

Учебно-методическая статья
УДК 621.373.8262
DOI 10.25205/2541-9447-2022-17-2-70-74

Кафедра квантовой электроники ФФ НГУ
Сергей Николаевич Багаев¹, Илья Игоревич Бетеров²,
Андрей Николаевич Гончаров³, Сергей Васильевич Чепуров⁴,
Алексей Владимирович Тайченачев⁵

¹⁻⁵Институт лазерной физики СО РАН, проспект академика Лаврентьева,
Новосибирск, Россия

^{1-3,5}Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Россия

²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, проспект академика Лаврентьева,
Новосибирск, Россия

¹bagayev@laser.nsc.ru; ²beterov@isp.nsc.ru
³goncharov_an@ngs.ru; ⁴svc972@gmail.com
⁵bagayev@laser.nsc.ru

Аннотация

Деятельность кафедры квантовой электроники ФФ НГУ нацелена на подготовку высококвалифицированных кадров в области современной лазерной физики и техники, прецизионной лазерной метрологии, и квантовых технологий в целом. Кафедра базируется в Институте лазерной физики СО РАН.

Ключевые слова

квантовая электроника, лазерная физика, лазерная метрология, лазерное охлаждение, квантовые технологии

Для цитирования

Багаев С. Н., Бетеров И. И., Гончаров А. Н., Чепуров С. В., Тайченачев А. В. Кафедра квантовой электроники ФФ НГУ. // Сибирский физический журнал. 2022. Т. 17, № 2. С. 70–74. DOI 10.25205/2541-9447-2022-17-2-70-74

Chair of Quantum Electronics of Faculty of Physics NSU

Sergey N. Bagayev¹, Ilya I. Beterov²,
Andrew N. Goncharov³, Sergey V. Chepurov⁴,
Alexei V. Taichenachev⁵

¹⁻⁵Institute of Laser Physics SB RAS, prosp. Acad. Lavrentieva,
Novosibirsk, Russian Federation

^{1-3,5}Novosibirsk State University,
Novosibirsk, Russian Federation

²Rzhanov Institute of Semiconductor Physics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation

¹bagayev@laser.nsc.ru; ²beterov@isp.nsc.ru
³goncharov_an@ngs.ru; ⁴svc972@gmail.com
⁵bagayev@laser.nsc.ru

Abstract

Chair of Quantum Electronics of Faculty of Physics of NSU educates highly-qualified researchers in modern laser physics and laser technologies, high-precision laser metrology and quantum technologies in general. The chair is based at the Institute of Laser Physics SB RAS.

Keywords

quantum electronics, laser physics, laser metrology, laser cooling, quantum technologies

For citation

Bagayev S. N., Beterov I. I., Goncharov A. N., Chepurov S. V., Taichenachev A. V. Chair of Quantum Electronics of Faculty of Physics NSU. Siberian Journal of Physics, 2022, vol. 17, no. 2, pp. 70–74. DOI 10.25205/2541-9447-2022-17-2-70-74

© Багаев С. Н., Бетеров И. И., Гончаров А. Н., Чепуров С. В., Тайченачев А. В., 2022

ISSN 2541-9447

Сибирский физический журнал. 2022. Том 17, № 2
Siberian Journal of Physics, 2022, vol. 17, no. 2

Кафедра квантовой электроники ФФ НГУ основана в 1999 году академиком РАН Сергеем Николаевичем Багаевым и базируется в Институте лазерной физики СО РАН. Исторически, проблемы квантовой электроники – это в первую очередь физика квантовых генераторов – лазеров и мазеров – и их применение в современной технике. Сегодня лазерное излучение используется для широкого спектра технических задач – передачи и оптической обработки информации, лазерной обработки материалов, метрологии, фотохимии, спектроскопии и лазерной диагностике. Отдельно следует выделить применение лазеров в медицине, включая лазерную хирургию, офтальмологию.

