



STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Dyscyplina naukowa: Nauki fizyczne

Tytuł rozprawy doktorskiej: W kierunku wysokoprecyzyjnej spektroskopii atomów alkalicznych, podobnych do ziem alkalicznych oraz antymaterii

Streszczenie rozprawy doktorskiej:

W mojej pracy opisuję, w jaki sposób wykorzystuję precyzyjną spektroskopię optyczną na dwóch uzupełniających się platformach, atomach neutralnej rtęci (Hg) i pozytonium (Ps), aby przekształcić minimalne efekty fizyczne w mierzalne przesunięcia częstotliwości, które zarówno wspierają metrologię czasu nowej generacji, jak i testują podstawowe zasady fizyki w czysty, kontrolowany sposób. Hg, ciężki atom wieloelektronowy, oferuje ultra wąskie przejście zegarowe o wyjątkowo niskiej wrażliwości na zaburzenia środowiskowe i bezpośrednim znaczeniu dla optycznych zegarów atomowych; Ps, czysty leptonowy system bez jądra atomowego, stanowi wyjątkowo proste środowisko testowe dla elektrodynamiki kwantowej stanów związanych i symetrii materii i antymaterii. Traktowanie tych systemów równolegle pozwala mi połączyć praktyczną metrologię z wnikliwymi testami teorii w ramach jednego spójnego programu.

Moim celem było skonstruowanie, stabilizacja i scharakteryzowanie instrumentów niezbędnych do badania tych systemów z najwyższą precyzją oraz zapewnienie zgodności pomiarów z sekundą SI. W Narodowym Laboratorium FAMO w Toruniu opracowałem ultra stabilną wnękę optyczną działającą w temperaturze pokojowej, zintegrowane łącza optyczne z eliminacją szumów światłowodowych oraz wdrożyłem system wzmacniania mocy optycznej i czterokrotnego zwielokrotniania częstotliwości, wszystko to w celu zbadania przejścia $1S_0 - 3P_0$ w Hg w pobliżu 265,6 nm. Zbudowałem systemy laserów pompujących, w tym opracowane na potrzeby projektu lasery diodowe z zewnętrznym rezonatorem, działające w zakresie 404,7 nm i 546,1 nm, wyposażone w cyfrową pętlę stabilizacji częstotliwości. W końcu, ze względu na to, że istniejąca komora eksperymentalna uniemożliwiała wdrożenie sieci optycznej działającej przy magicznej długości fali, zaprojektowałem nową komorę główną i próżniowy układ luster sieci optycznej. Wszystkie te kroki sprawiają, że nasze laboratorium zbliża się do progu spektroskopii przejścia zegarowego w rtęci.

Równolegle w CERN, w ramach współpracy AE $\bar{\gamma}$ IS, poczyniliśmy postępy w zakresie precyzyjnej spektroskopii pozytonium. Bazując na sukcesie pierwszego eksperymentalnego schłodzenia Ps za pomocą lasera, zaprojektowałem system bezdoplerowskiej spektroskopii dwufotonowej wzmocnionej wnęką optyczną dla przejścia $1^3S_1 - 2^3S_1$. System działa przy długości fali 486 nm i wykorzystuje optyczny grzebień częstotliwości oraz wnękę wzmacniającą moc. Detekcja opiera się na cyfrowym blokowaniu częstotliwości, a szacowany budżet niepewności sugeruje możliwość osiągnięcia dokładności poniżej 100 kHz. Tam, gdzie to możliwe, przenieśliśmy techniki metrologiczne opracowane w systemie laserowym Hg — odniesienie do grzebienia, stabilizacja wnęki, eliminacja szumów światłowodowych i rygorystyczna analiza stabilności — do platformy antymaterii, aby zapewnić zgodność z SI i

osiągnąć najwyższą dokładność.

Uważam, że platforma Hg, którą skonstruowałem z pomocą moich współpracowników, zapewnia stabilność optyczną, referencję i moc UV niezbędną do spektroskopii przejścia $^1S_0 - ^3P_0$. W przypadku Ps wykorzystanie chłodzenia laserowego oraz planowanego spektrometru wzmocnionego wnęką optyczną i odniesionego do grzebienia częstotliwości optycznych otwiera drogę do uzyskania najwyższej dokładności pomiarów interwału $1^3S_1 - 2^3S_1$ w tym bezjądrowym atomie.