

Stanisław Mrówczyński

Szósty kwark



Fermilab z lotu ptaka. Widoczny okrąg Tevatronu

Odkryto poszukiwany od kilkunastu lat kwark t – szósty i , jak się wydaje, ostatni. Dzięki temu teoretyczny model świata materialnego znalazł kolejne potwierdzenie.

Odkrycie kwarka t zwanego prawdziwym (od angielskiego *true*) lub szczytowym (*top*), o czym doniesiono 26 kwietnia tego roku, nie było zaskoczeniem. Poszukiwano go od kilkunastu lat, był brakującym elementem skomplikowanej układanki – tzw. Modelu Standardowego będącego sumą naszej wiedzy o najprostszych składnikach materii. Odkrycie to ma duże znaczenie nie tylko dla fizyki cząstek elementarnych. Dzięki badaniom najmniejszych obiektów w Kosmosie rozszerza się również nasza wiedza o Wszechświecie jako całości, o jego wczesnych fazach, gdy wkrótce po Wielkim Wybuchu cząstki elementarne były jedyną formą materii w nim występującą, a jej wła-

sności rozstrzygały o dalszych losach świata. Te zdawałoby się przeciwne kierunki badań struktur najmniejszych i największych wspaniale się uzupełniają. Fakt, że kwark prawdziwy jest rzeczywiście tam, gdzie być powinien, pozwala wierzyć w prawdziwość całego naszego obrazu Natury od mikro- aż po makrokosmos.

Bogactwo złożonych struktur starano się przez stulecia wyjaśniać składając proste elementy. W starożytności wielość materialnych bytów budowano z czterech żywiołów – wody, powietrza, ognia i ziemi, czy z atomów Demokryta. W czasach nam bliższych pierwiastki chemiczne uporządkowane w tablicy Mendelejewa uważano za pierwotny

budulec. Później odkryto atomy, które wbrew swej nazwie (*atomos* znaczy po grecku niepodzielny) udało się rozbić odrywając elektrony od jąder atomowych. Gdy na początku lat trzydziestych naszego wieku ustalono, że jądra atomowe zbudowane są jedynie z dwóch typów cząstek – dodatnio naładowanych protonów i świeżo odkrytych neutralnych neutronów, obraz struktury materii był zdumiewająco prosty. Całą różnorodność otaczającej nas przyrody można było opisać za pomocą zaledwie trzech podstawowych składników – protonów i neutronów tworzących jądra atomowe oraz krążących wokół nich elektronów. Nazwanie tych obiektów cząstkami elementarnymi wydawało się całkowicie uzasadnione.

W tym samym czasie zaczęto odkrywać nowe cząstki. Gorącą dyskusję wywołały badania tzw. rozpadu β jąder atomowych, w którym następuje emisja elektronu. Okazało się, że energia rejestrowanych produktów rozpadu jest

mniejsza niż energia początkowa. Wielki Niels Bohr zasugerował wtedy, że być może mechanika kwantowa, która rządzi procesami atomowymi, dopuszcza złamanie zasady zachowania energii. Natomiast według Wolfganga Pauliego brakująca energia unosi neutralna, słabo oddziałująca, a zatem nierejestrowana cząstka, którą Enrico Fermi nazwał neutrinem, zdrażniając z włoska słowo „neutron”. Przewidziana w roku 1931 owa cząstka – dzisiaj byśmy ją określili jako antyneutrino elektronowe – której początkowo nie traktowano zbyt poważnie, została doświadczalnie zaobserwowana dopiero po 25 latach.

Wcześniej, już w roku 1932, odkryto eksperymentalnie pozyton interpretując go jako antycząstkę elektronu. W ten sposób pojawiła się w fizyce antymateria. Chociaż w przyrodzie nas otaczającej występuje tylko materia, każdej cząstce elementarnej odpowiada antycząstka. Można powiedzieć, że w odróżnieniu od makroświata w mikroświecie mamy symetrię między materią a antymaterią.

