

## Poznawanie przez zderzanie

**Równy sto lat temu przeprowadzono doświadczenie, które otworzyło bramę do poznania struktury atomu. Teraz podobnego przełomu fizycy oczekują po Wielkim Zderzaczu Hadronów LHC, który po niespodziewanej awarii ma być ponownie uruchomiony jesienią.**

**Stanisław Mrówczyński**

Ernest Rutherford, wielki nowozelandzki fizyk, noblista, wspominał, że na początku 1909 r. doznał wstrząsu, kiedy poznał wyniki eksperymentu przeprowadzonego właśnie przez jego młodych współpracowników – Hansa Geigera i Ernesta Marsdena. Badali oni zachowanie cząstek alfa, emitowanych przez próbkę radu przy przechodzeniu przez cienką złotą folię. Zdecydowana większość cząstek – dziś wiemy, że są to jądra atomu helu – przechodziła przez folię, jakby jej nie zauważając, niektóre odchodziły się nieco od swojego pierwotnego toru, zdarzały się jednak i takie, choć niezwykle rzadko, które od folii odbijały się jak od ściany. Wyglądało to tak – wspominał Rutherford – jakby wystrzelona armatnia kula, trafiwszy w serwetkę, ugodziła nas rykoszetem. Zastanawiając się, jak pogodzić niemal zupełną przezroczystość folii z jej zdolnością do odbijania cząstek alfa, Rutherford wprowadził planetarny model atomu, w którym prawie cała masa atomu skupiona jest w malutkim, sto tysięcy razy mniejszym od atomu jądrze, wokół którego krążą lekkie elektrony niby planety wokół Słońca.

Aby zrozumieć, jak planetarny model atomu tłumaczy zagadkowe wyniki doświadczenia Geigera-Marsdena, wystarczy wyobrazić sobie chłopca stojącego przed płótnem z cienkich sztachet. Ciska on w stronę płótna kamienie, których większość przezeń przelatuje. Dopiero gdy kamień trafi w sztachetę, jego tor ulega gwałtownej zmianie. Podobnie dzieje się z cząstkami alfa, przechodzącymi przez faktycznie ażurową strukturę folii złota. Jeśli na swej drodze nie natrafiają na jądro atomowe, przelatują nie zauważając folii, gdy ugodzą w jądro, mocno się odchylają. Rutherford nie ograniczył się, oczywiście, do takich tylko wywodów, lecz wyprowadził wzór noszący teraz jego imię, który określa prawdopodobieństwo odchylenia cząstki o dany kąt.

**Planetarny model Rutherforda był zaledwie początkiem długiej podróży w głąb atomu.** Okazało się, że zgodnie z klasyczną elektrodynamiką, elektrony nie mogą długo krążyć po kolistych trajektoriach, gdyż szybko wypromieniują energię i spadną na jądro. Problem stabilności atomów był ważnym impulsem kwantowej rewolucji, która naruszyła gmach fizyki klasycznej, lecz wykazała poprawność zasadniczej idei modelu Rutherforda. A doświadczenie Geigera-Marsdena stało się podstawą metody poznania struktury materii poprzez obserwowanie zderzeń badanych obiektów.

Analizując oddziaływanie cząstek alfa z różnymi materiałami, zauważono, że jądra atomowe, na skutek zderzeń, mogą się przekształcać w inne jądra i zmieniać swoją tożsamość. Wraz z odkryciem reakcji jądrowych spełnił się sen alchemików – przemiana jednych pierwiastków w drugie stała się możliwa. Co prawda, zamienianie rtęci w złoto okazało się nieopłacalne, natomiast doniosłość odkrycia, że suma mas jąder wchodzących w reakcję może się różnić od sumy mas produktów tej reakcji, trudno przecenić. Najsłynniejsza bowiem fizyczna formuła  $E = mc^2$  orzeka, że masę można przekształcić w energię. Otworzyło to możliwość budowy bomb atomowych, a także pozwoliło wyjaśnić, że życiodajne ciepło Słońca zawdzięczamy właśnie reakcjom jądrowym.

