

Trójkąty w fizyce jądrowej

Wiemy, że materia zbudowana jest z cząsteczek, które z kolei tworzone są przez atomy różnych pierwiastków chemicznych. Pamiętamy też, że atom to taki „miniaturowy układ planetarny”: elektrony krążą po orbitach wokół jądra atomowego, które od całego atomu mniejsze jest wiele tysięcy razy, ale skupia w sobie praktycznie całą jego masę. W świetle naukowych teorii jest to ogromne uproszczenie, ale oddaje pewne cechy atomu jako struktury fizycznej oraz wpisuje się w naszą potrzebę zobrazowania niewidocznego poprzez znane (hmm, a kto z nas widział układ planetarny?)

Na kolejnym stopniu poznania dowiadujemy się, że jądra atomowe zbudowane są z dwóch rodzajów cząstek, zwanych wspólnie *nukleonami*: dodatnio naładowanych protonów oraz elektrycznie obojętnych neutronów. Pozostańmy na tym poziomie, mimo że współczesna nauka wie, że nukleony nie są elementarnymi obiektami, ale zbudowane są z tzw. kwarków oraz gluonów. Jednakże teoria obejmująca te obiekty (nosząca nazwę chromodynamiki kwantowej) nie potrafi jeszcze podać kompletnego opisu nawet pojedynczego nukleonu. Dlatego przedmiotem badań fizyki jądrowej pozostają oddziaływania pomiędzy nukleonami jako takimi. Siły te określamy nazwą sił jądrowych. Obecnie wiemy o nich stosunkowo dużo – istnieją modele teoretyczne, które potrafią niezwykle precyzyjnie odtworzyć wszystkie, określone na pod-



Prof. dr hab. Stanisław Kistryn od 2012 roku pełni funkcję Prorektora Uniwersytetu Jagiellońskiego ds. badań naukowych i funduszy strukturalnych. Jego zainteresowania naukowe obejmują m.in. badania dynamiki oddziaływania w układach kilkunukleonowych w precyzyjnych eksperymentach z wykorzystaniem spolaryzowanych wiązek i tarcz; testowanie fundamentalnych symetrii oddziaływań elementarnych; badanie mechanizmów reakcji jądrowych; układy modularnej elektroniki pomiarowej oraz logiki programowalnej we współczesnych eksperymentach fizyki jądrowej.

stanislaw.kistryn@uj.edu.pl

stawie wieloletnich eksperymentów, właściwości sił działających pomiędzy parą dwóch nukleonów. Są to tzw. potencjały oddziaływania nukleon-nukleon.

Znając szczegóły siły pomiędzy dwójkami nukleonów moglibyśmy się spodziewać, że potrafimy opisać dowolne jądro atomowe. Tak działa makroświat, na przykład grawitacja. Prawo Newtona, mówiące jak siła pomiędzy dwoma ciałami zależy od ich masy i odległości, pozwala nam dokładnie wyznaczyć siłę, która jest wywierana na jakiś obiekt otoczony przez wiele innych. Możemy też przewidywać trajektorie

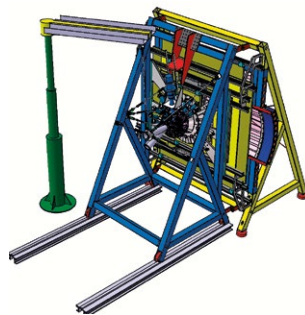
wszystkich tych obiektów – tak wlicza się choćby tory planet czy satelitów, daty zaćmień itp. I tu niespodzianka – w świecie sił jądrowych jest inaczej! Gdy do układu dwóch nukleonów dodamy trzeci, pełna siła w tym układzie nie jest po prostu sumą oddziaływań w poszczególnych parach. Pojawia się dodatkowy (niewielki) przyczynok do potencjału, którego nie ma dla przypadku izolowanej pary – nazywamy to *nieredukowalną* siłą trzyciałową.

Dopiero niedawne, bardzo precyzyjne eksperymenty potwierdziły jednoznacznie istnienie sił trójnukleonowych i pozwoliły na zbudowanie ich teoretycznego modelu. Układem testowym są reakcje jądrowe z udziałem deuteronu (jądro atomowe zbudowane z protonu i neutronu, odmiana izotopowa wodoru) i nukleonu. Pewne wielkości mierzone dają się teoretycznie odtworzyć poprawnie tylko wtedy, gdy w opisie uwzględnimy nie tylko modele potencjału nukleon-nukleon, ale dodatkowo także model potencjału trójnukleonowego. W szczególności ważną rolę odgrywają badania reak-

cji, w której nukleon uderza w deuteron, który wskutek tego ulega rozszczepieniu. Reakcje takie są eksperymentalnie trudne i dopiero całkiem niedawno kierowanej przeze mnie grupie naukowców z Polski i Holandii udało się przeprowadzić odpowiednio precyzyjne pomiary, w których zaobserwowano znaczący wpływ oddziaływań trójnukleonowych. Badania te są obecnie kontynuowane w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, do którego przeniesiony został skomplikowany zestaw eksperymentalny.

A skąd biorą się siły wielociałowe? Są one odbiciem naszego przybliżonego opisu rzeczywistości. Jak wspomniano, nukleony nie są obiektami elementarnymi. Siły trójciałowe są *efektywnym* sposobem uwzględnienia faktu złożoności obiektów oddziaływających. Gdybyśmy zaniedbali fakt istnienia na Ziemi oceanów i płytów wywołanych siłą grawitacji Księżyca (i Słońca), to nie dałoby się, bez wprowadzenia sił wielociałowych, wytłumaczyć detali ruchu orbitalnego naszego satelity.

Schemat układu detekcyjnego do pomiarów opisywanych procesów. Żółta, płaska struktura w środku układu obrazuje pozycyjnie czuły, wielodrutowy detektor gazowy do rejestracji torów cząstek (celem wyznaczenia kierunków ich emisji z reakcji). Za nią, w kolorach różowo-niebieskim, widoczne są elementy hodoskopu scyntylacyjnego do pomiaru energii tych cząstek. Na pierwszym planie widać „jeżowatą” strukturę 140 detektorów scyntylacyjnych oraz (od góry, kolor niebieski) układ ciekłej tarczy deuteronowej. Wiązka pada na tarczę z lewej strony



Podświetlona od środka „kula” 140 detektorów scyntylacyjnych przed ich zamontowaniem w układzie. Detektory te nie tylko spełniają rolę elementów rejestrujących cząstki, ale są też szczelnie posklejane, tworząc w swoim wnętrzu komorę próżniową, w której umieszczona jest ciekła tarcza (temperatura kilkunastu stopni Kelvina, czyli około – 250°C),

wymagająca zapewnienia ciśnienia o 8 rzędów wielkości mniejszego niż atmosferyczne