

Отзыв научного руководителя

доктора физико-математических наук Хабаровой Ксении Юрьевны
о работе Крючкова Дениса Сергеевича по кандидатской диссертации
«Компактные стабилизированные лазерные системы для транспортируемых
оптических часов и прецизионной интерферометрии»,
представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.19 – Лазерная физика

Крючков Денис Сергеевич с отличием окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», защитив магистерскую диссертацию на тему «Оптические резонаторы из кристаллических материалов для снижения тепловых шумов» в 2019 году, в том же году поступил в аспирантуру ФИАН и продолжил работу над созданием и исследованием лазерных систем с активной стабилизацией частоты излучения по внешним опорным высокочастотным оптическим резонаторам Фабри-Перо. С 2016 года по настоящее время является сотрудником Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук. Работа по подготовке материала для диссертации выполнялась в Лаборатории оптики сложных квантовых систем Отделения оптики ФИАН.

Диссертационная работа Д.С. Крючкова «Компактные стабилизированные лазерные системы для транспортируемых оптических часов и прецизионной интерферометрии» посвящена созданию и исследованию компактных лазерных систем с высокой стабильностью частоты лазерного излучения и использованию их в качестве опорных источников в задачах прецизионного измерения линейных смещений и создания транспортируемых оптических часов. Высокостабильные лазерные системы сегодня нашли широкое применение как в области фундаментальных исследований, так и практических приложений. К первым можно отнести проверки фундаментальных теорий, например, поиск возможных вариаций и дрейфа фундаментальных констант, регистрация гравитационных волн, тесты Лоренц-инвариантности, поиск ультралегкой темной материи. Вторые включают в себя точную передачу

сигналов оптической частоты и времени по волоконным линиям или открытым каналам, картографирование гравитационного потенциала Земли, задачи сенсорики, создание транспортируемых оптических часов на нейтральных атомах и ионах. В рамках диссертационной работы Крючкова Д.С. был обнаружен и исследован эффект термооптической бистабильности, проявляющийся в разработанном и созданном компактном высокодобротном резонаторе Фабри-Перо на длине волны 1550 нм при увеличении заводимой в него мощности излучения. Была определена постоянная времени теплового отклика зеркал и чувствительность частоты резонансной моды интерферометра к интенсивности циркулирующего в нем излучения. Результаты данных исследований востребованы в задачах создания оптических логических устройств, а также должны учитываться при применении таких резонаторов в оптических стандартах частоты и времени, экспериментах по высокоточной лазерной спектроскопии и интерферометрии. Также был предсказан эффект смещения точки нулевого коэффициента теплового расширения в зависимости от циркулирующей мощности для высокодобротных оптических резонаторов с телом из стекла ULE и зеркалами на подложках из стекла ULE и КУ-1. Данный эффект должен учитываться при метрологической характеристике ультрастабильных лазерных систем. Также в рамках работы было продемонстрировано прецизионное измерение линейных смещений с помощью созданного лазерного гетеродинного интерферометра. Достигнутая точность данных измерений подтверждает достижимость чувствительности, необходимой для решения современных задач релятивистской геодезии. В ходе работы также была предложена и реализована схема построения оптических часов на одиночном ионе иттербия, в которой независимая опорная ультрастабильная лазерная система на длине волны 1550 нм используется для стабилизации многоканальной фемтосекундной гребенки оптических частот. Такой подход обеспечивает непрерывную генерацию радиочастотного выходного сигнала и локальную стабилизацию частот всех используемых лазерных систем, что позволило повысить надежность и компактность созданных оптических часов. Данный результат является важным для задач формирования и поддержания шкал времени, укрепления наземного и бортового сектора ГЛОНАСС, синхронизации геометрически разнесенных процессов и фундаментальных исследований. Все результаты, вошедшие в

диссертацию, получены Д.С. Крючковым лично, либо при его решающем участии.

В ходе своей работы Д.С. Крючков показал себя как состоявшийся исследователь, способный и к самостоятельной, и к командной работе. Он продемонстрировал высокий уровень инженерной и научной подготовки, отличные навыки экспериментальной работы, а также организаторские способности. Особенно хочется подчеркнуть его квалификацию в области моделирования, разработки и создания высоковакуумных оптических систем. Д.С. Крючков неоднократно представлял полученные результаты на международных и всероссийских конференциях, семинарах и симпозиумах и является соавтором 21 публикации в журналах, индексируемых международными базами данных Scopus и Web of Science (из них 5 публикаций лежат в основе диссертации), а также патента на полезную модель.

Считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Д.С. Крючков заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 — Лазерная физика.

Высококвалифицированный ведущий научный
сотрудник Отдела спектроскопии
Отделения оптики ФИАН,
д.ф.-м.н.
Хабарова Ксения Юрьевна
ФИАН, 119991 Москва, Ленинский просп., 53
тел.: +7(499) 132-61-85
e-mail: habarovaky@lebedev.ru



"30" января 2024 г.

Подпись Хабаровой Ксении Юрьевны заверяю:
Ученый секретарь ФИАН,
кандидат физико-математических наук
Колобов Андрей Владимирович

