



*Sława, to jednaki wielka rzecz
panie profesorko...*

W kilku ostatnich latach zwiększyło się zainteresowanie fizyków oddziaływaniem bardzo szybkich cząstek z jądrami atomowymi. Powstała nowa gałąź (może gałązka) fizyki: relatywistyczna fizyka jądrowa. Przykładem problemów, które może doczekają się pełnego rozwiązania dzięki tym badaniom, jest pytanie postawione w tytule.

Czy cząstki rodzą się dojrzałe?

W zderzeniach cząstek przy dostatecznie dużej energii powstają nowe cząstki. Są to najczęściej mezony π . Rejestrujemy je dopiero po upływie pewnego, zresztą bardzo krótkiego czasu po powstaniu. Taka „stara” cząstka jest dobrze znana, wiemy, jak oddziaływać z innymi, wiemy, jak się może rozpaść, jeżeli jest nietrwała. Czy rodzi się ona od razu dorosła? Czy bezpośrednio po powstaniu zachowuje się tak samo jak w chwilę później? A jeżeli ma swój okres młodości, to jak długo on trwa? Na to pytanie może odpowiedzieć tylko doświadczenie. Zapraszamy więc do laboratorium, gdzie podejrzmy, jak można rozstrzygnąć postawiony problem.

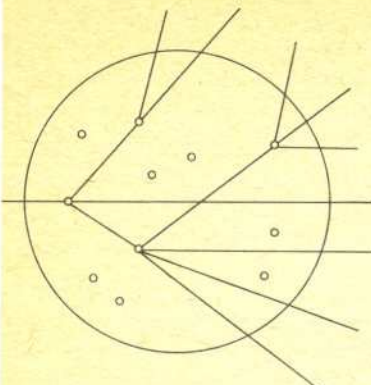
Procesy, o których mówimy, zwane procesami silnych oddziaływań przebiegają w całkiem innej skali czasu i przestrzeni, aniżeli znane nam procesy makroświata. Warto sobie tę różnicę uświadomić, aby zrozumieć jak wielki przedział czasu dzieli powstanie cząstki od chwili, w której możemy ją zarejestrować. Cząstki, o których mowa, są tak małe, że wygodniej ich masę wyrażać w jednostkach energii — elektronowoltach. Masa protonu wynosi 938,2796 MeV ($1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$), co się równa $1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Masa mezonu π^+ lub π^- jest mniejsza, $m = 139,5688 \text{ MeV} = 2,4880 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$. Współczesne akceleratory nadają cząstkom energię do 400 GeV ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$). Mezon π o energii 100 GeV porusza się z prędkością 0,999999026 prędkości światła. Jego energia wyrażona w układzie SI wynosi $1,6 \cdot 10^{-8}$ dżula. Dla porównania: tę samą energię kinetyczną ma ślimak o masie 8 g pełznący z prędkością 2 mm/s. Potężne akceleratory nadają cząstkom bardzo niską energię, mierząc ją skalą makroświata. Energia ta jest tylko niezwykle skoncentrowana. Rozmiar obszaru oddziaływania (bo trudno mówić o rozmiarach cząstki w potocznym znaczeniu słowa) jest rzędu kilku fermi ($1 \text{ fermi} = 10^{-13} \text{ cm}$). Cząstka o prędkości bliskiej prędkości światła przebiegnie obszar 1 fermi w $3 \cdot 10^{-24} \text{ s}$. W emulsji jądrowej można zarejestrować ślad cząstki już w odległości rzędu $1 \mu\text{m}$ od miejsca produkcji, czyli po upływie $3 \cdot 10^{-15} \text{ s}$ od chwili powstania. Stanowi to o dziewięć rzędów wielkości dłuższy okres, niż czas potrzebny na opuszczenie obszaru oddziaływania. Problem postawiony w pytaniu tytułowym nabiera zatem ostrości.

Interesujemy się daleką prehistorią cząstek, tak daleką, że gdyby szukać porównań z życia codziennego, należałoby badać własności jakiegoś obiektu obecnie i w pierwszych latach istnienia Wszechświata. Jak pokonać te 9 rzędów wielkości?

