

## **Efekty zderzeniowe w spektroskopii atomów egzotycznych: obliczenia z zasad pierwszych na potrzeby testowania fizyki fundamentalnej**

Obiektem zainteresowania tego projektu są egzotyczne atomy helu – unikalne układy kwantowe, w których jeden z elektronów w atomie helu jest zastąpiony przez inną subatomową cząstkę, taką jak pion, kaon czy antyproton. Egzotyczne atomy mogą istnieć w stabilnych stanach kwantowych (stanach metastabilnych), które istnieją na tyle długo, że można je badać z wysoką dokładnością metodami spektroskopowymi. Spektroskopia bada oddziaływanie atomów ze światłem, których efektem jest widmo – zarejestrowany obraz promieniowania rozłożonego na poszczególne długości fal. Elementami charakterystycznymi widma są tzw. linie spektralne, których położenia, natężenia i kształty dostarczają informacje o wewnętrznej strukturze atomu. Dokładność pomiarów spektroskopowych ograniczona jest między innymi przez zderzenia egzotycznych atomów z otaczającymi atomami helu, które powodują poszerzenie i przeunięcia linii spektralnych. Dokładne zrozumienie tych efektów na gruncie teoretycznym jest kluczowe dla wiarygodnej interpretacji eksperymentalnych widm egzotycznych atomów. Badania te mają fundamentalne znaczenie, ponieważ umożliwiają testowanie Modelu Standardowego – współczesnej teorii oddziaływań między cząstkami elementarnymi.

Głównym celem tego projektu jest przedstawienie szczegółowego opisu, w jaki sposób zderzenia wpływają na linie spektralne egzotycznych atomów helu. W odróżnieniu od wcześniejszych prób zbadania efektów zderzeniowych, ten projekt oparty będzie w pełni na teorii kwantowej: rozwiązanie równania Schrödingera dla układu egzotyczny atom – atom helu dostarczy informacje o tym, w jaki sposób zderzenie zaburza strukturę energetyczną egzotycznych atomów oraz ich ruch postępowy, prowadząc do zmian kształtu linii spektralnych. Wyniki tego projektu posłużą jako dane referencyjne umożliwiające zwiększenie dokładności pomiarów eksperymentalnych w spektroskopii atomów egzotycznych, co będzie mieć znaczący wpływ na różne dziedziny fizyki atomowej. Dokładniejsze pomiary spektroskopowe egzotycznych atomów helu umożliwiają między innymi ustalenie mas egzotycznych cząstek (antyprotonów, pionów i kaonów), z niespotykaną dotąd precyzją. Z kolei porównanie masy antyprotonu z masą protonu pozwoli na przetestowanie fundamentalnej symetrii postulowanej przez Model Standardowy – tzw. symetrii CPT. Ważnym aspektem projektu będzie również pierwsze zastosowanie obliczeń kwantowego rozpraszania do analizy zaburzeń przejść dwufotonowych — linii spektralnych powstałych w wyniku oddziaływania egzotycznych atomów z dwoma kwantami promieniowania elektromagnetycznego. Pomiary wykorzystujące spektroskopię dwufotonową, pełnią kluczową rolę w badaniach struktury energetycznej atomów egzotycznych.

Dodatkowo, w projekcie zostanie zbadane zachowanie atomów egzotycznych w ekstremalnych, ultrazimnych warunkach, w których hel przechodzi w stan nadciekły. W tych warunkach zaobserwowano nagłe i niewyjaśnione zwięźenie linii widmowych jednego z egzotycznych atomów – antyprotonowego helu. Zrozumienie tego zjawiska pomoże znacząco zwiększyć precyzję pomiarów spektroskopowych, prowadząc do jeszcze dokładniejszych testów fizyki fundamentalnej.