Badając zderzenia szybkich jąder atomowych obserwowano coraz to nowe, wcześniej nieznanne typy cząstek elementarnych produkowane w tych zderzeniach. Zarejestrowano tzw. ciężki elektron, czyli mion, odkryto mezony π i cząstki dziwne. W latach trzydziestych i czterdziestych jedynym źródłem dostatecznie szybkich jąder, głównie jąder wodoru, tzn. protonów, były promienie kosmiczne – strumienie cząstek nieustannie bombardujące Ziemię. Jako detektory cząstek wykorzystywano najczęściej emulsje fotograficzne wynoszone balonami w wysokie warstwy atmosfery bądź umieszczane na szczy-

Hadrony i model kwarkowy

Hadrony to niezwykle liczna grupa cząstek elementarnych podlegających oddziaływaniom silnym, którą dzielimy na bariony – do nich należą neutron i proton – oraz mezony. W modelu kwarków bariony wyobrażamy sobie jako zbudowane z trzech kwarków, mezony zaś z kwarka i antykwarka. W momencie sformułowania modelu potrzeba było jedynie trzech typów kwarków, aby opisać wszystkie znane wówczas hadrony. Wprowadzono wtedy kwark *d* dolny (*down*) o ładunku elektrycznym równym $-1/3$ ładunku jednostkowego, kwark *u* górny (*up*) obdarzony ładunkiem $+2/3$ oraz kwark *s* dziwny (*strange*) o ładunku $-1/3$. Proton, którego ładunek równy jest jedności, jest kombinacją (*u, u, d*), zaś elektrycznie neutralny neutron – kombinacją (*u, d, d*). Bariony dziwne Λ , Ξ i Ω zawierają odpowiednio jeden, dwa i trzy kwarki *s*. Najbardziej popularne mezony π – to (*u, \bar{d}*) i (\bar{u}, d), gdzie kreska nad symbolem oznacza odpowiedni antykwark o ładunku przeciwnym niż kwark. Mezony dziwne zawierają oczywiście kwark *s*. Zauważmy, że z kwarków o ładunkach ułamkowych budujemy cząstki o ładunkach całkowitych.

tach gór. W końcu lat pięćdziesiątych pojawiły się potężne akceleratory zdolne przyspieszać protony do energii znacznie większej niż ich masa (jak pamiętamy, bodaj najśłynniejsza formuła fizyczna $E = mc^2$ mówi o równoważności tych wielkości). Wypracowano nowe metody rejestracji, badania nabrały ogromnego rozmachu, odkrywano coraz więcej nowych cząstek.

W świecie, w którym żyjemy, są tylko dwa rodzaje sił – grawitacyjne i elek-

tromagnetyczne. Cząstkami elementarnymi rządzą zaś jeszcze dwa inne oddziaływania: tzw. silne, które, w szczególności, wiążą neutrony i protony w jądra atomowe, oraz tzw. słabe, odpowiedzialne między innymi za wspomniany rozpad β . Cząstki zaczęto grupować według oddziaływań, którym podlegają. Tak wydzielono hadrony¹ – cząstki oddziałujące silnie. Grupa ta, do której należą oczywiście składniki jąder atomowych, zaczęła się niebawem rozrastać. W roku 1964 znano już ponad 600 hadronów, a w 1967 ich liczba przekroczyła 1400. Chociaż w znakomitej większości cząstki te rozpadały się niemal natychmiast po wyprodukowaniu, wydawało się, że wszystkie one są równie elementarne jak proton czy neutron. Pogląd, że świat stworzony jest zaledwie z kilku prostych składników wymagał więc zrewidowania.

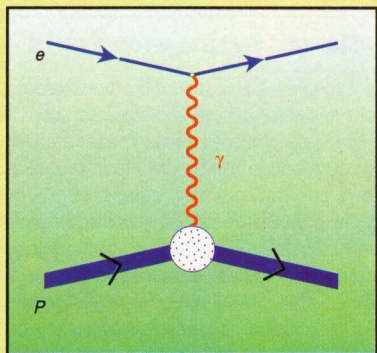
Mnogość hadronów doprowadziła niektórych do wniosku, że został osiągnięty kres atomizmu. „Demokrację” hadronową, w której każdy hadron jest równie złożony co elementarny, przeciwstawiano „arystokratycznemu” atomizmowi, gdzie wyróżnieni „arystokraci”, na przykład dla jąder atomowych protony i neutrony, odpowiedzialni są za powstawanie struktur złożonych. Zwrócono uwagę na kultury Wschodu, gdzie bogactwo form tłumaczy się nie za pomocą prostych składników, lecz raczej prostą zasadą porządkującą.