Tak jak atomy, wbrew swej nazwie (*atomos* po grecku znaczy niepodzielny), okazały się złożone z jądra i elektronów, tak wykazano, że jądra atomowe też nie są monolitem. Inny współpracownik Rutherforda – James Chadwick – badał oddziaływanie cząstek alfa z berylem. Zauważył, że w takich zderzeniach powstają jądra litu i emitowana jest wcześniej nieznaną cząstką nazwaną neutronem. W ten sposób wykazano, że jądra atomowe zbudowane są z wcześniej znanych dodatnio naładowanych protonów i elektrycznie neutralnych neutronów. Atomistyczna idea świeciła wtedy bodaj największy triumf. Całą złożoność otaczającego nas Wszechświata zdawały się zapewniać zaledwie trzy elementarne składniki: neutrony, protony i elektrony. Demokryt pewnie o takiej prostocie nie marzył. Neutrony i protony tworzą jądra atomowe, które zneutralizowane obłokiem

elektronów stają się atomami. A te wiążąc się ze sobą dają molekuly: najprostsze – jak dwuatomowa cząsteczka wodoru, i te cudownie skomplikowane – jak skręcona w podwójną spiralę cząsteczka DNA. Dalsze badania struktur subatomowych wyjaśniły, że neutrony i protony nie są składnikami elementarnymi, jednak poszukiwanie takich składników stało się niezwykle owocnym przedsięwzięciem badawczym.

W doświadczeniach Geigera-Marsdena i Chadwicka cząstki alfa pochodziły z naturalnych rozpadów pierwiastków promieniotwórczych. W tym samym 1932 r., kiedy odkryto neutron, i w tym samym laboratorium Cavendisha w Cambridge, kierowanym przez Ernesta Rutherforda, dokonano rozbicia jądra litu na dwie cząstki alfa przy użyciu sztucznie rozpędzonych protonów. Od tego momentu zaczęto budować coraz to większe akceleratory – maszyny służące przyspieszaniu cząstek. Pierwszy akcelerator Cockcrofta-Waltona, w którym dzięki napięciu prawie miliona woltów przyspieszono protony użyte do rozbicia jądra litu, mieścił się na stole; największe dotychczas zbudowane urządzenie badawcze – Wielki Zderzacz Hadronów LHC w CERN pod Genewą (POLITYKA 25/08) – ma średnicę niemal 9 km. Pomiędzy nimi lokuje się wiele maszyn, dzięki którym osiągnano coraz to wyższe energie zderzanych cząstek. I uruchomienie każdego akceleratora nowej generacji dostarczało nowych odkryć, pozwalało głębiej wniknąć w subatomowe struktury.

**Ernest Lawrence wymyślił i opatentował w 1934 r. tzw. cyklotron.** Przyspieszana w tym urządzeniu cząstka krąży po okręgu na skutek działania pola magnetycznego. Dwukrotnie, podczas każdego obiegu, cząstka doznaje „kopnięcia” polem elektrycznym i, nabierając energii, zwiększa promień obieganego okręgu. Sprawia to, że rozmiar urządzenia określa maksymalną energię cząstki. Pierwszy cyklotron miał zaledwie 10 cm średnicy, potem budowano coraz większe maszyny. Z kolejną musiał Lawrence wynieść się poza kampus Uniwersytetu w Berkeley, na strome zbocza górujące nad miasteczkiem. Powstało tam, noszące teraz imię Lawrence’a, słynne laboratorium, z pięknym widokiem na Golden Gate Bridge i, paradoksalnie, wyjątkowo niesprzyjającymi warunkami do lokowania wielkich urządzeń. Mimo tych problemów laboratorium w Berkeley stało się przodującym ośrodkiem fizyki jądrowej, gdzie odkryto chociażby kilkanaście nowych pierwiastków. A niedawno dyrektor laboratorium Steven Chu – laureat Nagrody Nobla za 1997 r. – został sekretarzem ds. energii w administracji Baracka Obamy.

**Po cyklotronach nastał, w końcu lat 50., czas synchrotronów,** w których podobnie jak w cyklotronach przyspieszane cząstki krążą po okręgu, lecz jego promień nie rośnie wraz ze wzrastającą energią, cząstki bowiem utrzymuje w ryzach zwiększające się proporcjonalnie pole magnetyczne. Synchrotron jest więc rurą otoczoną magnesami, ułożoną w kształt dętki rowerowej. Dzięki takim maszynom o kilometrowych rozmiarach rozpędzono cząstki praktycznie do prędkości światła i osiągnano energię dużo większą niż ta odpowiadająca masie przyspieszanej cząstki. Pozwoliło to wniknąć w przebogaty świat cząstek elementarnych.

