czym ta elementarność ma się objawiać. Historia zaczęła zataczać koło. Od atomu rozumianego jako obiekt niepodzielny do jego najdrobniejszych składników.

Prowadzone w drugiej połowie XX wieku badania przyniosły falę odkryć cząstek występujących mniej powszechnie w przyrodzie niż protony, neutrony czy elektrony. Próba usystematyzowania ich przyniosła podział na tzw. fermiony, czyli cząstki, które różnią się spinem: fermiony, to cząstki o spinie połówkowym, bozony zaś mają spin całkowity. Ich zachowania są z gruntu różne. Dla pierwszych z nich obowiązuje zakaz Pauliego. Obsadzanie stanów energetycznych podlega, jak mówimy, statystyce Fermiego-Diraca, podczas gdy zachowaniem bozonów rządzi statystyka Bosego-Einsteina. Podział ten widać w tabeli 3-2.

Dalszy podział fermionów prowadzi do wyróżnienia wśród nich grupy leptonów, a także grupy kwarków – cząstek elementarnych oddziałujących silnie, nie występujących jako cząstki swobodne (jak dotąd nie zaobserwowano „wolnych” kwarków), a uwięzionych w układach złożonych zwanych hadronami.

Z grupy 12 bozonów, 8 z nich stanowią gluony – bezmasowe cząstki pośredniczące w oddziaływaniach silnych między kwarkami. Pozostałe bozony – wuony (W^+ , W^-) i zeton (Z^0) przenoszą oddziaływania słabe, a foton oddziaływania elektromagnetyczne.

Tabela 3-2 - Podział cząstek obserwowanych eksperymentalnie

Fermiony (spin połówkowy)		Bozony (spin całkowity)	
Leptony	Bariony	Mezony	Nośniki oddziaływań
elektron e	proton p	piony	foton
neutrino elektronowe ν_e	neutron n	π^+ π^- π^0	γ
mion μ	lambda Λ	kaony K^+ K^- K^0	bozony pośredniczące W^+ W^- Z^0
neutrino mionowe ν_μ	sigma Σ		
taon τ	ksi Ξ		
neutrino taonowe ν_τ	omega Ω		
	i inne trójkwarkowe	i inne dwukwarkowe	
Hadrony (oddziaływania silne)			

Podstawowym budulcem ciężkich cząstek (*hadronów*) są kwarki, wśród których wyróżnić można 3 rodziny. Rodzina pierwsza to kwarki u i d (ang. *up* i *down*, pol. „górnny” i „dolny”), druga to kwarki c i s (ang. *charm* i *strange*, pol. „powabny” i „dziwny”), trzecia to kwarki t i b (ang. *top* i *bottom*, dawniej *true* i *beautiful*, różnie tłumaczone na polski: „wysoki” i „niski”, „wierzchni” i „spodni”, „szczytowy” i „denny”, a dawniej „prawdziwy” i „piękny”). Podobnie na trzy różne rodziny można podzielić leptony: elektron i neutrino elektronowe tworzą pierwszą rodzinę, mion i neutrino mionowe drugą, a taon i neutrino taonowe trzecią. Fotony są nośnikami oddziaływań elektromagnetycznych, zaś bozony W^+ , W^- i Z^0 nośnikami oddziaływań słabych. Nośnikami oddziaływań silnych jest natomiast osiem tzw. gluonów (od ang. *glue* – „klej”).

Zestawienie wszystkich cząstek, które uważamy obecnie za elementarne, niepodzielne i punktowe, zawiera tabela 3-3. Współczesny podział cząstek elementarnych opiera się na tak zwanym Modelu Standardowym i wyróżnia 12 cząstek, z których zbudowana jest materia, zwanych fermionami i 12 cząstek odpowiedzialnych za przenoszenie oddziaływań między innymi cząstkami, zwanych bozonami.

Tabela 3-3. Podział cząstek elementarnych

rodzina	1	2	3	
kwarki	górnny u	powabny c	prawdziwy t	foton γ
	dolny d	dziwny s	piękny b	gluony g
leptony	neutrino elektronowe ν_e	neutrino mionowe ν_μ	neutrino taonowe ν_τ	zeton Z^0
	elektron e	mion μ	taon τ	wuony W^\pm

nośniki oddziaływań

Należy tu zauważyć, że zawarty w tabeli obraz jest jedynie połowiczny, bo każdy lepton i kwark posiada swoje „lustrzane” odbicie, czyli antycząstkę. Dodatkowo obraz ten w przyszłości może zmienić się, albowiem w dalszym ciągu poszukiwane są inne cząstki elementarne, takie jak grawiton czy bozon Higgosa, postulowane przez różne modele teoretyczne. (49)

Warto raz jeszcze powtórzyć, że terminy „cząstka elementarna” i „atom” w dzisiejszym znaczeniu różnią się zasadniczo, podczas gdy „atom” starożytnych był właśnie taką „cząstką elementarną”.