Zaproponowano nawet taką zasadę mającą wyjaśnić różnorodność świata hadronów. W dużym uproszczeniu brzmiała ona następująco: Hadrony zbudowane są z hadronów, które zbudowane są z hadronów, które... itd. Tak więc wprowadzono do fizyki charakterystyczny pogląd wschodniego mistycyzmu o zawieraniu się wszystkim. Wypełniona matematyczną treścią zasada pętli (*bootstrap*) doprowadziła do pewnych sukcesów, jednak całe podejście załamało się².

Równoległe z „demokratycznym” kontynuowano „arystokratyczny” czy atomistyczny nurt poszukiwań. Okazało się, że hadrony układają się w pewne grupy analogiczne do kolumn i rzędów w tablicy pierwiastków Mendelejewa. Ta obserwacja doprowadziła do sformułowania niezależnie przez Murraya Gell-Manna i George’a Zweiga w 1964 roku hipotezy, że hadrony zbudowane są z bardziej elementarnych obiektów, które Gell-Mann nazwał kwarkami. Wy-

Model partonowy

Oddziaływanie elektromagnetyczne dwóch cząstek naładowanych, w szczególności elektronu i protonu, polega na wymianie kwantu pola elektromagnetycznego, tzn. fotonu. Wiemy z mechaniki kwantowej, że każdy obiekt mikroskopowy przejawia własności korpuskularne, czyli zachowuje się jak cząstka, oraz falowe. Długość fali cząstki jest przy tym odwrotnie proporcjonalna do jej pędu. Jeśli długość fali wymienianego fotonu jest dużo większa od rozmiarów protonu, foton „widzi” proton jako ładunek punktowy. Gdy zaś niesie dostatecznie duży pęd i długość jego fali jest dużo mniejsza od średnicy protonu, wówczas „dostrzega” wewnętrzną strukturę protonu. Głęboko nieelastyczne rozpraszanie elektronów na protonach, w

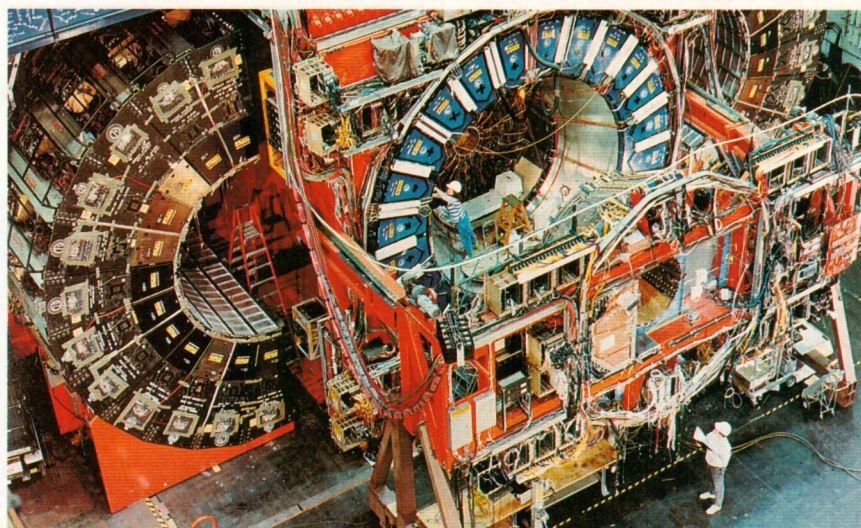


których wymieniany jest foton o bardzo krótkiej fali, wykazało istnienie punktowych, słabo ze sobą oddziałujących składników protonu zwanych partonami.

korzystał on zdanie z ostatniej, nie przetłumaczonej na polski powieści Joyce'a *Finnegan's Wake* brzmiące: „*Three quarks for Muster Mark*”. Zgodnie ze słownikiem Webstera, *quark* jest słowotworem Joyce'a, choć sprawę może komplikować fakt, że w niemieckim *quark* ma kilka znaczeń – na przykład głupstwo, drobnostka – i być może o to chodziło. Proton i neutron, tworzące razem otaczającą nas materię, zbudowane są właśnie z trzech kwarków, jak u Joyce'a.

