

### 39. Fabryka deuteru

Następnego dnia Dominik kilkakrotnie pytał mamę, kiedy wróci tata. I wyjaśnił:

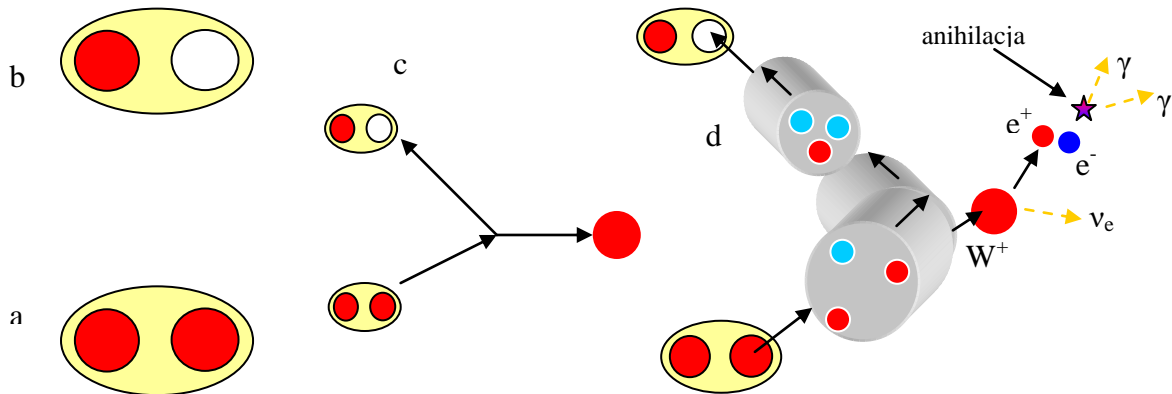
- Wczoraj narysowałem obrazek swojego snu, a ty mamusiu, dopisałaś dziwne nazwy. Tatusi wczoraj powiedział mi, że nukleony składają się z kwarków, ale nie zdążył wyjaśnić mojego snu, którego w dalszym ciągu nie rozumiem. Obiecał, że dzisiaj mi to wyjaśni.

Tatusi wrócił wieczorem i tradycyjnie przed snem przyszedł wraz z mamą, wziął do ręki mój rysunek oraz rysunek, który sam zaczął rysować poprzedniego dnia i rozpoczęła się nasza długa rozmowa.

T - W swoim śnie widziałeś w jaki sposób powstaje deuteron. Wykonałeś bardzo dobry szkic tego procesu (rys. 40). Teraz twój szkic odtworzę i uzupełnię paroma szczegółami (rys. 42). U dołu po lewej stronie mamy symboliczny obraz diprotonu (rys. 42a) - dwa protony związane w jedno jądro atomu, a u góry deuteron (rys. 42b), czyli jądro atomu złożone z protonu i neutronu. Wiemy, że te pary nukleonów są związane ze sobą oddziaływaniami silnymi, co oznacza, że wiążą je mezony pi. W środkowej części rysunku (rys. 42c) naszkicowałem przebieg zdarzenia: zamianę biprotonu w deuteron spowodowaną emisją bardzo ciężkiej cząstki wuonu  $W^+$ . Wreszcie rysunek 42d przedstawia szczegóły mechanizmu zamiany jednego z protonów w neutron.

D - Tatusiu, a dlaczego zamiast kółka oznaczającego neutron lub proton narysowałeś taką rurkę z kolankiem?

T - Dobre pytanie, synku. Szare kolanko symbolizuje tor ruchu protonu, który zmienia się w neutron, a błękitne i różowe kółeczka - to kwarki. Ich ładunek elektryczny symbolizuje intensywniejsze lub słabsze zabarwienie różowe lub błękitne. Kolanko i strzałki pokazują drogę przemieszczania się tego protonu, który stanie się neutronem, rurka - drogę neutronu.. Początkowo biproton porusza się ukośnie w prawo, a kolanko oznacza miejsce, w którym jeden z protonów zmienił się w neutron i zmienił kierunek ruchu. Teraz porusza się ukośnie w lewo.



Rys. 42. Mechanizm zamiany biprotonu w deuter. a) biproton, b) deuter, c) tory ruchu w momencie przemiany, d) szczegóły przemiany protonu w neutronu i rozpadu wuonu (gwiazdka oznacza miejsce anihilacji pozytonu i elektronu).

n  
udd

$\nu_e$

Masy MeV

**n ~ 940**

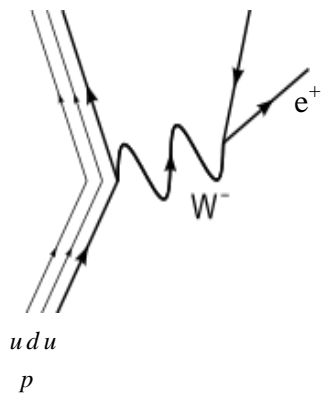
**p ~ 938**

**e ~ 0,5**

**u ~ 4**

**d ~ 10**

**W~ 80 000**



Rys. 43. Schemat przemiany protonu w neutron w interpretacji naukowców. Wuon rozpada się na pozyton i neutrino elektronowe

D - Rozumiem, to w tym kolanku kwark "u" wyrzuca z siebie ten olbrzymi wuon ( $W^+$ ), i zamienia się w kwark "d", ale co z ładunkiem elektrycznym? Przecież kwark "u" ma ładunek  $+2/3$ , a "d" tylko  $-1/3$ . Ażeby zmienić ładunek z  $+2/3$  do  $-1/3$  to trzeba dodać cały ładunek ujemny  $-1$ . Skąd ten ładunek się wziął? - mądrze zapytał synek.

