

Teoria układów kilku nukleonów



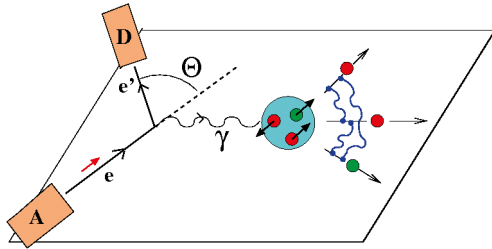
Pytanie o naturę i właściwości sił działających między składnikami jąder atomowych – nukleonami (protonami i neutronami) jest wciąż aktualne, pomimo wieloletnich badań nad tym zagadnieniem i wiedzy, którą zdobyliśmy od momentu odkrycia jądra atomowego w 1911 roku. To te siły są odpowiedzialne za to, że mamy takie, a nie inne jądra atomowe. To one decydują o prawdopodobieństwach zachodzenia reakcji jądrowych i rozpadów promieniotwórczych, w tym tych kluczowych dla energetyki jądrowej. Układy kilkunukleonowe są idealnym laboratorium do badania sił jądrowych. Dla takich układów możemy dokładnie rozwiązać fundamentalne równania, które prowadzą od oddziaływań pomiędzy nukleonami do właściwości jąder (energia wiązania, rozmiary, rozkład materii i ładunku elektrycznego) i prawdopodobieństwa różnych reakcji jądrowych. Dla układu trzech nukleonów (3N) równania te nazywane są równaniami Faddeeva. Jako magistralant, doktorant, a potem pracownik w Zakładzie Fizyki Jądrowej Instytutu Fizyki UJ, włączyłem się do badań teoretycznych prowadzonych przez prof. Henryka Witałę we współpracy z prof. Walterem Gloeckle z Uniwersytetu Ruhry w Bochum w Niemczech. Wielkim sukcesem tych badaczy, i jednym z największych osiągnięć w tej dziedzinie fizyki pod koniec XX wieku, było ścisłe rozwiązanie równania Faddeeva dla procesu rozpraszania nukleon-deuteron. W stanie końco-

wym tej reakcji możemy mieć do czynienia albo z tymi samymi cząstkami (rozpraszanie sprężyste), albo z rozszczepieniem deuteronu na proton i neutron. Okazało się, że wyliczone prawdopodobieństwa wylotu cząstek pod różnymi kątami zależą od postaci sił jądrowych przyjętych do obliczeń, i w ten sposób, przez porównanie wyników obliczeń z danymi eksperymentalnymi, możemy ocenić, który model sił jądrowych jest lepszy. Badania, w których uczestniczyłem wykazały też jasno, że w układzie trzech i o większej liczbie nukleonów występują nie tylko oddziaływania między dwoma nukleonami, ale także oddziaływanie trójnukleonowe, w którym jednocześnie udział biorą trzy nukleony.

jacek.golak@uj.edu.pl

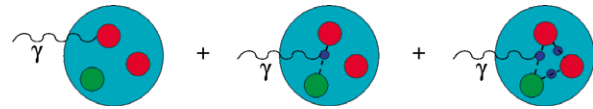
wym tej reakcji możemy mieć do czynienia albo z tymi samymi cząstkami (rozpraszanie sprężyste), albo z rozszczepieniem deuteronu na proton i neutron. Okazało się, że wyliczone prawdopodobieństwa wylotu cząstek pod różnymi kątami zależą od postaci sił jądrowych przyjętych do obliczeń, i w ten sposób, przez porównanie wyników obliczeń z danymi eksperymentalnymi, możemy ocenić, który model sił jądrowych jest lepszy. Badania, w których uczestniczyłem wykazały też jasno, że w układzie trzech i o większej liczbie nukleonów występują nie tylko oddziaływania między dwoma nukleonami, ale także oddziaływanie trójnukleonowe, w którym jednocześnie udział biorą trzy nukleony.

W moich badaniach wykorzystuję rozwiązania równań Faddeeva do opisu procesów, w których występują nie tylko trzy nukleony, ale także inne cząstki. Na rys. 1 przedstawiłem schematycznie rozpraszanie elektronów na jądrze ${}^3\text{He}$. Taki proces nie zachodzi bezpo-



Rys. 1

średnio, ale przez wymianę wirtualnego fotonu (γ) między elektronem i ${}^3\text{He}$. Nawet w najprostszej sytuacji, gdy znamy tylko parametry początkowego elektronu przyspieszonego przez akcelerator (A) i końcowego elektronu rejestrowanego w detektorze (D), musimy uwzględnić wiele możliwości oddziaływania γ z ${}^3\text{He}$, np. rozpad ${}^3\text{He}$ na proton i deutron lub na dwa protony i neutron. Należy uwzględnić skomplikowany mechanizm wyłapania fotonu przez układ 3N: ten proces może zajść z udziałem jednego, dwóch lub



Rys. 2

nawet trzech nukleonów (rys. 2). Wreszcie wylatujące nukleony nie są cząstkami swobodnymi, ale oddziałują ze sobą, opuszczając obszar reakcji. Te oddziaływania w stanie końcowym są przedstawione na rys. 1 w postaci falistych linii. W podobny sposób możemy opisać reakcje, w których różne cząstki (fotony, piony, miony, neutrina itp.) oddziałują z układami 3N. Obecnie w naszej Grupie Teorii Układów Kilkunukleonowych, oprócz prof. Witały i mnie, pracują dr hab. Roman Skibiński oraz doktoranci, mgr Kacper Topolnicki i mgr Alaa E. Elmeshneb. W badaniach wykorzystujemy potężne superkomputery zawierające dziesiątki tysięcy procesorów. Nasze obliczenia służą do projektowania i analizy eksperymentów przeprowadzanych w najnowocześniejszych centrach badawczych, m.in. w Niemczech, USA i Japonii. Obecnie koncentrujemy się na wykorzystaniu najnowszych, tzw. chiralnych, sił jądrowych, wyprowadzonych z fundamentalnej teorii opisującej silne oddziaływania kwarków (QCD).