Aby opisać znane hadrony, potrzebowano początkowo tylko trzech typów kwarków: *u*, *d* i *s*, tzn. górny (*up*), dolny (*down*) i dziwny (*strange*) (ramka na s. 29 u góry). Przyjęto, że ich ładunek elektryczny, zależnie od rodzaju, wynosi 1/3 bądź 2/3 ładunku elektronu. Ta cecha skazywała kwarki na byt jedynie hipotetyczny, gdyż od czasu słynnego doświadczenia Millikena z roku 1910 pomiary niezmiennie pokazywały, że w przyrodzie występują jedynie ładunki będące wielokrotnością ładunku elektronu.

Zanim jeszcze pojawił się model kwarków, stwierdzono badając oddziaływanie protonów, że są one obiektami rozciągłymi. Sugerowało to ich nieelementarność, gdyż obiekt naprawdę elementarny powinien być punktem nie mającym rozmiaru. Tak jak hipoteza kwarków narodziła się z potrzeby uporządkowania przebogatej zoologii hadronów, badania ich dynamiki doprowadziły do powstania modelu partonowego zaproponowanego przez Richarda Feynmana w roku 1969 (ramka na s. 29 u dołu). W modelu tym rozpraszanie wysokoenergetycznych elektronów na protonach odbywa się jak na chmurze punktowych obiektów, które Feynman



Detektor CDF jest potężnym urządzeniem nafaszerowanym elektroniką

nazwał partonami. Badania doświadczalne, nagrodzone po latach Nagrodą Nobla, w pełni potwierdziły ten obraz.

Ciekawe, że modele kwarkowy i partonowy, będące podstawą współczesnego obrazu hadronów, narodziły się w tym samym miejscu, w słynnym Kalifornijskim Instytucie Technologicznym, gdzie pracowali w sąsiednich pokojach Richard Feynman i Murray Gell-Mann. Powiązanie tych modeli owocowało sformułowaniem niezwykle pięknej teorii nazwanej Chromodynamiką Kwantową, występującej najczęściej pod skrótem QCD – Quantum Chromodynamics (ramka poniżej). W teorii tej pojawił się nowy typ cząstek – gluony od angielskiego *glue* – klej, które wiążą (sklejają) kwarki w hadron. Kwarki i gluony zdają się podlegać ścisłej zasadzie orzekającej, że nie mogą one występować samoistnie. W otaczającej nas materii są zawsze uwięzione we wnętrzach hadronów. Jeśli kwarków

nie można wydzielić, ich ułamkowy ładunek elektryczny przestaje być okolicznością obciążającą.

Wraz z kwarkami pojęcie składnika zyskało nowy sens. Atomy zbudowane są z elektronów i jąder atomowych, lecz mocno uderzony atom rozpada się na owe składniki. Podobnie dzieje się z jądrem atomowym, które umiemy rozbić i wydzielić protony i neutrony. W przypadku hadronów dotarliśmy do granic rozbijalności. Kwarki i gluony są składnikami hadronów i mogą występować tylko jako składniki, nie zaś samoistne obiekty. Gdy z ogromną siłą uderzamy w proton, by wyrwać zeń kwarki, produkujemy tylko nowe hadrony, w których grzechoczą kwarki w nich uwięzione. Kwarki podobnie jak gluony są zatem składnikami doskonałymi.

