# СОСТАВНЫЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ ИЗ КРЕМНИЯ

***Гальченко Л.Д.***

*студент*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

*E–mail*: [*lidgalo@gmail.com*](mailto:lidgalo@gmail.com)

Проект LIGO Voyager разрабатывается как новое поколение интерферометров для детектирования гравитационных волн. Подтвердить их существование смогли лишь 14 сентября 2015 года [1], когда две установки LIGO зарегистрировали гравитационные волны от слияния двух черных дыр.

Важное отличие LIGO Voyager от предыдущих поколений интерферометров заключается в том, что пробные массы из кремния будут находиться в нем при азотных температурах [2]. Выяснено, что при температуре около 123К коэффициент теплового расширения кремния проходит через ноль [2], потому в интерферометре пробные массы будут охлаждаться до указанной температуры. Согласно флуктуационно- диссипационной теореме основным условием снижения теплового шума является достижение максимально возможной добротности различных мод колебаний пробных масс. LIGO Voyager - широкополосный детектор, и ранее были изучены потери на частотах около 800 Гц. Составной резонатор позволяет измерить добротность на частотах около 100 Гц. При указанных выше условиях потери в соединительных слоях определяют потери в резонаторе. В связи с этим в работе изучаются потери в соединениях кремниевых элементов.

Разработана модель составного кремниевого резонатора для исследования потерь в диапазоне низких частот в соединительном слое и для определения зависимостей величины потерь от геометрических параметров слоя. Материалом соединительного слоя могут быть легкоплавкие металлы и сплавы, в частности галлий. Ранее для соединения частей подобного резонатора использовалась техника гидроксидного катализа, однако такое соединение невозможно разорвать при необходимости. Соединения с использованием легкоплавких металлов обеспечивают подобную возможность [3]. Измеряя потери в таком резонаторе, можно получить значение величины угла механических потерь в соединительном слое металла. Результаты будут использованы для вычисления ожидаемых потерь и теплового шума в кремниевых резонаторах и пробных массах гравитационно-волновых детекторов.

Физические модели созданы в программе COMSOL Multiphysics 5.2a. “Ножкой” камертона является кремниевый блок с параметрами 17 × 22 × 1.6 мм. В качестве “зубцов” использованы кремниевые диски толщиной 0.27 мм и диаметром 50.7 мм. Проведена оптимизация параметров соединительного слоя (его толщина и ширина наложения) по механическим потерям. Следующим этапом является экспериментальное определение значений потерь в соединительных слоях составных механических резонаторов.

# Литература

1. B. P. Abbott, R. Abbott, T. D. Abbott et. al., Observation of gravitational waves from a binary black hole merger, Phys. Rev. Lett. 116 061102 (2016).
2. R. X. Adhikari, K. Arai, A. F. Brooks et. al., A cryogenic silicon interferometer for gravitational-wave detection, Class. Quantum Grav. 37 165003 (2020).
3. G. Eddolls, K. Haughian, R. Bassiri et. al., Update on Suspension and Bonding Activities in Glasgow, LIGO Document G2200421, LVK March Meeting (2022).