Przede wszystkim należy uświadomić sobie, na czym polega obserwacja cząstki elementarnej, a może trochę ogólniej, na czym polega obserwacja w sensie dosłownym dowolnego obiektu. Prześledźmy z punktu widzenia fizyka proces spoglądania w słoneczny dzień na kwiat czerwonej róży. Dane jest źródło cząstek o ciągłym widmie energii (kwantów promieniowania elektromagnetycznego o ciągłym widmie długości fal — Słońce), tarcza, na którą cząstki padają (róża) oraz detektor i zarazem analizator energii cząstek (oko). W wyniku zderzenia kwantów promieniowania z tarczą następuje rozpraszanie cząstek z określonego przedziału energii i pochłanianie innych. Rozproszeniu ulegają kwanty o energii $1,99 \cdot 10^{-19}$ dżula (czyli promieniowanie o barwie czerwonej o długości fali 700 nm). Kwanty o innych energiach są przeważnie pochłaniane. Detektor rejestruje znacznie więcej kwantów o wyróżnionej energii niż o energiach sąsiednich, a my mówimy, że róża jest czerwona. Tak naprawdę to obejrzelibyśmy nie różę, a oddziaływanie światła słonecznego z różą. Z cząstkami elementarnymi jest podobnie. Mamy źródło cząstek (np. protonów lub mezonów π z akceleratora), tarczę (zbiór protonów — może być wodór) i detektor (użycie oka nie jest wykluczone, ale wysoce niewskazane), na przykład kliszę jądrową lub komorę pęcherzykową. Zderzamy dwie cząstki ze sobą i rejestrujemy, co z tego wyniknie. Oto przykład. Proton o energii 300 GeV nadlatujący z dołu zderzył się z praktycznie nieruchomym jądrem wodoru czyli protonem. Wynikła prawdziwa katastrofa. W zderzeniu powstało 26 naładowanych cząstek.

W podanym przykładzie obejrzelibyśmy oddziaływanie proton-proton. To jedno oddziaływanie nie pozwala na konkretne wnioski. Sto takich zdarzeń pozwala już odpowiedzieć na pytanie, czy przy określonej energii rodzi się dużo czy mało cząstek. Uświadomiamy sobie, że w opisanym eksperymencie biorą udział „stare” cząstki, a więc takie, które przeżyły 10^{-15} s lub znacznie dłuższy okres. Jak obejrzyć oddziaływanie nowo powstałej cząstki na przykład noworodka π ? Rozwiązanie jest w zasadzie proste. Należy zderzyć go z czymś zaraz po powstaniu, ale to naprawdę zaraz, na przykład zanim zdąży przelecieć odległość





kilku fermi. To zaś wymaga umieszczenia tarczy w tak bliskiej odległości od źródła cząstek. Sprawa wydaje się doświadczalnie beznadziejna dopóki nie uświadomimy sobie, jak gęsto upakowane są nukleony w jądrze atomowym. Otóż jeżeli jądro przedstawić w postaci kuli o promieniu r , to $r = r_0 A^{1/3}$, gdzie r_0 jest rzędu 1,1–1,2 fermi, zaś A jest liczbą masową jądra. Dla węgla $A = 12$, wobec czego $r \approx 2,5$ fermi. W kuli o takim promieniu upakowane jest 12 nukleonów: 6 protonów i 6 neutronów. Można zaprojektować tak doświadczenie, aby cząstki powstałe w wyniku zderzenia z jednym nukleonem zderzały się jeszcze W TYM SAMYM JĄDRZE z innym nukleonem. Załóżmy chwilowo — będzie to taka hipoteza robocza — że rodząca się cząstka jest od razu w pełni dojrzała i może oddziaływać tak samo, jak w późnej starości. Znając sposób jej oddziaływania na swobodnych protonach, np. w wodrze, możemy przewidzieć, jak powinno przebiegać oddziaływanie w jądrze. Nasze przewidywania ilustruje rysunek. W jednym jądrze można spodziewać się kilku oddziaływań wtórnych. Proces taki nazywamy kaskadą wewnątrzjądrową. Bez żadnych rachunków można ocenić, że średnia krotność czyli średnia ilość cząstek wtórnych w zderzeniach z jądrami powinna być znacznie większa niż w zderzeniach z protonem. Ilościowo ujmujemy ten efekt badając zależność stosunku R średniej krotności w oddziaływaniach na jądram do średniej krotności w oddziaływaniach na protonach od energii i liczby masowej. Wyniki doświadczeń są zaskakujące. R praktycznie nie zależy od energii i słabo zależy od liczby masowej jądra, co natychmiast obala model kaskady wewnątrzjądrowej. Nasza hipoteza robocza jest nie do utrzymania. Cząstki zaraz po powstaniu są inne. Inne, ale jakie?