Jak wspominałem, światem cząstek elementarnych rządzą cztery typy oddziaływań: silne, słabe, elektromagnetyczne i grawitacyjne. Te ostatnie są w tym świecie tak mało intensywne, że nie grają żadnej roli. Oddziaływania słabe, które wraz z radioaktywnością odkryto na przełomie wieków, zdawały się mieć niewiele wspólnego z elektromagnetyzmem. Jednak w latach sześćdziesiątych zaproponowano teoretyczny schemat, w którym siły słabe i elektromagnetyczne są przejawem bardziej podstawowego oddziaływania elektro-słabego. Główni twórcy tej teorii – Sheldon Lee Glashow, Abdus Salam i Steven Weinberg – otrzymali Nagrodę Nobla w roku 1979, lecz swój największy triumf przeżyła ona w styczniu roku 1983. Wtedy to Carlo Rubia z grupą ponad 150 fizyków pracujących w Europejskim Laboratorium Fizyki Cząstek (CERN) pod Genewą, gdzie uruchomio-

Chromodynamika Kwantowa

Utożsamienie partonów z kwarkami doprowadziło do powstania Chromodynamiki Kwantowej, teorii podobnej nieco do Elektrodynamiki Kwantowej opisującej oddziaływanie elektronów oraz ich antycząstek, czyli pozytonów, z polem elektromagnetycznym reprezentowanym w teorii przez fotony. W chromodynamice odpowiedzialni za oddziaływanie elektronów i pozytonów są kwarki i antykwarki, a fotony zaś gluony odpowiedzialne w szczególności za wiązanie kwarków w hadrony. Zamiast ładunku elektrycznego mamy ładunek zwany kolorowym (stań chromo-), który jest jednak nie jednego, lecz trzech rodzajów. Obiekt może być kolorowo neutralny, bądź biały, przez złożenie trzech kolorów podsta-

wowych, jak w barionach, lub gdy dodajemy kolor i antykolor, tzn. kolor i kolor doń dopełniający, jak to się dzieje z mezonami. W elektrodynamice fotony nie niosą ładunku, gluony zaś są kolorowo naładowane i, w przeciwieństwie do fotonów, silnie między sobą oddziałują. W odróżnieniu od atomów, hadrony nie mogą być rozłożone na swoje składniki. Jakkolwiek nie udało się tego wykonać w sposób całkiem zadowalający na gruncie teoretycznym, mamy solidne podstawy doświadczalne, aby wierzyć w tzw. hipotezę uwięzienia głoszącą, że w przyrodzie mogą występować jedynie obiekty białe, takie jak hadrony, w których uwięzione są kolorowe kwarki i gluony.

no największy wówczas akcelerator, doniósł o odkryciu tzw. bozonów pośredniczących W , Z , których istnienie przewidywała Teoria Oddziaływań Elektrosłabych. Carlo Rubia otrzymał już rok później Nagrodę Nobla i nie przeszkodziło mu w tym błędne, jak się później okazało, doniesienie z lipca tego samego roku o zaobserwowaniu kwarka prawdziwego, na który przyszło nam poczekać jeszcze 10 lat.

Teoria Oddziaływań Elektrosłabych wraz ze wspomnianą wyżej Chromodynamiką Kwantową będącą teorią oddziaływań silnych tworzą tzw. Model Standardowy (ramka obok). Kwark prawdziwy stał się jego istotnym elementem na długo przedtem, zanim doświadczalnie go zauważono. Bez niego zawaliłby się cały gmach modelu. Kwarki muszą występować parami, inaczej obserwowalibyśmy pewne rozpady cząstek elementarnych, które w istocie nie zachodzą. Wtedy gdy znane były jedynie trzy kwarki, przewidziano istnienie kwarka c powabnego (*charm*) jako partnera kwarka s dziwnego (*strange*). Kwark powabny został rzeczywiście znaleziony w roku 1974, a odkrywcy – Burton Richter i Samuel Ting – otrzymali Nagrodę Nobla w 1976 roku. Znalezienie w roku następnym kwarka piętego oznaczonego literą b – dennego (*bottom*) lub pięknego (*beauty*) zwiastowało istnienie jeszcze jednego kwarka, prawdziwego właśnie.

