

Blżej czy dalej do wyjaśnienia zagadkowej cechy protonów i neutronów?

2013-11-28



Eksperyment COMPASS - instalacja magnesu tarczy (źródło: CERN)

Protony i neutrony znajdziemy w jądrze każdego atomu. Choć w naszym świecie są wszechobecne, nadal nie potrafimy wyjaśnić mechanizmu powstawania jednej z najbardziej podstawowych cech tych cząstek: ich wypadkowego spinu. Najnowsza analiza danych zebranych w CERN w ramach współpracy COMPASS nie przyniosła rozwiązania zagadki – ale wskazuje, że jedno z dotychczas proponowanych przez teoretyków wyjaśnień jest mało prawdopodobne.

Od ćwierćwiecza fizycy całego świata starają się wyjaśnić, w jaki sposób spin protonów i neutronów, jedna z najmniej intuicyjnych cech kwantowych, przyjmuje swoją wartość. Przyroda jednak niechętnie ujawnia swe tajemnice. Najnowsza analiza danych, zebranych w CERN dzięki pomiarom przeprowadzonym w ramach międzynarodowej współpracy COMPASS, nie przyniosła rozwiązania zagadki spinu protonów i neutronów, za to skomplikowała jej rozwikłanie.

Protony i neutrony – czyli cegiełki jąder atomowych, nazywane nukleonami – to cząstki złożone. Fizycy spodziewają się, że na podstawie własności ich składników, czyli kwarków i gluonów, można odtworzyć cechy całych cząstek. W podobny sposób udało się wyjaśnić m.in. powstawanie ładunku elektrycznego protonu.

"Spin nukleonów sprawia nam wszystkim kłopot. Po prawie ćwierć wieku badań wciąż nie znamy wszystkich mechanizmów odpowiedzialnych za sposób, w jaki spiny cząstek składowych składają się na wypadkowy spin protonu czy neutronu", stwierdza prof. dr hab. Barbara Badełek z Instytutu Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW). Prof. Badełek koordynowała działania fizyków analizujących dane z doświadczenia przeprowadzonego w CERN w ramach współpracy COMPASS (Common Muon Proton Apparatus for Structure and Spectroscopy).

Spin jest jedną z najważniejszych cech cząstek mikroświata. To dziwna, nieintuicyjna własność kwantowa: opisuje dynamikę cząstki w spoczynku. Wartość spinu to zawsze całkowita lub połówkowa wielokrotność pewnej fundamentalnej porcji. Spin protonów i neutronów (oraz kwarków) to połowa tej porcji, spin gluonów to cała porcja. Spiny składają się w złożony sposób. Wypadkowy spin protonów i neutronów powinien jednak wynikać z cech kwarków i gluonów: ich spinów i ich względnego ruchu.

Każdy nukleon składa się z trzech kwarków zlepionych gluonami. Gluony oddziałują tak silnie, że spontanicznie kreują inne gluony lub pary kwarków, te ostatnie zaś niemal natychmiast anihilują, zamieniając się ponownie w gluony lub kwarki. Wnętrze nukleonu przypomina więc gotujące się morze wirtualnych kwarków i gluonów, z trzema stabilnymi wyspami – kwarkami walencyjnymi. W jaki sposób tak złożony i dynamiczny układ cząstek wytwarza wypadkowy, zawsze ten sam spin nukleonu?

Początkowo przypuszczano, że spin nukleonu można złożyć ze spinu samych kwarków. Doświadczenia przeprowadzone w 1987 roku w ramach Europejskiej Współpracy Mionowej (European Muon Collaboration, EMC) wykazały jednak, że wkład od sumarycznego spinu wszystkich kwarków jest zaskakująco mały. Dotychczasowe wyniki pomiarów pokazują, że spiny kwarków odpowiadają zaledwie za jedną trzecią wypadkowego spinu nukleonów. Subtelne, relatywistyczne efekty związane z ruchem kwarków i gluonów wewnątrz nukleonów mogą odpowiadać za kolejną jedną trzecią wypadkowego spinu. W tej sytuacji naturalnym kandydatem, który mógłby odpowiadać za istnienie pozostałej części spinu nukleonów, stały się spiny gluonów.

