

Badanie struktury barionów w eksperymencie HADES

Jednym z najważniejszych zagadnień współczesnej fizyki hadronowej jest badanie stanów wzbudzonych nukleonów, tzw. rezonansów barionowych, aby mieć wgląd w istotę oddziaływań silnych, które mają decydujący wpływ na wartość masy widzialnej materii we Wszechświecie. Nukleony są opisywane jako stany związane trzech kwarków otoczonych przez morze gluonów i par kwark-antykwar. Wiedza o własnościach różnych rezonansów barionowych jest kluczowa dla zrozumienia kwantowej chromodynamiki (Quantum Chromodynamics QCD), kwantowej teorii pola opisującej oddziaływanie silne. Istnieje wiele dowodów eksperymentalnych na to, iż nukleon oraz jego rezonanse nie są prostymi stanami zbudowanymi z trzech statycznych kwarków. Na budowę nukleonów duży wpływ ma oddziaływanie gluonów, która przyczynia się do powstania masy lekkich kwarków (u , d , s) oraz spontanicznego łamania symetrii chiralnej. To z kolei prowadzi do pojawienia się kondensatów kwarkowych, co może być interpretowane jako istnienie tzw. chmury mezonowej otaczającej jądro kwarkowe, która równoważy ciśnienie próżni. Istnienie takich chmur ujawnia się w strukturze elektromagnetycznej barionów (rozkładzie przestrzennym ładunków wewnątrz barionu, zwanym jest czynnikiem kształtu (form factor)). W prezentowanym projekcie skupiamy się na obszarze energii, w którym efekty chmury mezonowej są znaczące i możliwe do zaobserwowania w eksperymencie.

Fizyka rezonansów stanowi duże wyzwanie dla fizyki hadronowej z powodu nieperturbacyjnego zachowania QCD w tych obszarach energii. Podczas gdy chiralna teoria perturbacji nie jest otwarta na fizykę rezonansów, tzw. obliczenia QCD na siatkach, stosowane w opisie zjawisk nieperturbacyjnych, dopiero od niedawna zaczynają być wykorzystywane na tym polu. Dlatego, opis teoretyczny stanów wzbudzonych nukleonu rozwijany był w oparciu o modele kwarkowe. Modele te przewidują znacznie bogatsze spektrum rezonansów, niż to obserwowane w rzeczywistości w eksperymentach rozproszeniowych $\pi N \rightarrow \pi N$, przedstawione w Particle Data Book. Zasadniczym pytaniem jest: dlaczego nie obserwujemy znacznej liczby rezonansów przewidywanych przez modele kwarkowe (tzw. problem brakujących rezonansów barionowych) oraz jaka ich struktura wewnętrzna?

Jedną z możliwych odpowiedzi na problem brakujących rezonansów jest możliwość iż brakujące rezonanse mogą sprzęgać się słabo do kanału rozpadu πN , z którego pochodzi większość informacji na temat własności rezonansów barionowych. Wiele eksperymentów zajmuje się badaniem struktury barionów z wykorzystaniem wiązek pionów, elektronów lub fotonów. Jednym z nich jest eksperyment HADES, działający w Instytucie Helmholtza GSI w Darmstadt, który bada materię barionową w próżni oraz gęstszych ośrodkach materii jądrowej. HADES nastawiony jest na eksperymenty z rozpraszaniem pion-nukleon, nukleon-nukleon oraz zderzenia ciężkich jonów. Jednym z filarów programu naukowego eksperymentu HADES jest produkcja rezonansów barionowych oraz ich rozpadów w kanały hadronowe i elektromagnetyczne. Poprzez pomiar elektromagnetycznych rozpadów Dalitza w kanał nukleon, $e+e-$ można wnioskować o strukturze wewnętrznej barionów a w szczególności roli chmury mezonowej. Dzięki temu otrzymujemy także referencyjną informację, konieczną do zrozumienia promieniowania wirtualnych fotonów (par $e+e-$) pochodzącego z gorącej i gęstej materii a w szczególności mas hadronów rozpadających się w ten kanał. HADES wykonał pomiary reakcji jądrowych w zakresie energii 1–3.5 GeV/nukleon, natomiast po udostępnieniu zmodernizowanego synchrotronu SIS18, możliwe będzie prowadzenie badań przy jeszcze wyższych energiach.

Znaczące wyniki oraz dobrze działający układ detekcyjny zdecydowały o wykorzystaniu detektora HADES w przyszłych pomiarach na akceleratorze FAIR, który jest obecnie w budowie w GSI. HADES jest obecnie jedynym eksperymentem na świecie, który mierzy promieniowanie dielektronowe pochodzące z hadronów w próżni oraz materii jądrowej z użyciem różnego rodzaju wiązek (pionowej, protonowej i ciężkojonowej) w obszarze energii $\sqrt{s} = 1-4$ GeV.