W Modelu Standardowym mamy dwie grupy cząstek materii: kwarki oddziałujące silnie oraz tzw. leptony (od greckiego *leptos* – lekki, drobny) nie podlegające temu oddziaływaniu. Leptony (l), podobnie jak kwarki, występują parami. W pierwszej parze podąża elektron ze swoim neutrinem, a za nimi

Model Standardowy

Model Standardowy jest połączeniem Chromodynamiki Kwantowej z Teorią Oddziaływań Elektrosłabych. W modelu tym wyróżniamy dwie grupy obiektów – cząstki materii oraz nośniki oddziaływań. Dodatkowo jest jeszcze tzw. mezon Higgsa nie należący do żadnej z tych grup. Cząstki materii to występujące parami kwarki i lepton:

kwarki – (u, d) , (c, s) , (t, b) ,
leptony – (e, ν_e) , (μ, ν_μ) , (τ, ν_τ) .

Kwarki u, c, t mają ładunek elektryczny równy $2/3$ ładunku jednostkowego, zaś $d, s, b - 1/3$. Leptony – elektron, mion i lepton tau – noszą ładunek równy -1 . Towarzyszą im neutrina – elektronowe, mionowe i tau. W odróżnieniu od pozostałych cząstek materii neutrina są bezmasowe i elektrycznie neutralne. Kwarki podlegają oddziaływaniom silnym, elektromagnetycznym i słabym, leptony e, μ, τ elektromagnetycznym i słabym, neutrina tylko słabym. Lista cząstek będących nośnikami oddziaływań wygląda następująco:

silne – gluon g
elektromagnetyczne – foton γ
słabe – bozony W, Z

Model Standardowy z powyższym zbiorem elementarnych składników opisuje całość zjawisk mikroświata.

jeszcze dwie pary. Model jest tak skonstruowany, że każdej parze leptonów odpowiada para kwarków. Jeśli ta symetria jest naruszona, w modelu pojawiają się tzw. anomalie, które burzą jego matematyczną poprawność. Sam model natomiast nie ogranicza liczby par, czy, jak niektórzy powiadają, pokoleń kwarków i leptonów. Z rozważań kosmologicznych wynika, że liczba pokoleń nie powinna być większa niż 5. Niedawne pomiary przeprowadzone w CERN, w których uczestniczyła duża

grupa fizyków warszawskich, wykazały istnienie dokładnie trzech pokoleń leptonów, a więc tyle, ile znamy. W tej sytuacji kwark prawdziwy byłby ostatnim brakującym elementem leptonowo-kwarkowej układanki.

Polowanie na ten kwark trwało kilkanaście lat. Ze względu na znacznie większą masę kwarka niż pierwotnie sądzono, konieczne okazało się zbudowanie akceleratora o wiele potężniejszego niż istniejące. Tevatron powstał w Laboratorium im. Fermiego w okolicach Chicago. Jest okręgiem o średnicy 2 km umieszczonym w podziemnym tunelu. Po okręgu w przeciwnych kierunkach krążą protony i antyprotony. Energia ich zderzeń trzykrotnie przekroczyła poprzedni rekord i jest około 2000 razy większa niż masa protonu.

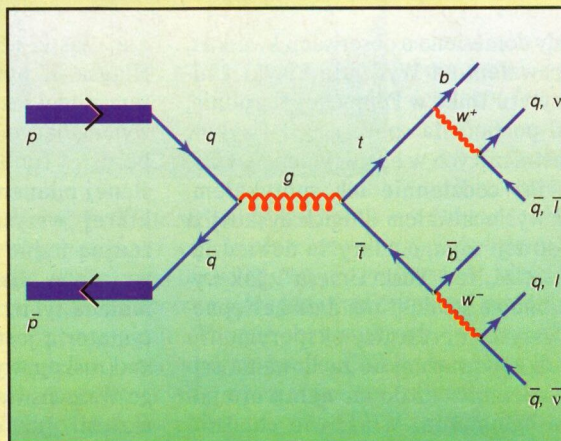
Dla rejestracji cząstek produkowanych w tych zderzeniach wybudowano potężne detektory. Po kilku latach prac związanych z doskonaleniem akceleratora i układów pomiarowych grupa ponad 400 fizyków korzystająca z detektora CDF (Collider Detector at Fermilab) – ogromnego urządzenia o masie około 5000 ton nadzianego nowoczesną elektroniką – zaobserwowała wśród miliardów zderzeń 15 takich, w których zdaje się ujawniać kwark prawdziwy. Ponieważ wiedziano czego, gdzie i jak szukać, odkrycie polegało na niezwykle żmudnym i dokładnym porównaniu danych doświadczalnych z przewidywaniami teorii (ramka poniżej).

