

Na pytanie co to jest cząstka elementarna odpowiada

prof. dr Grzegorz BIAŁKOWSKI



Pytanie postawione w tytule można rozumieć dwojako: po pierwsze — co chcielibyśmy rozumieć przez cząstkę elementarną, a po drugie — co dziś obejmujemy tą nazwą. W pierwszym znaczeniu chodziłoby więc o podanie definicji, która by mogła nam dostarczyć kryterium rozpoznawania cząstek elementarnych, w drugim zaś o ustalenie stanu faktycznego, do którego doszło w wyniku wieloletnich badań teoretycznych i eksperymentalnych.

Pozornie mogłoby się wydawać, że odpowiedzi na oba pytania powinny się pokrywać. Od nas bowiem tylko zależy, jakie nazwy nadaje się obiektom fizycznym. Nie zawsze jednak tak jest. Najlepiej o tym świadczy przykład nazwy „atom”.

Jak wiadomo, pochodzi ona z języka greckiego (od słowa „atomos”, czyli „niepodzielny”) i została wprowadzona w V w. p.n.e. przez dwu filozofów greckich — Demokryta i jego nauczyciela — Leukippa. Pragnęli oni sobie odpowiedzieć na podstawowe pytanie nurtujące ludzkość od wieków a nawet tysiącleci, a mianowicie, jaka jest najgłębsza, najbardziej podstawowa struktura rzeczywistości. W owych czasach można było udzielić takiej odpowiedzi tylko na drodze spekulacji filozoficznych, gdyż nauki ścisłe były dopiero w powijakach. Leukippos i Demokryt założyli, że wszystko co jest, jest materialne (a więc i dusze!) i że materia nie jest podzielna nieograniczenie, to znaczy, że istnieją jakieś jej najdrobniejsze cząstki („atomy”), z których składa się cały wszechświat. Łączenie się i rozdzielanie atomów filozofowie ci uważali za istotę wszelkich zmian w przyrodzie. Ogromna większość późniejszych filozofów, a w tym takie autorytety jak Platon i Arystoteles, zwalczała hipotezę atomistyczną, która w ciągu wielu wieków nie znalazła należytego oddźwięku.

Do jej ponownego podjęcia przyczyniły się wyniki badań przyrodniczych, a szczególnie obserwacja, że poszczególne pierwiastki łączą się w związki chemiczne zawsze w pewnych ustalonych proporcjach. Fakt ten najłatwiej było wyjaśnić na gruncie hipotezy atomistycznej. Tak więc atom wkroczył raz jeszcze w początku XIX w. do historii myśli ludzkiej, tym razem jednak jako pojęcie podległe weryfikacji eksperymentalnej. W ciągu następnego dziesięciolecia wykryto wiele odmian atomów i uważano je za najbardziej podstawowe elementy materii, niepodzielne — zgodnie z nazwą wprowadzoną przez starożytnych myślicieli.

Jak jednak wiemy, atomy są podzielne. Świadczy o tym zjawisko jonizacji, a jeszcze dobitniej — promieniotwórczości. Nazwa „atom” przestała więc dobrze charakteryzować obiekty tą nazwą objęte. Mimo to jednak, wskutek wieloletniej tradycji nie zaniechano stosowania jej po dzień dzisiejszy. „Atom” Demokryta nie ma, jak stąd widać, wiele wspólnego z „atome” współczesnej fizyki.

Nie zagałęła przez to jednak idea Demokryta. W poszukiwaniu tych właśnie podstawowych składników materii sformułowano pojęcie „cząstki elementarnej”. Początkowo, w latach 1910—1920 można było przypuszczać, że cały wszechświat zbudowany jest wyłącznie z trzech rodzajów cząstek: protonów, elektronów i fotonów. Protony i elektrony mogły tworzyć jądra atomowe (należałoby wziąć A protonów i $A-Z$ elektronów aby uzyskać jądro o liczbie masowej A i atomowej Z), inne elektrony krążyłyby wokół tych jąder, a fotony byłyby potrzebne jako cząstki („kwanty”) pola elektromagnetycznego zapewniającego istnienie sił między elektronami i protonami. Co więcej, zarówno protony jak i elektrony są cząstkami trwałymi („niepodzielnymi”), a więc pasowałyby do koncepcji Demokryta.

