

## LHC odkrywa nową cząstkę

Ponad 56 lat temu Murray Gell-Mann i George Zweig postawili hipotezę, że jedne z podstawowych składników świata materii – hadrony – są zbudowane z mniejszych obiektów, które zostały nazwane kwarkami. Bariony, takie jak proton i neutron, składają się z trzech kwarków, a mezony, których przykładem może być pion, z pary kwark-antykwar. Autorzy koncepcji kwarków zdawali sobie jednak sprawę z tego, że nie są to jedyne możliwości ułożenia kwarków w większe cząstki. Można bowiem pomyśleć o hadronach zbudowanych z dwóch kwarków i dwóch antykwarków lub z czterech kwarków i jednego antykwarka. Ze względu na liczbę składników takie cząstki określa się mianem, odpowiednio, tetrakwarków i pentakwarków.



## Rozwiązanie zadania M 1660.

Dowolny dzielnik liczby całkowitej dodatniej  $N$  jest równy  $N$  lub jest nie większy niż  $\frac{N}{2}$ . Zatem jeśli suma pewnych dzielników liczb  $k$  i  $k-1$  jest większa od  $k$ , to jeden z tych dzielników jest równy  $k$  lub  $k-1$ .

Jeśli jednym z tych dzielników jest  $k$ , to zachodzi równość  $\ell-1 = k-1+d$ , gdzie  $d > 1$  jest liczbą całkowitą oraz  $d | k-1$ . Oznacza to jednak, że  $d | \ell-1$ , czyli  $\ell-1$  jest liczbą złożoną.

W drugim przypadku, gdy jednym z dzielników jest  $k-1$ , to zachodzi równość  $\ell+1 = k+e$ , dla pewnej liczby całkowitej  $e > 1$  takiej, że  $e | k$ . Podobnie jak wyżej, dostajemy podzielność  $e | \ell+1$ , więc  $\ell+1$  jest liczbą złożoną.

stanowi krótki czas życia tych cząstek oraz niewielkie prawdopodobieństwo ich wyprodukowania. Dlatego nie jest na ogół łatwo ustalić, czy rzeczywiście mamy do czynienia z pojedynczą nową cząstką elementarną, czy też ze stanem związanym dwóch znanych, złożonych cząstek elementarnych. Innymi słowy, możemy mieć do czynienia z sytuacją taką jak przy powstawaniu cząsteczki wody. Fakt, że dwa atomy wodoru i atom tlenu połączyły się w większy obiekt, nie oznacza, że połączyły wszystkie swoje składniki i zatraciły indywidualne właściwości w ramach tej większej struktury.

Jedno z pytań, na które fizycy nie potrafili dotąd odpowiedzieć na gruncie teorii cząstek elementarnych, brzmiało, czy może istnieć tetrakwark zbudowany wyłącznie z ciężkich kwarków i antykwarków, tzn. powabnych i bottom. Latem 2020 roku zespół naukowców opracowujących dane z detektora LHCb udzielił odpowiedzi twierdzącej na to pytanie.

W Modelu Standardowym cząstek elementarnych oddziaływania silne kwarków i antykwarków opisywane są chromodynamiką kwantową. Stosowane dotąd metody obliczeniowe tej teorii sprawdzają się nieźle w przypadku zderzeń wysokoenergetycznych cząstek zbudowanych z kwarków. Jednak ze względu na bardzo dużą siłę, z jaką oddziałują kwarki o niskich energiach, metody chromodynamiki kwantowej w dużej mierze zawodzą przy opisie budowy wewnętrznej hadronów. Dlatego odpowiedzi na pytanie, jakie układy kwarków mogą wiązać się w większe zgrupowania i jakie są właściwości tych układów, poszukuje się przede wszystkim na drodze doświadczalnej.

W ciągu ostatnich kilkunastu lat pojawiło się wiele doniesień o zaobserwowaniu tetrakwarków i pentakwarków. Niektóre z nich wytrzymały próbę czasu, inne zaś okazały się fluktuacjami statystycznymi albo błędną interpretacją danych. Uważa się dzisiaj, że pierwszym odkrytym tetrakwarkiem była cząstka  $Z(4430)$ , zaobserwowana w 2007 roku w japońskim eksperymencie Belle. Jej nazwa podaje w szczególności zmierzoną w doświadczeniu masę cząstki wyrażoną w  $\text{MeV}/c^2$ . Jednak dopiero w 2014 roku wyniki eksperymentu LHCb przy Wielkim Zderzaczu Hadronów jednoznacznie potwierdziły naturę tej cząstki, będącej stanem związanym kwarków dolnego i powabnego oraz antykwarków górnego i powabnego.

Nowe cząstki wykrywa się w eksperymentach zderzeniowych, badając rozkłady tzw. masy niezmienniczej produktów rozpadu tej cząstki. O szczegółach technicznych z tym związanych pisał w  $\Delta_{14}^1$  Maciej Misiura – zasadniczo chodzi o to, że występowanie takiej cząstki wiąże się ze wzrostem liczby obserwacji cząstek mogących być produktami rozpadu nowej, poszukiwanej cząstki, odpowiadających masie niezmienniczej rozpadającej się cząstki. Zasadniczą trudność w badaniu tetrakwarków i pentakwarków

Cząstka  $X(6900)$  miałyby być tetrakwarkiem złożonym z dwóch kwarków i dwóch antykwarków powabnych, połączonych stosunkowo silnymi (sic!) oddziaływaniami silnymi. Zdaniem badaczy, jeśli taka interpretacja zgromadzonych przez nich danych doświadczalnych jest poprawna, już wkrótce należy się spodziewać prawdziwego wysypu obserwacji innych stanów wielokwarkowych. To zaś niewątpliwie przysłuży się lepszemu zrozumieniu budowy hadronów.

Kiedy dwanaście lat temu uruchamiano Wielki Zderzacz Hadronów, wszyscy ekscytowali się możliwością wyprodukowania w nim nowych cząstek. Mało kto chyba jednak przypuszczał, że będą to przede wszystkim cząstki opisywane w ramach Modelu Standardowego o masach rzędu kilku  $\text{GeV}/c^2$ , czyli tylko kilkakrotnie cięższe od protonu. . .

Krzysztof TURZYŃSKI

[LHCb Collaboration] R. Aaij *et al.*, *Science Bulletin* 2020 65(23)1983-1993.