Aby zweryfikować przypuszczenia dotyczące roli gluonów w powstawaniu spinu protonów i neutronów, w ramach współpracy COMPASS zaprojektowano skomplikowane doświadczenie. W jego realizacji uczestniczyło ok. 220 fizyków z 13 państw i 24 instytucji naukowych. W skład grupy polskiej weszli fizycy i inżynierowie z Instytutu Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Narodowego Centrum Badań Jądrowych i Instytutu Radioelektroniki Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej.

Pomiary wykonano w latach 2002-2004 i 2006-2007 w doświadczeniu z użyciem mionów, cząstek elementarnych o cechach elektronów, lecz ponad 200 razy bardziej masywnych (dlatego nazywanych "ciężkimi elektronami"). Miony są wyjątkowo wygodne do badania struktury jąder atomowych. Podobnie jak elektrony, nie są cząstkami złożonymi i mogą być traktowane jak punkty, ale ich większa masa pozwala rozpędzać je do energii wyższych niż elektrony.

Miony wytwarzano w skomplikowanym łańcuchu reakcji. Wiązkę protonów z akceleratora SPS (Super Proton Synchrotron; to ten akcelerator, który jest ostatnim stopniem w zespole akceleratorów rozpędzających cząstki dla LHC) zderzano z berylową tarczą. Wskutek zderzeń powstawało wiele cząstek, m.in. pionów (mezonów π). Efektem ich rozpadu są miony, które po odpowiedniej selekcji kierowano ku kolejnej tarczy, tym razem spolaryzowanej i dlatego umieszczonej w silnym polu magnetycznym i schłodzonej do temperatury bliskiej zera bezwzględnemu – ok. 50 milikelwinów. Tarcza ta to najzimniejsze miejsce w CERN-ie, zimniejsze nawet niż nadprzewodzące magnesy Wielkiego Zderzacza Hadronów. W tych warunkach miony zderzały się z protonami i neutronami materiału tarczy.

"Zderzenia zarejestrowane w eksperymencie dostarczyły ogromnej ilości informacji. Aby wyłuskać z danych tę niewielką część bezpośrednio związaną ze strukturą spinową nukleonów, musieliśmy przeprowadzić niezwykle złożoną, wymagającą wyjątkowej ostrożności analizę. Trwała ona ponad pięć lat. Decydujący był tu wkład grupy warszawskiej i lizbońskiej", mówi prof. Badełek.

Waga pomiarów wykonanych przez COMPASS wynika z faktu, że w niewielkim stopniu zależą one od założeń teoretycznych, dostarczają więc najbardziej bezpośredniej informacji o wewnętrznej budowie protonów i neutronów. Dane potwierdziły, że spiny kwarków odpowiadają za spin nukleonów tylko w ok. 30%, a wkład gluonów prawdopodobnie jest bardzo mały. Fizykom pozostało więc już niewiele miejsca

na wyjaśnienie zagadki pochodzenia spinu nukleonów. W ramach dotychczasowych teorii i modeli brakujący wkład można jeszcze próbować tłumaczyć ruchami kwarków i gluonów. Jeśli przyszłe eksperymenty zanegują rolę i tych mechanizmów, fizykę cząstek elementarnych trzeba będzie uogólnić o nowe prawa.

"Po dekadach żmudnych badań i analiz wszyscy chcielibyśmy już móc powiedzieć: kwarki i gluony w taki a nie inny sposób składają się na spin protonów i neutronów. Lecz zamiast ostatecznej odpowiedzi, nadal mamy przed sobą perspektywę kolejnych badań. Nauka zawsze dostarcza mniejszej liczby odpowiedzi niż nowych pytań. Czy jednak nie na tym polega jej piękno i atrakcyjność?", podsumowuje prof. Badełek.

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytuty: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ok. 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest niemal 80 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 140 doktorantów.

KONTAKTY DO NAUKOWCÓW:

prof. dr hab. Barbara Badełek
Instytut Fizyki Doświadczalnej
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532379
email: barbara.badelek@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.fuw.edu.pl>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

Zdjęcia z eksperymentu COMPASS znajdują się na stronach CERN-u dostępnych pod adresami:

[CERN](#)
[Compass](#)

 [2013-11-28_FUW131128a - COMPASS a spin protonu.pdf \(156.8 kB\)](#)