Наиболее важные научные задачи, решаемые исследователями, работающими на кафедре квантовой электроники ФФ НГУ, относятся к лазерной спектроскопии сверхвысокого разрешения. Получение узких и стабильных по частоте резонансных линий в спектрах поглощения или испускания вещества существенно расширяет наши знания о структуре и свойствах вещества, и дает технические возможности для сверхточного измерения частоты и времени. Благодаря этому возможны фундаментальные исследования постоянства физических констант, создание новых технологий для метрологии и навигации. Эти работы были отмечены Государственной премией РФ в области науки и техники за 1998 г. (присуждена С. Н. Багаеву, Е. В. Бакланову, В. М. Клементьеву в составе коллектива авторов за работу «Создание ультрастабильных по частоте лазеров, средств измерения оптических частот и их применение в прецизионных измерениях»). Работы по прецизионной лазерной спектроскопии, отмеченные Нобелевской премией по физике в 2005 году, во многом базировались на результатах новосибирских физиков, что было признано в Нобелевских лекциях [1; 2].



Рис. 1. Заведующий кафедрой академик РАН

Сергей Николаевич Багаев
Fig. 1. Head of the Chair academician Sergey Nikolaevich Bagayev

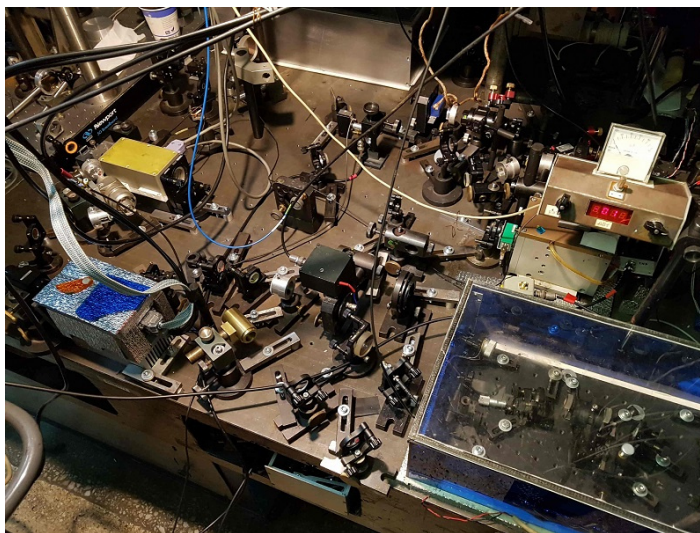


Рис. 2. Лазерная система для оптического стандарта частоты на основе ультрахолодных атомов магния
Fig. 2. Laser system for optical frequency standard based on ultracold magnesium atoms

Основные научные направления исследований в Институте лазерной физики СО РАН, который является базовым для кафедры квантовой электроники, – это лазерная спектроскопия

сверхвысокого разрешения и ее приложения, лазерные стандарты частоты и лазерная метрология, твердотельные и полупроводниковые лазерные системы, материалы квантовой электроники, генерация фемтосекундных импульсов, создание мощных технологических лазеров, лазерные системы для биомедицинских приложений.

Значительный прогресс в развитии квантовой электроники и лазерной спектроскопии связан с появлением методов лазерного охлаждения, отмеченных Нобелевской премией по физике в 1997 году [3]. Лазерное охлаждение позволило получить температуры менее ста микрокельвин, что не может быть достигнуто никакими другими методами. Вещество в таком состоянии может рассматриваться как «замороженный газ», для которого практически отсутствует эффект Доплера в оптическом диапазоне. Это открыло возможности для дальнейшего повышения точности атомных часов [4] и других приложений, среди которых выделяются квантовые вычисления. В последние годы появились экспериментальные методы создания упорядоченных массивов ультрахолодных атомов и точного управления квантовыми состояниями атомов. Такие атомы могут рассматриваться как логические элементы квантового компьютера – кубиты [5].

