

## Związana antymateria. Oddziaływanie silne antybarionów w eksperymentach ALICE i AEGIS w CERN.

Zwykła materia złożona jest z atomów, z których każdy składa się z jądra otoczonego chmurą elektronów. Jądra składają się z protonów i neutronów, które z kolei składają się z kwarków, które wydają się być elementarnymi składnikami materii. Żaden kwark nie został zaobserwowany w izolacji; kwarki, podobnie jak gluony, są trwale związane między sobą i uwięzione wewnątrz cząstek złożonych, takich jak protony i neutrony.

Przez wywołanie czołowych zderzeń ciężkich jąder (takich jak jądra atomów ołowiu), przyspieszonych w Wielkim Zderzaczu Hadronów (ang. LHC) do prędkości bliskiej prędkości światła, otrzymujemy, chociaż w bardzo małej objętości, zaledwie bliskiej rozmiarom jądra, i na krótkotrwałą chwilę, kropelkę pierwotnej materii złożonej z kwarków i gluonów, w stanie tzw. Plazmy Kwarkowo-Gluonowej (ang. QGP). Możemy obserwować jak ona powraca do zwykłej materii poprzez rozprężenie i schłodzenie. Następuje to, gdy Plazma rozpręży się i schładza do temperatury 10 milionów milionów Kelwinów, zaledwie  $10^{-23}$  sekundy od momentu zderzenia. Materia ta powstaje bezpośrednio z energii kinetycznej rozpędzonych jąder, zgodnie ze słynnym wzorem  $E=mc^2$ . Jednak w przyrodzie równowaga musi być zachowana – materię można stworzyć „z niczego” (czyli z energii) tylko pod warunkiem, że równocześnie powstanie tyle samo antymaterii. W efekcie w zderzeniach produkuje się praktycznie tyle samo protonów, co antyprotonów, tyle neutronów, co antyneutronów, i tak dalej. Powstają też cząstki złożone z cięższych kwarków (nazywanych „dziwnymi”) – i również tyle samo odpowiadających im antycząstek o „przeciwnej” „dziwności”. Wszystkie te cząstki lecą zaś prawie z prędkością światła w stronę naszych detektorów.

Eksperyment ALICE, którego dotyczy ten projekt, potrafi te wszystkie cząstki zarejestrować i zmierzyć ich własności. Jest on używany do badania Plazmy Kwarkowo-Gluonowej. Ważący 10000 ton, wysoki na 16 metrów i długi na 26 metrów detektor ALICE jest skomplikowanym urządzeniem składającym się z 18 sub-detektorów. Czasem zdarza się, że cząstki materii i antymaterii (w naszym projekcie koncentrujemy się na „barionach” złożonych z trzech kwarków i „antybarionach” z trzech „antykwarków”) lecą blisko siebie w tym samym kierunku. Mają czas na to, by ze sobą oddziaływać. To, w jaki sposób to robią jest dla nas niezwykle interesujące - to chcemy zmierzyć. Poprzednie pionierskie pomiary w eksperymencie ALICE pokazały, że powinniśmy dodatkowo sprawdzić, czy taka para cząstka-antycząstka może w sprzyjających warunkach wytworzyć stan związany. Chcemy sprawdzić, czy możemy związać antymaterię. Korzystamy z tego, że eksperyment ALICE, po 2 latach przerwy i intensywnej rozbudowy, wznawia działalność z możliwościami zbierania danych zwiększonymi nawet stukrotnie. Dzięki temu bardzo dokładnie poznamy sposób oddziaływania antymaterii, a także będziemy w stanie zaobserwować stany związane antymaterii, jeżeli istnieją.

Antymateria jest produkowana nie tylko w LHC, ale także w Spowalniaczu Antyprotonów (ang. AD), również znajdującym się w CERN. Antyprotony są tam spowalniane do momentu, gdy mogą zostać uwięzione w silnym polu elektromagnetycznym i zachowane do dalszych badań. W eksperymencie AEGIS tworzone są atomy antywodoru w warunkach ultrawysokiej próżni i w temperaturach kriogenicznych około  $-270$  C. Takie warunki pozwalają na utrzymanie antymaterii w pułapce przez bardzo długi czas i prowadzenie badań nad jej właściwościami. AEGIS, chce dowiedzieć się, jaka jest stała grawitacyjna dla antymaterii poprzez pomiar parabolicznego spadku zimnej wiązki antywodoru.

Warunki te są również odpowiednie do tworzenia innych sztucznych atomów egzotycznych, składających się z materii i antymaterii związanych siłami elektromagnetycznymi. Najlżejszym z takich atomów jest protonium, czyli stan związany protonu i antyprotonu. Jest on bardzo podobny do zwykłego wodoru, w którym elektron został zastąpiony antyprotonem o takim samym ładunku. Jednak ze względu na dużą różnicę mas pomiędzy nimi, wynoszącą około 2000, średnia odległość pomiędzy tymi dwoma cząstkami jest znacznie mniejsza. Gdy atom znajduje się w najniższym stanie energetycznym, jego rozmiar wynosi około kilkudziesięciu fm, czyli jest 10 tysięcy razy mniejszy od normalnego wodoru, a oddziaływanie silne odgrywa również ważną rolę w określaniu właściwości tego egzotycznego atomu. Chcemy zbadać siły oddziaływania pomiędzy materią i antymaterią w stanie związanym proton-antyproton i zaobserwować, jak zachowują się one przed anihilacją.

Uzyskiwane wyniki są upowszechniane w postaci publikacji w czasopismach naukowych, referatów na międzynarodowych konferencjach naukowych oraz na seminariach krajowych i zagranicznych. Wzbogacają one istniejącą wiedzę o fundamentalnych właściwościach stanu materii wytworzonego w tych zderzeniach.