Można tu przytoczyć różne opinie, bo zagadnienie nie jest całkowicie rozstrzygnięte. Uważa się obecnie, że to co przechodzi przez jądro po pierwszym zderzeniu nie jest w pełni rozwiniętym stanem wielocząstkowym (czyli takim stanem, w którym każda wtórna cząstka jest już tworem niezależnym), a tylko pewnym stanem pośrednim, który może oddziaływać z innymi nukleonami, ale inaczej niż zwykła cząstka. Fizycy zajmujący się cząstkami elementarnymi badali to zagadnienie w najprostszych warunkach, zderzając mezony π^- o energii 21, 200 i 360 GeV z jądrami deuteru (izotop wodoru). Deuter ma tylko dwa nukleony: pierwszy, z którym mezon π się zderzy, można traktować jako źródło nowo powstałych cząstek, drugi zaś stanowi dla nich tarczę. Tylko w 15% zdarzeń obserwujemy oddziaływanie z oboma nukleonami (podwójne rozpraszanie). Zbadano prawdopodobieństwo podwójnego rozpraszania w zależności od krotności cząstek wtórnych. Okazało się, że prawdopodobieństwo to jest stałe, co potwierdza hipotezę, że w chwili drugiego oddziaływania cząstki nie są jeszcze w pełni ukształtowane. Ilościowo usiłują opisać to zjawisko modele. W 1976 roku G. Białkowski (znany Czytelnikom Delt z licznych artykułów) i współpracownicy zaproponowali model, w którym nowo wyprodukowane cząstki są niedojrzałe i potrzebują pewnego skończonego czasu na stanie się cząstkami fizycznymi. Dojrzewanie przebiega silniej w obecności materii jądrowej. Czas dojrzewania skraca się o wielkość proporcjonalną do ilości przebytej materii. Model ten dobrze interpretuje wyniki wielu doświadczeń, mimo to przedwcześnie jest wyrokować, czy da się go utrzymać, gdy zwiększy się ilość doświadczeń. Już teraz możemy jednak stwierdzić, że cząstka zaraz po powstaniu jest niedojrzała, a to stanowi przecież odpowiedź na pytanie zawarte w tytule.

Zastępca



Zadania

Redaguje mgr Andrzej MAKOWSKI

M148. Wyznaczyć najmniejszą liczbę naturalną, której suma cyfr w rozwinięciu dziesiętnym równa jest 1978.

Rozwiązanie na str. 13

M149. Punkty M i N są odpowiednio środkami podstaw \overline{AB} i \overline{CD} trapezu, przy czym

$$MN = \frac{1}{2}(AB - CD). \text{ Udowodnić, że } \sphericalangle BAD + \sphericalangle ABC = 90^\circ.$$

Rozwiązanie na str. 4

M150. Udowodnić, że jeżeli n jest liczbą naturalną nieparzystą i każda z liczb $1, 2, \dots, n$ jest wyrazem ciągu (a_1, a_2, \dots, a_n) , to liczba $(a_1 - 1)(a_2 - 2) \dots (a_n - n)$ jest podzielna przez 2.

Rozwiązanie na str. 6

Redaguje dr Waldemar GORZKOWSKI

F50. Jednorodną cienką powłokę kulistą o masie m i promieniu R rozcięto wzdłuż koła zaznaczonego na rysunku barwną linią. Odległość środka koła O' od środka powłoki O wynosi h . Z jaką siłą przyciągają się obie części powłoki?

Rozwiązanie na str. 15

Mnie nie zależy żeby
było jasno,
tylko żeby jasno było