Rzeczywistość okazała się jednak znacznie bardziej skomplikowana. Po pierwsze, Dirac przewidział istnienie antycząstek i rzeczywiście antycząstki zostały wykryte, najpierw pozyton jako antycząstka elektronu, a następnie, już w latach powojennych, antyproton. Przekonano się, że elektron i pozyton spotkawszy się, mogą „anihilować”, to znaczy zmieniać się w pewną liczbę fotonów (najczęściej 2 lub 3). Z punktu widzenia koncepcji Demokryta nie jest to zrozumiałe, gdyż „atomy” nie powinny ginąć ani powstawać.

Drugim odkryciem podważającym tę koncepcję było odkrycie neutronu. Okazało się, że neutrony, bliźniaczko podobne do protonów, różnią się od nich tym, że nie są trwałe. W wyniku rozpadu przechodzą one w układ trzech cząstek — proton, elektron i neutrino. Poza tym jednym faktem neutrony są równie podstawowe i elementarne jak protony i trudno sobie wyobrazić, że jedne z nich są „atomami”



a drugie nie są. Dalsze badania, prowadzone począwszy od lat pięćdziesiątych, doprowadziły do wykrycia wielu innych cząstek, które są w ogromnej większości tworami nietrwałymi i to tak bardzo, że średnie czasy życia niektórych z nich (a nawet większości) są krótsze od 10^{-20} s! Obecnie znamy ponad 100 rodzajów tych cząstek. Ginąc, cząstki te zmieniają się w inne cząstki, czasem bardziej, czasem nawet mniej od nich trwałe. Ze względów historycznych wszystkie te obiekty nazywamy cząstkami elementarnymi. Czy jednak nazwa ta, podobnie jak to było w wypadku atomów, nie mija się z rzeczywistością? Odpowiedź na to pytanie nie jest łatwa.

Jakie bowiem kryterium „elementarności” należałoby przyjąć? Trwałość? Nie, bo są cząstki tak elementarne jak neutron, które są nietrwałe. Natomiast istnieją takie twory złożone jak na przykład wiele jąder atomowych, które są trwałe. Brak struktury wewnętrznej? Nie, bo na przykład proton nie jest na pewno cząstką bez struktury. Przedstawia się on, poglądowo mówiąc, jak chmura materii rozrzedzająca się ku brzegom.

Pozostaje więc jedyne możliwe kryterium: cząstki elementarne to te, które są niezbędne do wyjaśnienia własności wszystkich form materii, a więc i innych cząstek, same zaś nie są już przez nic wyjaśniane. Innymi słowy, kryterium to miałyby charakter raczej teoretyczny niż eksperymentalny. Gdybyśmy znali teorię, w której ze znajomości pewnej liczby rodzajów cząstek i ich własności moglibyśmy wydedukować istnienie i własności wszystkich innych cząstek, to mielibyśmy kryterium elementarności. Takiej teorii jednak nie ma, przynajmniej na razie. A priori rysują się trzy konkurencyjne możliwości. Pierwsza, że cząstki elementarne („atomy”) są to niektóre ze znanych już obiektów — może protony, neutrony, elektrony i coś jeszcze? Druga, że wszystkie znane (i może nieznanne) cząstki są równie elementarne. Wedle tej koncepcji wszystkie cząstki są sobie nawzajem potrzebne i nawzajem tłumaczą się teoretycznie (jest to tzw. hipoteza demokracji cząstek). Wreszcie trzecia możliwość to ta, że żadna ze znanych cząstek nie jest elementarna, i że należy zejść o piętro niżej, aby taką cząstkę, czy cząstki wykryć. Może „atomami” są kwarki? Może jeszcze coś innego? Nauka nie daje jeszcze odpowiedzi na te pytania. Jest jednak oczywiste, że sprawa ta będzie nadal przedmiotem wyjątkowych badań i nie straci nic ze swej pasjonującej aktualności. Wszystko po to, aby uzasadnić przekonania dwu mędrców greckich, którzy mawiali: „z tych samych liter powstaje zarówno tragedia jak i komedia”.