Bozony pośredniczące, odkryte zaledwie 11 lat temu, teraz stanowiły już niepożądany szum utrudniający wyłuskanie kwarka prawdziwego. Jego masa okazała się aż 185 razy większa niż masa protonu. Manuskrypt przedstawiający szczegóły techniczne tych poszuki-

Produkcja i obserwacja kwarka prawdziwego

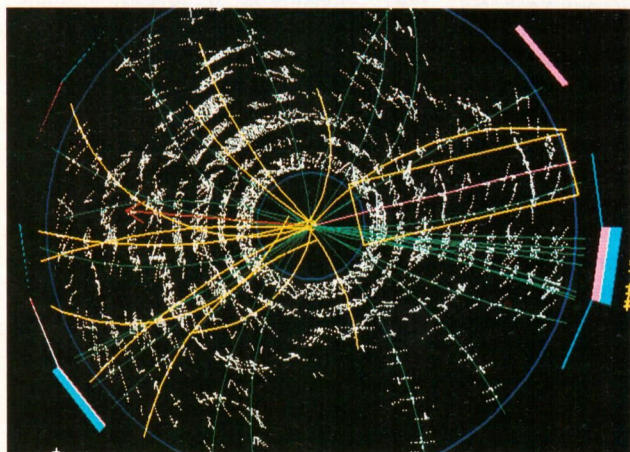
Kwark t produkowany jest w zderzeniach protonów z antyprotonami (przy energii Tevatronu) dzięki oddziaływaniu wysokoenergetycznego kwarka u lub d z protonu z antykwarkiem \bar{u} lub \bar{d} z antyprotonu również niosącym dostatecznie dużo energii. Powstaje wtedy gluon, który następnie rozpada się na parę kwarków t i \bar{t} . Ta część procesu odbywa się w rezultacie oddziaływania silnego. Jednak kwarki podlegają również oddziaływaniom słabym, więc następuje słaby rozpad (anty-)kwarka t na (anty-)kwark b i bozon W . Bozony W dalej się rozpadają na parę kwark i antykwark bądź lepton i odpowiednie neutrina. Leptony uciekają z obszaru oddziaływania, natomiast kwarki dalej oddziałują prowa-

dzając do powstania strumieni hadronów, w których są uwięzione. Mierzy się energię i pędy leptonów i hadronów, a następnie próbuje rekonstruować cały proces porównując dane doświadczalne z obliczeniami teoretycznymi. Odkrycie kwarka prawdziwego polegało w istocie na stwierdzeniu, że zgodność danych z teorią uzyskuje się dopiero wtedy, gdy w obliczeniach uwzględnimy produkcję par kwarków t i \bar{t} .





wań ma również niecodzienną objętość – zawiera 173 strony. Jego uważna analiza pokaże, na ile wiarygodny jest rezultat, lecz dalsze badania, w których zarejestrowana będzie większa liczba „prawdziwych” przypadków, będą konieczne.



