

Streszczenie

Niniejsza rozprawa doktorska przedstawia badania nad ultrastabilnymi rezonatorami optycznymi i ich zastosowaniami. Główne wyniki tej pracy obejmują projekt ultrastabilnej wnęki optycznej w temperaturze pokojowej wraz z osłoną termiczną i komorą próżniową, badanie fundamentalnych teoretycznych ograniczeń stabilności, zastosowanie ultrastabilnych wnęk do wykrywania fal grawitacyjnych o wysokiej częstotliwości i kwantowych fluktuacji czasoprzestrzeni o niskiej częstotliwości. Dodatkowo przeprowadzono prace teoretyczne mające na celu zwiększenie stabilności ultrastabilnych rezonatorów optycznych.

Stabilność ultrastabilnych wnęk została dogłębnie badana, ze szczególnym uwzględnieniem źródeł szumu termicznego, takich jak szum Browna, termoelastyczny i termooptyczny. Aby osiągnąć obliczoną stabilność, odstępnik wnęki i komora próżniowa zostały starannie zaprojektowane, aby zminimalizować czułość na zakłócenia zewnętrzne. Zaprojektowana wnęka jest wyposażona w nowe krystaliczne pokrycia luster AlGaAs/GaAs, które powinny poprawić stabilność wnęki w porównaniu z pokryciami dielektrycznymi.

Proponujemy ultrastabilną wnękę jako rezonansowy detektor fal grawitacyjnych. Wykorzystanie rezonansu mechanicznego wnęki może pozwolić na wykrycie fal grawitacyjnych, których częstotliwość odpowiada częstotliwości rezonansowej odstępника. Czułość na amplitudę fali grawitacyjnej jest zwiększana poprzez zwiększanie masy wnęki, obniżanie temperatury i zwiększanie rozmiaru plamki wiązki na zwierciadle przy użyciu zwierciadeł wypukło-wklęsłych. Rezonansowy detektor fal grawitacyjnych został zaprojektowany głównie do obserwacji częstotliwości wykraczających poza obecny zakres istniejących interferometrów. Jest to również zakres poza klasycznymi źródłami promieniowania grawitacyjnego, ale pozwala na obserwację obiektów nieklasycznych, takich jak czarne dziury o masach mniejszych niż $1 M_{\odot}$. Co więcej, obserwacja w wysokich częstotliwościach mogłaby udowodnić istnienie źródeł wykraczających poza model standardowy, takich jak aksjony i cząstki podobne do aksjonów.

Drugie proponowane zastosowanie ultrastabilnych wnęk w fizyce fundamentalnej polega na poprawieniu eksperymentalnych ograniczeń na amplitudę fluktuacji czasoprzestrzeni. W pracy zaproponowano ulepszenie istniejących ograniczeń za pomocą zestawu dwóch wnęk ustawionych prostopadle i równolegle, poprawiając poprzednie ograniczenia o co najmniej rząd wielkości. Dodatkowo zaproponowano dwie metody wykorzystania pojedynczej wnęki tj. sygnał pojedynczej wnęki z metody „three-cornered hat” i sygnał pojedynczej wnęki w porównaniu z atomami strontu. Obie metody poprawiają limity na amplitudę fluktuacji czasoprzestrzennych w porównaniu z poprzednimi wynikami.