

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Назмиева Альберта Ирековича
на тему: «Оптомеханическое и электрооптическое детектирование
резонансных сигналов с исключением обратного флуктуационного
влияния в широкой полосе частот»
по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики**

Диссертационная работа А.И. Назмиева посвящена теоретическому исследованию предельной квантовой чувствительности оптомеханических и электрооптических детекторов резонансных сигналов, изучению влияния паразитных эффектов на чувствительность и возможности их подавления, а также анализу физических моделей для экспериментальной реализации данных систем.

Актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений. Оптомеханические преобразователи давно используются для прецизионных измерений механического движения, составляя основу детекторов гравитационных волн, магнитометров, датчиков крутящего момента, в то время как электрооптические преобразователи являются перспективными системами для регистрации слабых электромагнитных сигналов терагерцового, инфракрасного и микроволнового диапазонов. При измерениях на уровне стандартного квантового предела и за его пределами естественно возникает задача контроля фундаментальных эффектов, связанных с обратным флуктуационным влиянием, а также тепловым шумом. При этом особое значение приобретает разработка методов преодоления стандартного квантового предела в широкой полосе частот, поскольку именно они дают возможность подавлять не только квантовый, но и тепловой шум. Именно этим потребностям и отвечают задачи, решаемые в диссертационной работе.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка публикаций автора, списка литературы и восьми приложений. Общий объём

диссертации составляет 123 страницы машинописного текста, включая 17 рисунков, 2 таблицы и список цитируемой литературы из 98 наименований.

Оценивая работу в целом, следует отметить следующее. Диссертация выполнена на высоком научном уровне и характеризуется необходимой новизной и достоверностью полученных результатов. Среди последних хочется выделить предложенные методы широкополосного вариационного измерения, основанные на трехмодовом оптомеханическом и трехмодовом электрооптическом преобразователях с накачкой на частоте средней моды. В обоих случаях показано, что независимое измерение светового поля на двух соседних модах позволяет исключить обратное флуктуационное влияние в широкой полосе частот и преодолеть стандартный квантовый предел. В первом случае определены подсистемы наблюдаемых, коммутирующие сами с собой и друг с другом в разные моменты времени, или так называемые «свободные от квантовой механики» подсистемы. Во втором случае показано, что предложенная схема позволяет преобразовать один высокочастотный фотон во множество (порядка 10^2) фотонов выходного оптического сигнала.

Диссертация представляет собой цельное и законченное научное исследование, содержание которого соответствует целям работы и названию диссертации. Научные положения, сформулированные в диссертационной работе, вполне обоснованы. Достоверность и новизна полученных результатов не вызывает сомнений. По теме диссертации опубликовано 3 статьи в международных научных журналах, а полученные результаты неоднократно докладывались на международных научных конференциях.

Аннотация соответствует тексту диссертационной работы.

В то же время по диссертации имеются следующие **замечания**:

1. Нигде в работе четко не написано, что понимается под широкой полосой частот. Особенно это важно подчеркнуть в первой обзорной главе в плане сравнения с узкополосными методами подавления обратного флуктуационного влияния. Кроме того, в первой главе

упоминаются другие методы исключения обратного флуктуационного влияния, в том числе в широкой полосе частот. Было бы уместным привести сравнительный анализ этих и предлагаемых в диссертационной работе методов.

2. На стр. 24 обсуждается зависимость оптических мод от операторов механического осциллятора. При этом делается ссылка на уравнения (2.17а, 2.17б), в которых эта зависимость не видна.
3. На стр. 30 написано «Хоть при условии (2.2) чувствительность может быть лучше, чем СКП, она становится ограниченной, когда мощность накачки достигает оптимального значения ...». Наверное, правильнее сказать, что она достигает наилучшего значения при оптимальной мощности, поскольку ограниченность имеет место всегда и никуда не исчезает при других мощностях.
4. В выводах к главе 3 написано, что в данной главе «предложен принцип широкополосного вариационного измерения высокочастотного сигнала, основанного на трехмодовом электрооптическом преобразователе для измерения ВЧ сигнала, с накачкой на средней оптической моде». Однако в данной главе речь идет об оптомеханическом преобразователе.
5. В третьем положении, выносимом на защиту, написано: «Схема, основанная на этом принципе, способна преобразовать один высокочастотный фотон в 490 фотонов выходного оптического сигнала.» Поскольку оценка 490 не является фундаментальным пределом и сильно зависит от параметров системы, на мой взгляд указывать конкретную величину в защищаемом положении нет смысла.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени

М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Назмиев Альберт Ирекович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент, член-корреспондент РАН,
директор

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр
Российской академии наук» (ФИЦ КазНЦ РАН)

Калачев Алексей Алексеевич

8 сентября 2025 г.

Контактные данные:

тел.: +7(905)3143803, e-mail: a.kalachev@knc.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.05 – Оптика

Адрес места работы:

420111, Республика Татарстан г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31,
ФИЦ КазНЦ РАН

Тел.: +7(843)2319000; e-mail: presidium@knc.ru