

Streszczenie

Badanie atomów antyprotonowych i granic oddziaływań jądrowych i elektromagnetycznych.

Jakub Zieliński

Atomy antyprotonowe to egzotyczne układy, w których jeden ze związanych elektronów atomowych zostaje zastąpiony antyprotonem ($\bar{p}$), antycząstką protonu. Ta wymiana prowadzi do powstania silnie wzbudzonego atomu, ponieważ antyproton jest około 2000 razy masywniejszy od elektronu. Atom uwalnia tę energię poprzez kombinację promieniowania rentgenowskiego oraz emisji elektronów Augera, podczas gdy antyproton kaskadowo opada na niższe orbity. Ostatecznie antyproton znajduje się wystarczająco blisko jądra atomowego i anihiluje z jednym z nukleonów, protonem lub neutronem.

Proces anihilacji prowadzi do emisji pionów, a czasami kaonów. Ta reakcja może rozbić jądro na lżejsze, często radioaktywne, izotopy pierwiastków o mniejszej lub równej liczbie atomowej Z . Alternatywnie, po anihilacji może pozostać pojedynczy izotop o liczbie masowej $A - 1$. Badanie jąder pozostałych po anihilacji atomów antyprotonowych może dostarczyć informacji na temat oddziaływań elektromagnetycznych i jądrowych między $\bar{p}$ a jądrem atomowym, a także rozkładów neutronów i protonów w pierwotnym jądrze.

Niniejsza rozprawa rozważa nowatorską metodę badania atomów antyprotonowych poprzez wychwytywanie ich fragmentów anihilacji w pułapce Penninga-Malmberga w warunkach ultrawysokiej próżni. Obejmowała ona szczegółową symulację z wykorzystaniem najnowocześniejszych kodów Monte Carlo do modelowania oddziaływań antyprotonów z jądrami docelowymi i późniejszego uwięzienia wytworzonych fragmentów w kombinacji potencjałów przyłożonych do elektrod pułapki. Opracowano model symulujący widma czasu przelotu (TOF), który w połączeniu z oszacowanymi wydajnościami produkcji izotopów pozwala na przewidywanie sygnału eksperymentalnego w pomiarach.

Eksperymenty przeprowadzono w ośrodku CERN Antiproton Decelerator (AD) w ramach eksperymentu *Antimatter Experiment: Gravity, Interferometry, Spectroscopy* (AEGIS). Zapewnia on niezbędną infrastrukturę do testowania metody produkcji oraz oceny wykonalności wychwytywania i identyfikacji fragmentów anihilacyjnych. Przeprowadzono szereg usprawnień w eksperymencie w celu wytwarzania atomów antyprotonowych oraz uwięzienia fragmentów anihilacji w zagnieżdżonej konfiguracji pułapki Penninga-Malmberga. Najważniejszym z nich było

opracowanie nowatorskiego autonomicznego systemu sterowania o nazwie CIRCUS (*Computer Interface for Reliably Controlling, in an Unsupervised manner, Scientific experiments*).

Na koniec opisano wyniki eksperymentów dotyczących wychwytywania kationów powstałych w wyniku interakcji $\bar{p}$ -ów z resztkowym gazem ^{40}Ar w pułapce Penninga-Malmberga. Wstępne wyniki sugerują, że zastosowanie zagnieżdżonej pułapki Penninga-Malmberga zakończyło się powodzeniem i jony dodatnie zostały uwięzione bezpośrednio po obserwacji anihilacji antyprotonów. Ponadto zauważono sygnały odpowiadające przewidywaniom dla fragmentów anihilacji, jednak ze względu na obecne tło gazu resztkowego w pomiarach oraz ograniczoną ilość zebranych danych, rezultaty pozostają niejednoznaczne. Praca kończy się listą potencjalnych usprawnień i propozycjami przyszłych działań mających na celu konsolidację nowych technik opracowanych w ramach tej pracy.

Słowa kluczowe: antyprotonowe atomy, antyprotony, antymateria, struktura jądra atomowego, system kontroli, AEGIS, CERN