

**РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО  
ПОСОБИЯ:  
«ГИРОСКОПЫ НА СВЕРХТЕКУЧЕСТИ  
ГЕЛИЯ»**

Черниченко В. С., Биденко А. И., Кробка Н. И., Трибулев Н. В.  
Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э.  
Баумана, г. Москва, Россия

Лазерные гироскопы на эффекте Саньяка были изобретены в 1960-ых, получили широкое распространение в 1980-ых, после 20 лет отработки с улучшением точности до уровня:

- стабильность нуля 0,001–0,01 град/ч;
- случайный дрейф 0,0001–0,001 град/ч<sup>1/2</sup>;
- стабильность масштабного коэффициента (МК) 0,001-1,0 ppm ( $10^{-9}$ – $10^{-6}$ ).

В 1970-ых появилось второе поколение гироскопов на эффекте Саньяка, использующих оптоволокно в качестве световодов. За 25 лет была достигнута точность:

- 0,0001÷0,001 град/ч (США);
- 0,001÷0,01 град/ч (Евросоюз);
- 0,001÷0,01 град/ч (КНР);
- 0,005÷0,1 град/ч (Россия).

На рубеже веков в гироскопах на эффекте Саньяка (ГЭС) стали использоваться не фотоны, а медленные (по сравнению со скоростью света) волны материи, обладающие массой покоя (волны де Бройля). Это высокоточные гироскопы на конденсате Бозе – Эйнштейна (БЭК), волнах де Бройля отдельных атомов (ГВБ), а также на квантовых свойствах сверхтекучих жидкостей (ГСЖ). Чувствительность ГЭС на волнах де Бройля превосходит чувствительность лазерных и волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) на световых волнах на девять-одиннадцать порядков ( $10^9$ - $10^{11}$ ), что позволяет существенно превзойти уровень точности, доступный для ЛГ и ВОГ (ориентировочно на четыре порядка ( $10^4$ ) с учетом шумов).

В настоящее время рекордная точность лабораторных образцов гироскопов на волнах материи составляет:

- стабильность нуля – лучше 0,0001 град/ч (1 $\sigma$ );
- случайный дрейф – менее 0,000005 град/ч<sup>1/2</sup>;
- стабильность масштабного коэффициента – лучше 5 ppm.

Объектом исследований в настоящей конкурсной работе являются ГЭС III поколения – гироскопы на сверхтекучести гелия.

Приборы такого рода находят множество применений не только в инерциальной навигации, но и в геодезии, а также могут использоваться в экспериментах по проверке общей теории относительности (ОТО). Геофизики заинтересованы в сенсорах абсолютного вращения для предсказания сейсмических эффектов, вызванных солнечными и лунными приливами. ОТО предсказывает, что вращающееся тело, такое как Земля, увлекает за собой локальную инерциальную систему координат. Это явление составляет

$\sim 10^{-10}$  от вращения Земли. В настоящее время в нескольких ведущих мировых исследовательских центрах ведутся активные работы по созданию гироскопов на сверхтекучести гелия. Среди них группа Ричарда Паккарда (The University of California, Berkeley, USA), группа Эрика Вароко (the University of Paris-Sud, Orsay, France) и другие.

Гироскопы на сверхтекучести представляют собой аналоги высокочувствительных измерителей магнитных полей на сверхпроводниках: dc-SQUID – СКВИД постоянного тока, ac-squid – сквида переменного тока. Поскольку SQUID на сверхпроводниках – наиболее чувствительный детектор магнитного потока, SQUID на сверхтекучести должен быть чувствительным детектором абсолютного вращения. В сверхтекучих жидкостях, как и в сверхпроводниках, наблюдается эффект Джозефсона типа «мост» – используется не туннельный эффект, а эффект протекания сверхтекучей компоненты через наноразмерные отверстия (порядка 70 нм).

Целью исследований является разработка учебного пособия по ГСГ.

**Глава 1** посвящена эффекту Саньяка и его проявлению в сверхтекучих жидкостях.

**Глава 2** содержит физические основы гироскопов на сверхтекучести гелия, являющиеся теоретической базой. Кратко изложены свойства квантовых жидкостей, подчиняющихся статистике Ферми – Дирака и Бозе – Эйнштейна.

**Глава 3.** Рассматривается структурная схема и классификационная таблица (КТ) оптико-физических схем (ОФС). КТ ОФС содержит возможные варианты элементов конструкций.

**Глава 4.** Излагаются базовые технологии гироскопов на сверхтекучести: описываются криогенные установки, способы охлаждения и длительного удержания гелия.

**Глава 5** описывает технические решения и технический облик ГСГ.

**Глава 6** содержит возможные варианты применения. В частности, рассмотрен проект Very Long Baseline Interferometry – интерферометрия со сверхдлинной базой.

Пособие будет внедрено в программу МГТУ им. Н. Э. Баумана в качестве спецкурса.

В процессе выполнения конкурсной работы проведен анализ и систематизация научных работ зарубежных исследовательских центров.

Учебное пособие является первым методическим руководством по состоянию разработок, физическим основам и базовым технологиям гироскопов на сверхтекучести гелия в России.