Przyczyny pogoni za coraz większymi energiami zderzanych cząstek można wyjaśnić następująco: mikroskop optyczny – nieważne, jak doskonały – pozwala badać tylko obiekty dużo większe niż długość fali świetlnej. Gdy obserwowany obiekt jest od niej mniejszy, staje się niewidoczny, podobnie pojedynczy pal nie stanowi żadnej przeszkody dla długiej morskiej fali. Ponieważ, zgodnie z teorią kwantów, z każdą cząstką stowarzyszona jest fala, to jeśli chcemy poznać strukturę wewnętrzną, powiedzmy, protonu za pomocą elektronu, długość fali elektronu musi być dużo mniejsza niż średnica protonu. A ponieważ długość fali cząstki jest tym mniejsza, im większa jest jej energia, wniknięcie w strukturę protonu wymagało przyspieszenia elektronów do dostatecznie wysokiej energii. Gdy to stało się możliwe na początku lat 60., okazało się, że protony skrywają tajemnicze kwarki, które są jakby składnikami doskonałymi. Mogą bowiem one istnieć tylko jako składniki, nigdy jako samodzielne obiekty – są uwięzione we wnętrzach cząstek takich jako proton czy neutron.

Zderzacze są rekordzistami, jeśli idzie o osiągnięte energie zderzeń. W odróżnieniu od innych akceleratorów, przyspieszają nie jedną, a dwie wiązki cząstek, prowadzone najczęściej w tej samej, przypominającej rowerową dętkę rurze, lecz w przeciwnych kierunkach. W wybranych miejscach dochodzi do zderzeń. Różnica między takimi zderzeniami a tymi, w których przyspieszona cząstka uderza w spoczywającą, jest taka jak między najechaniem na stojący samochód a zderzeniem czołowym dwóch rozpędzonych aut. Zderzacze zdominowały w ostatnich dziesięcioleciach fizykę wysokich energii. Dzięki nim odkryto w CERN w 1983 r. tzw. bozony pośredniczące – cząstki podobne do fotonów, lecz odpowiedzialne za przenoszenie oddziaływań innych niż elektromagnetyczne. Odkrycie

to sprawiło, że teoria, która przewidywała ich istnienie, zyskała status Modelu Standardowego – fundamentu naszego rozumienia najmniejszych struktur Wszechświata.

W ciągu ostatniego ćwierćwiecza Model Standardowy przeszedł bardzo wiele testów, z których zawsze wychodził zwycięsko – nie udało się wykryć choćby najmniejszych odstępstw od jego przewidywań. Jednak jedna cząstka występująca w tym modelu – tzw. bozon Higgsa – wciąż czeka na odkrycie, a i sam model, jak wielu sądzi, nie jest bez wad. Lista elementarnych składników zdaje się zbyt długa, ich własności nie mają wyjaśnienia. Rozważane są więc różne teorie, na gruncie których Model Standardowy znalazłby uzasadnienie. Jest ich tak wiele, że bez podpowiedzi eksperymentalnej prawdopodobnie nie znajdziemy drogi w gąszczu możliwych koncepcji. LHC być może da taki drogowskaz.

10 września 2008 r. wielki zderzacz został uruchomiony w CERN. Nim jednak osiągnął zakładane parametry, doszło do rozszczelnienia helowej instalacji chłodzącej nadprzewodzące magnesy. Trwają prace naprawcze i testy sprawności wszystkich elementów gigantycznego zderzacza. Jesienią tego roku LHC będzie uruchomiony ponownie i oczekuje się, że wszystko pójdzie gładko.

**Paradoksalnie, najgorszym wariantem dla przyszłości fizyki cząstek elementarnych będzie sytuacja,** gdy ujawni się jedynie dawno oczekiwany bozon Higgsa, co potwierdzi słuszność Modelu Standardowego. Ponieważ trudno przypuszczać, by w dającej się przewidzieć przyszłości powstał akcelerator jeszcze większy, sama obserwacja Higgsa nie podpowie, co skrywa się za Modelem Standardowym, który nie jest dość elegancki, by uznać go za teorię ostateczną. Dlatego fizycy z nadzieją czekają, że dzięki LHC stwierdzimy odstępstwa od tego modelu. Nastąpi wtedy złoty wiek fizyki cząstek – jak na początku XX w., gdy nieoczekiwane wyniki doświadczeń torowały drogę teorii kwantów.

**Autor jest profesorem fizyki, pracownikiem Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach oraz Instytutu Problemów Jądrowych w Warszawie.**

Prawa autorskie © S.P. Polityka. Artykuł pochodzi z archiwum internetowego [www.polityka.pl](http://www.polityka.pl)