

W przyrodzie występują cztery rodzaje oddziaływań fundamentalnych: grawitacyjne, elektromagnetyczne, silne i słabe. Podczas gdy z dwoma pierwszymi spotykamy się w codziennym życiu, dwa kolejne są bezpośrednio obserwowane podczas badania cząstek elementarnych i jąder atomowych. W jądrach atomowych największe znaczenie mają oddziaływania silne pomiędzy składnikami jąder – nukleonami czyli protonami i neutronami oraz oddziaływania elektromagnetyczne pomiędzy protonami. Protony jako obdarzone takim samym, dodatnim, ładunkiem elektrycznym odpychają się wzajemnie, a rozpadowi jąder zapobiega przyciągające (zwykle) oddziaływanie silne. O ile bardzo dobrze rozumiemy naturę sił elektromagnetycznych, o tyle oddziaływania silne znane są tylko w przybliżeniu. Wiadomo, że pochodzą one od oddziaływań pomiędzy kwarkami i gluonami, z których zbudowane są neutrony i protony. Obecnie istnieje wiele modeli tych sił i wciąż powstają nowe. W ostatnich latach największym zainteresowaniem cieszą się modele wyprowadzone z tzw. chiralnej efektywnej kwantowej teorii pola – teorii, w ramach której opisujemy obserwowalne własności nukleonów poprzez pomocnicze pola kwantowe istniejących w przyrodzie cząstek. Zaletą tak powstałych sił jądrowych jest ich silny związek z fundamentalną teorią opisującą oddziaływania kwarków i gluonów – chromodynamiką kwantową. Co więcej, chiralna efektywna teoria pola umożliwi nie tylko otrzymanie oddziaływania między dwoma nukleonami lecz również spójne z takimi siłami wyprowadzenie wyrażen na siły wielociałowe, czyli oddziaływania, w których bierze udział wiele nukleonów i których nie da się przedstawić jako sekwencji kolejnych oddziaływań dwuciałowych.

Celem projektu jest systematyczny opis reakcji jądrowych z trzema nukleonami oraz struktury jąder atomowych z wykorzystaniem najnowszych modeli (z tzw. częściowo lokalną regularyzacją) oddziaływań między nukleonami. Planujemy przede wszystkim wykonać obliczenia obserwabli dla takich reakcji jak rozpraszanie elastyczne nukleonu na deuteronie oraz rozszczepienie deuteronu na proton i neutron pod wpływem zderzenia z innym nukleonem. W ramach projektu użyjemy także spójnych z oddziaływaniami jądrowymi prądów elektromagnetycznych i słabych do zbadania procesów fotodezintegracji jąder ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{H}$ i ${}^3\text{He}$, prowadzących do różnych kanałów końcowych. Przeanalizowane zostaną również procesy wychwytu mionów na tych samych jądrach. Są one szczególnie ciekawe, gdyż oprócz oddziaływania silnego ważną rolę odgrywa w nich również oddziaływanie słabe. Część grup uczestniczących w projekcie skoncentruje się na obliczeniach struktury poziomów energetycznych jąder atomowych, wykorzystując te same modele oddziaływań dwunukleonowych i trzynukleonowych. W tym celu zostanie najpierw dokonana transformacja unitarna Hamiltonianu, a następnie użyte tzw. no-core shell model lub coupled cluster model, służące do znalezienia poziomów energetycznych jąder. W czasie badań wyniki otrzymane dla reakcji jądrowych i dla struktury jądrowej posłużą razem do ustalenia wartości swobodnych parametrów efektywnej teorii, a uzyskane wyniki, poprzez porównanie z danymi doświadczalnymi, pozwolą zweryfikować poprawność sił jądrowych i operatorów prądów wyprowadzonych z chiralnej teorii pola.

W realizację projektu zaangażowani są naukowcy z 10 ośrodków z Polski, Niemiec, USA, Japonii, Francji i Kanady. Tworzą oni zespół ekspertów w takich dziedzinach jak chiralna efektywna teoria pola, reakcje jądrowe z udziałem kilku nukleonów, reakcje jądrowe z sondami elektroslabymi i struktura jąder. W czasie realizacji projektu wiele obliczeń numerycznych będzie wykonanych z użyciem superkomputerów dużej mocy.