Komputerowa rekonstrukcja zderzenia, w którym „ujawnił się” kwark t . Kolorowe linie wychodzące ze środka – punktu, w którym doszło do zderzenia protonu z antyprotonem – reprezentują torę wyprodukowanych cząstek

Gdy doniesiono o obserwacji kwarka t , pracowałem na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Duke w Północnej Karolinie, skąd pochodziła spora grupa fizyków uczestniczących w eksperymencie CDF. Chociaż codziennie ich spotykałem, choć wysłuchiwałem długich dyskusji o rejestracji topu, o odkryciu dowiedziałem się z „New York Timesa”. Jak wyjaśniono na seminarium dnia następnego, wszyscy uczestnicy eksperymentu zostali zobowiązani do zachowania ściślejszej tajemnicy aż do momentu oficjalnego ogłoszenia. Właściwie chodziło tylko o konkurencyjne doświadczenie

wykonywane przy tym samym akceleratorze. W żadnym innym miejscu nie można wykonać podobnych pomiarów. Równocześnie z informacją dla prasy wypuszczono wspomniany manuskrypt, który komputerowa poczta niemal natychmiast „rozniosła” po całym świecie. W kilku ośrodkach, również w Duke, odbyły się seminaria, na których przedstawiono pomiary i ich analizę.

Odkrycie kwarka t , jeśli oczywiście prawdziwe, jest wspaniałym potwierdzeniem słuszności Modelu Standardowego i naszego rozumienia świata fizycznego. Na tym jednak nie koniec. Nadal nie udało się zaobserwować najbardziej tajemniczej cząstki w tym modelu, tzw. mezonu Higgsa. W powszechnym przekonaniu sam model jest tworem niedoskonałym, wymagającym uzasadnienia na gruncie bardziej fundamentalnej teorii określonej mianem Wielkiej Unifikacji, w której wszystkie typy oddziaływań znajdują jedno prąródło. Powinna ona wyjaśnić, dlaczego wcześniej wspomniana symetria między materią a antymaterią jest naruszana na poziomie makroskopowym, lub inaczej – dlaczego Wszechświat zbudowany jest tylko z materii. Już teraz mamy wiele, nawet zbyt wiele, wariantów takiej teorii. Wy-

439-osobowy zespół naukowców pracujący przy detektorze CDF. Ich dziełem jest doświadczenie potwierdzenie istnienia kwarka prawdziwego

bór właściwego kierunku badań będzie wymagał doświadczalnych wskazówek.

Front poszukiwań wróci do Europy – w CERN, w Genewie, powstaje akcelerator jeszcze większy od Tevatronu, zwany LHC – Large Hadron Collider, który będzie uruchomiony w pierwszych latach następnego stulecia. Kolejnym krokiem miał być budowany w Teksasie Nadprzewodzący Superzderzacz (Superconducting Super Collider). Jednak ten okręt flagowy amerykańskiej fizyki – największe czysto naukowe przedsięwzięcie w historii – zatonął nim został zbudowany. Po zrealizowaniu około 20 proc. projektu, na co wydano 2 mld dolarów, Kongres zdecydował o wstrzymaniu budowy. Zwolnił to oczywiście tempo badań, jednak ich nie zatrzyma. Kolumb również wrócił z pierwszej wyprawy bez Santa Marii.

STANISŁAW MRÓWCZYŃSKI

Zdjęcia: Fermilab Visual Media Services

¹⁾ Termin „hadron” wyprowadzono od greckiego *hadros* – ciężki, potężny, od którego, co ciekawe, pochodzi również rosyjskie „jądro” i polskie „jądro”.

²⁾ Zainteresowanych związkami nowoczesnej fizyki z filozofią Wschodu należałoby odesłać do właśnie wydanej po polsku klasycznej w tej dziedzinie pracy Fritjofa Capry *Tao fizyki*. Książka powstała w roku 1976, gdy wiązano jeszcze duże nadzieje z podejściem „bootstrap”. Wydanie polskie, oparte na drugim wydaniu angielskim, zawiera co prawda posłowie autora z roku 1982, jednak rozdziały (wraz z posłowiem) dotyczące fizyki hadronów są mocno zwietrzałe. W ostatnim dziesięcioleciu nastąpił wielki triumf atomizmu i zmierzch podejścia „bootstrap”. Szkoda, że polski wydawca nie zadbał, aby książkę uzupełnić krótkim opisem obecnego stanu wiedzy o fizyce cząstek elementarnych.

Dr hab. STANISŁAW MRÓWCZYŃSKI jest adiunktem w Instytucie Problemów Jądrowych im. Andrzeja Soltana w Warszawie.