

## Zadania z fizyki nr 7, 8

Redaguje dr Andrzej NADOLNY

7. Jednorodną, cienką obręcz o masie  $m$  i promieniu  $r$  wprowadzono w ruch ślizgowy po poziomym, płaskim podłożu z początkową prędkością środka masy  $v_0$ , nadając jej jednocześnie prędkość kątową  $\omega_0$  wirowania w płaszczyźnie pionowej tak, jak to przedstawia rysunek. Jakie warunki muszą być spełnione, aby obręcz wróciła do punktu startowego? Zakładamy, że podłoże jest jednorodne.

8. Podczas słonecznego poranka, gdy trawa pokryta jest jeszcze rosą, można zaobserwować ciekawe zjawisko: spoglądając na swój cień na trawie widzi się aureolę wokół głowy, podczas gdy reszta własnego cienia jest jej pozbawiona. Wyjaśnić to zjawisko.

## Struktura protonu

W 1911 roku angielski fizyk Ernest Rutherford w doświadczeniu polegającym na bombardowaniu cząstkami  $\alpha$  cienkiej złotej folii wykazał, że ładunek elektryczny wewnątrz atomu nie jest rozłożony równomiernie. Wśród rozproszonych cząstek  $\alpha$  znajdowały się takie, które odbiły się od atomów złota pod bardzo dużym kątem. Rutherford wyjaśnił ten niezwykle zaskakujący w owych czasach wynik zakładając, iż wewnątrz atomu znajduje się ciężki, dodatni ładunek punktowy — jądro atomowe.

Zaobserwowanie w następnych latach jąder wodoru wybijanych przez cząstki  $\alpha$  z różnych pierwiastków było jednym z dowodów na to, że w jądrach są protony.

Charakter sił wiążących protony w jądrach atomowych pozwala sądzić, że proton ma złożoną budowę. Potężne energie związane z działaniem tych sił powinny bowiem powodować ciągłe samorzutne pojawianie się i znikanie różnych cząstek, a tym samym tworzenie się skomplikowanej struktury.

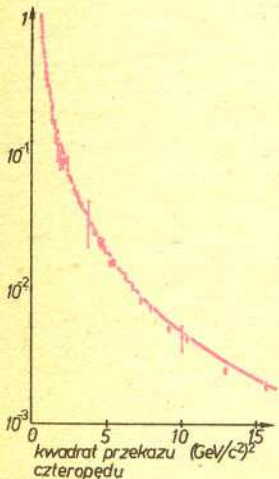
Do badania tej struktury zastosowano, z niewielkimi zmianami, eksperyment Rutherforda. Cząstki  $\alpha$  zastąpiono elektronami, które nie są czule na, nie do końca poznane, siły jądrowe. Ograniczono się tym samym do badania wewnątrzprotonowego rozkładu ładunku elektrycznego. Dodatkowy warunek eksperymentalny narzuca zasada nieoznaczoności, według której im dokładniej chcemy zlokalizować obiekt, tym bardziej zaburzamy jego pęd. Tak więc, im więcej szczegółów struktury protonu chcemy poznać, tym większy pęd musimy mu przekazać. Do tego potrzebne są jednak elektrony o dużych energiach. Dostarczyły ich akceleratory wybudowane w latach sześćdziesiątych.

Początkowo strukturę protonu badano w zderzeniach elastycznych, w których podczas rozpraszania elektronu nie powstawały żadne nowe cząstki. Prawdopodobieństwo takiego procesu bardzo gwałtownie maleje przy wzroście przekazywanego pędu — dużo szybciej niż przy rozpraszaniu na punktowym ładunku (rys. 1). Interpretacja tego faktu jest prosta. Elektron rozproszony pod dużym kątem przekazuje pęd jedynie fragmentowi protonu, co prowadzi zwykle do naruszenia jego konstrukcji. Towarzyszy temu powstanie wielu nowych cząstek.

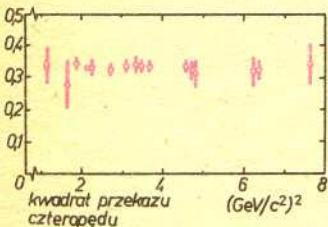
Przy badaniu struktury nie jest właściwie istotne, co dzieje się z protonem (w eksperymencie Rutherforda atom na ogół ulegał jonizacji). Zaczęto więc brać pod uwagę wszystkie przypadki rozpraszania elektronu abstrahując od faktu, iż w większości z nich powstają dodatkowe cząstki. Po tym zabiegu drastycznie zmienił się charakter zależności prawdopodobieństwa oddziaływania od przekazywanego protonowi pędu. Zależność okazała się być identyczna jak dla ładunków punktowych (rys. 2).

Odkrycie to jest w pewnym sensie podobne do odkrycia przez Rutherforda rozpraszania cząstek  $\alpha$  pod dużymi kątami. W obu przypadkach wynik eksperymentu oznacza, że tarcza nie jest jednorodna, a zawiera wewnątrz punktowe ładunki elektryczne. Punktowe cząstki naładowane w protonie nazwano partonami. Istnieje wiele eksperymentalnych dowodów na to, że partony to kwarki wprowadzone wcześniej dla wyjaśnienia pewnych symetrii w świecie cząstek elementarnych. Jak dotąd nie udało się jednak zaobserwować kwarków na zewnątrz protonu i wiele przesłanek teoretycznych przemawia za tym, że nie uda się to nigdy.

Zmiana stosunku prawdopodobieństwa rozpraszania elektronu na protonie do prawdopodobieństwa rozpraszania na ładunku punktowym w zależności od kwadratu przekazywanego czteropędu  $q^2 = E^2 - p^2 \cdot c^2$ , gdzie  $E$  — przekazywana energia,  $p$  — przekazywany pęd,  $c$  — prędkość światła:



Rys. 1. Zderzenia elastyczne.



Rys. 2. Wszystkie zderzenia — także z produkcją nowych cząstek.