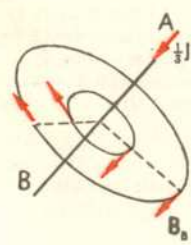
Kwarki — hipotetyczne cząstki o wartościach ładunku mniejszych niż ładunek elektryczny elektronu.



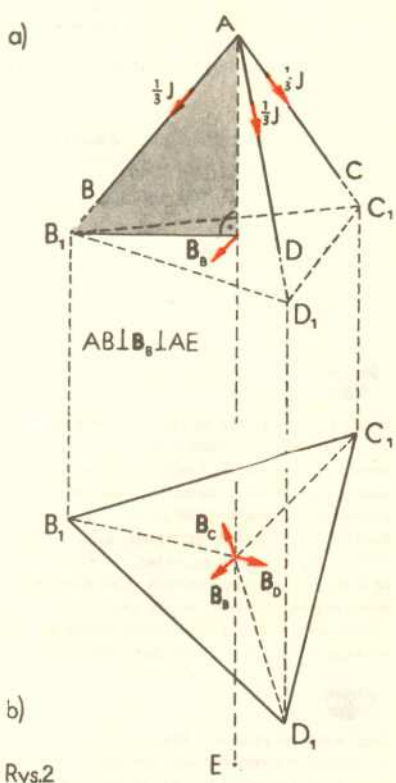
Rozwiązanie zadania F1. Z symetrii obwodu wynika, że potencjały w węzłach B, C, D są równe, a więc odcinkami obwodu BC, CD i DB prąd nie płynie. Pole magnetyczne wytwarzają tylko dwie trójki odcinków prądu AB, AC, AD i EB, EC, ED oraz przewody doprowadzające. Doprowadzenia prądu są współosiowe z odcinkiem AE, nie wytwarzają więc pola magnetycznego w żadnym jego punkcie. Każdy prostoliniowy przewód z prądem (odcinek prądowy) wytwarza w jednorodnym ośrodku pole magnetyczne, którego linie są okręgami leżącymi w płaszczyznach prostopadłych do tego odcinka. Środki okręgów wyznaczają prostą, na której leży odcinek prądowy (rys. 1). Z symetrii obwodu wynika, że każdą z gałęzi ABE, ACE i ADE płynie taki sam prąd i na mocy prawa Kirchhoffa dla węzła A, jego natężenie wynosi $I_1 = \frac{1}{3}I$. Odcinek prądowy AB w każdym punkcie osi AE wytwarza pole o wektorze indukcji B_B prostopadłym do tej osi i do odcinka prądowego (rys. 2). Wektory indukcji wytworzone przez odcinki prądowe AC i AD są takie same co do wartości, także prostopadłe do osi AE (rys. 2a) i tworzą ze sobą kąty 120° (rys. 2b). Wypadkowy wektor indukcji wynosi więc zero w każdym punkcie osi AE.

Tę samą właściwość posiada podobne pole magnetyczne trzech pozostałych odcinków prądowych EB, EC i ED. Pytania:

- 1) W którym miejscu rozumowanie byłoby błędne gdyby ośrodek był niejednorodny? (Odpowiedź na str. 16).
- 2) Czy wektor indukcji B znika na całej prostej AE, a więc czy $B = 0$ także wewnątrz przewodów?
Odpowiedź na pytanie 2. Prąd płynący przewodem o skończonej grubości możemy wyobrazić sobie jako zbiór elementarnych prądów płynących równoległe do przewodnika. Jeżeli rozkład tych prądów ma symetrię osiową (zachodzi to w szczególności gdy gęstość prądu jest stała w każdym przekroju przewodnika), to w każdym punkcie tej osi znika pole magnetyczne. Przy takim założeniu wektor $B = 0$ na całej prostej AE.



Rys.1



Rys.2