

STRESZCZENIE

Problem istnienia ciemnej materii pozostaje nierozwiązany od niemal stulecia. Współcześnie, liczne poszukiwania oddziaływań między ciemną, a zwykłą materią barionową wykorzystują metody oparte na technikach bazujących na fizyce atomowej i molekularnej. W tym kontekście szczególne zainteresowanie budzi optyczna magnetometria oraz komagnetometria atomowa, ponieważ obecnie to te techniki pozwalają na najdokładniejsze pomiary egzotycznych sprzężeń spinowych w paśmie częstotliwości poniżej 100 Hz.

Szczególnym przykładem eksperymentu wykorzystującego magnetometrię optyczną do poszukiwania oddziaływań z ciemną materią jest Globalna Sieć Magnetometrów Optycznych do Poszukiwań Fizyki Egzotycznej (ang. Global Network of Optical Magnetometers for Exotic physics search – GNOME). Sieć GNOME pozwala na detekcję zależności od czasu sprzężeń spinowych, które mogą być wygenerowane przez hipotetyczne obiekty astronomiczne składające się z ultralekkiej ciemnej materii, w tym w szczególności materii aksjonowej.

Niniejsza praca przedstawia wyniki badań nad rozwojem sensora nowej generacji dedykowanego dla eksperymentu GNOME, który był budowany w Instytucie Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Działanie tego czujnika, będącego samo-kompensującym się komagnetometrem atomowym, oparte jest o mieszaninę spolaryzowanych par metali alkalicznych oraz spolaryzowanego jądro ^3He . W ramach niniejszego doktoratu zbudowany komagnetometer pracujący w reżimie dwóch osi czułości, co umożliwia uzyskanie bardziej kompletnej informacji o potencjalnych egzotycznych sprzężeniach spinowych. Optymalizacja pracy tego urządzenia pozwoliła na pomiary egzotycznych sprzężeń do spinów neutronu z czułością na poziomie $1,5 \times 10^{-21} \text{ eV}/\sqrt{\text{Hz}}$ oraz $1,5 \times 10^{-19} \text{ eV}/\sqrt{\text{Hz}}$ w przypadku sprzężeń do spinów protonowych. W ramach doktoratu opracowano również nową procedurę zoptymalizowanej kalibracji urządzenia. Dzięki niej układ może być kalibrowany rzadziej niż co 24 godziny, z martwym czasem, podczas którego kalibrowane jest urządzenie, rzędu 250-s. Sprawia to, że nowa procedura umożliwia wielomiesięczne pomiary z martwym czasem aktywności urządzenia co najmniej o rząd wielkości krótszym od wcześniej stosowanych metod. Warto na koniec zauważyć, że przedstawiona praca opisuje nowatorską metodę kalibracji samo-kompensujących się komagnetometrów optycznych, która pozwala na interpretację wyników pomiarów w szerokim paśmie częstotliwości. Ponieważ we wcześniejszych badaniach zakładana była spektralnie niezmienna odpowiedź sensorów, to uwzględnienie charakterystyki spektralnej urządzenia stanowi jakościową zmianę w stosunku do prowadzonych wcześniej poszukiwań, a także może spowodować konieczność modyfikacji wcześniejszych limitów na niemagnetyczne sprzężenia spinowe. W celu potwierdzenia poprawności metody, została ona zweryfikowana przy użyciu pomiarów rotacji na układzie komagnetometru optycznego w Moguncji (Niemcy) podczas wizyty naukowej autora niniejszej pracy doktorskiej.