T - Brawo, dobrze liczysz i masz rację. Tak dzieje się naprawdę i to jest największą tajemnicą (i zarazem dziwem), by nie powiedzieć cudem. Faktycznie kwark "u" rozpada się na kwark "d" oraz bozon pośredniczący zwany wuonem i oznaczony jako  $W^+$ , który ma ładunek elektryczny  $+1$ , który równoważony obliczony przez ciebie dodany ładunek  $-1$  i jest około tysiąc (1000) razy cięższy do od kwarku "u" czy "d".

D - Rzeczywiście zdarzył się cud, bo nagle zaistniał wuon o masie około 1000 razy większej od masy neutronu "n" czy też protonu "p"! (patrz masy cząstek na rysunku 43) To tak jak w jeziorze Oziornoje, w którym nagle z niczego znalazły się ryby!

T - Synku, ryby pojawiły się tylko raz, a powstanie wuonu występuje zawsze kiedy proton zamienia się w neutron lub odwrotnie, więc jest powtarzalnym zjawiskiem przyrody. Ale masz słuszność, rzeczywiście wygląda to jak cud, w którym znikąd pojawia się masa tysiące razy większa od nukleonów, które uczestniczą w procesie przemiany.

Okazuje się, że nasz świat jest bardzo dziwny. Istnieje taki "bank", który na swój użytek nazwiemy "Bankiem Heiseberga", w którym można pożyczyć potrzebną energię i zamienić w masę wuonu, czyli bozonu  $W^+$ . Co dziwniejsze, bank ten nie ma żadnego zapasu energii. Obowiązuje w nim zasada:

"Im większą energię pożyczysz, tym szybciej musisz ją zwrócić".

Powstanie bozonu  $W^+$  wymaga dużej pożyczki, więc trzeba ją bardzo szybko zwrócić.

To z tego powodu bozon  $W^+$  musiał bardzo szybko zamienić się w lekki pozyton, czyli elektron o ładunku dodatnim ( $+1$ ) i neutrino elektronowe " $\nu_e$ " (rys. 42d).

D - Tatusiu, ale co to za bank i gdzie on jest? - zapytał Dominik.

T - Minisiu kochany, to trudna sprawa, i może kiedyś do niej wrócimy. Na razie, by wyjaśnić twój sen, przyjmij do wiadomości, że tak jest, - odparł tata, - po czym kontynuował omawianie snu. - W naszym świecie też jest tak, że bank udziela pożyczek, które w określonym terminie trzeba oddać. Jeżeli dłużnik tego zobowiązania nie wykona, wtedy przychodzi komornik i zabiera dłużnikowi to co za te pieniądze kupił. W ten sposób bank odzyskuje pożyczkę. Pożyczkę, z której powstał wuon trzeba spłacić, a ponieważ nie ma kto jej spłacić, więc bank Heisenberga zabiera masę wuonu. Pozostaje z niego maleńki pozyton, czyli elektron o dodatnim ładunku elektrycznym.

*Los pozytonu w morzu elektronów jest też z góry przesądzony. Kiedy spotka na swojej drodze elektron (o ładunku ujemnym) natychmiast obydwie cząstki anihilują. Anihilują, to znaczy znikają, przestają istnieć jako cząstki materialne, zamieniają się w energię. Ta energia przyjmuje postać dwóch fotonów, czyli kwantów światła, które dostrzeżesz. Dokładne pomiary i obliczenia wykazały, że wuon musiał się rozpaść na pozyton i jeszcze "coś". Owo coś nie ma ładunku elektrycznego i jest tak małe i lekkie, że uczeni też go nie "widzieli". Minęło 50 lat, zanim hipotezę jego istnienia udało się udowodnić. Dowód polega na zaobserwowaniu skutków jakie on wywołuje.*

*Dodajmy jeszcze, że oddziaływanie w wyniku którego następuje przemiana kwarku "u" w kwark "d" nazywa się jądrowym oddziaływaniem słabym.*

*W wyniku takiego procesu powstaje nowa odmiana wodoru, czyli nowy izotop zwany deuterem. Zamiana pojedynczych nukleonów w deuter dostarcza Słońcu bardzo dużo energii, czyli "paliwa". Jednak po to, by zamienić proton w neutron trzeba pożyczyć olbrzymią energię, by na krótką chwilę mógł powstać bozon  $W^+$ . Ze względu na konieczność dużej pożyczki energii zjawisko tworzenia deuteru zachodzi bardzo rzadko. Ale ma to również dodatni skutek. Dzięki temu, że zmiany nukleonów zachodzą rzadko, a nasze Słońce może świecić miliardy lat.*