Квантовые технологии на основе интерференции ультрахолодных атомов являются базовыми для создания нового поколения сверхчувствительных и высокоточных датчиков (сенсоров) ускорения, гравитации, вращения и оптических стандартов частоты. Особый интерес эти датчики представляют для таких практических приложений, как навигация, в том числе инерциальная, дистанционное зондирование Земли, геофизика и поиск полезных ископаемых. Высокочувствительные датчики инерциальных сил и высокопрецизионные стандарты частоты являются важными инструментами также и для фундаментальных исследований. Исследованиями по разработке квантовых сенсоров и их применению занимаются за рубежом во многих научных и коммерческих организациях. В ИЛФ СО РАН ведется работа по созданию экспериментальной базы для квантовых сенсоров на основе интерференции ультрахолодных атомов и прецизионной лазерной спектроскопии, разработка, исследование и изготовление прототипов таких сенсоров. Особое значение имеет разработка прототипа абсолютного квантового гравиметра на основе ультрахолодных атомов рубидия.

В последнее десятилетие достигнут существенный прогресс в повышении стабильности и точности оптических стандартов частоты с использованием локализованных в простран-

стве охлажденных до сверхнизких температур атомов и ионов. Долговременная нестабильность частоты таких систем достигает 10^{-18} . Ключевым преимуществом таких стандартов является то, что атом или ион, имеющий в своей структуре энергетических уровней запрещенный сверхузкий переход, используемый в качестве оптического частотного репера, находится в хорошо контролируемой среде, в значительной мере изолированной от внешних воздействий.

Институт лазерной физики СО РАН и его научный коллектив занимают лидирующие позиции в России и в мире в области спектроскопии сверхвысокого разрешения, оптических стандартов частоты и атомной оптики. Создан первый в России оптический стандарт частоты на одиночном ионе иттербия-171 с суточной нестабильностью порядка 10^{-17} , коллективом института впервые предложены новые методы

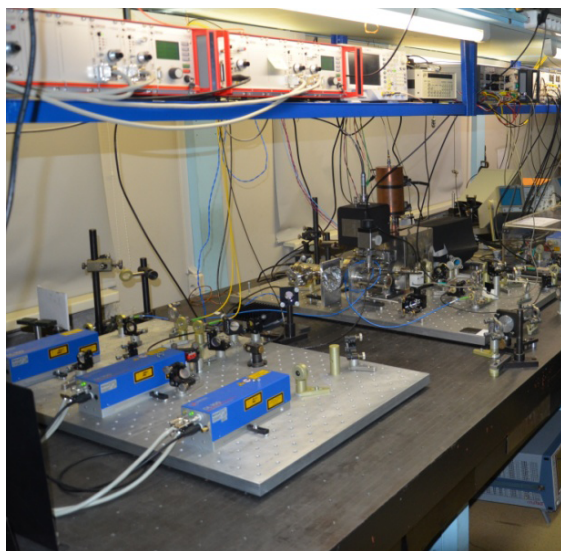


Рис. 3. Оптический стандарт частоты на основе одиночных ионов иттербия

Fig. 3. Optical standard based on a single ytterbium ion

спектроскопии сверхузких запрещенных оптических переходов и подавления паразитных частотных сдвигов.

Сегодня студенты, обучающиеся на кафедре квантовой электроники, работают с уникальными экспериментальными установками. Исследователи, работающие на кафедре, создают сложнейшие прецизионные лазерные системы, работа с которыми требует высочайшей квалификации. Установки такого класса используются в ведущих мировых научных центрах для решения научно-технических задач на переднем крае физики. Спецкурсы кафедры нацелены на обучение исследователей, прекрасно знающих квантовую физику и ее приложения в оптике и спектроскопии, умеющих конструировать и настраивать сложные лазерные системы, применять и разрабатывать электронные системы управления свойствами лазерного излучения, решать классические оптические задачи, детально анализировать результаты эксперимента и строить теоретические модели для описания экспериментов.

Новое направление, которое реализуется на кафедре, – квантовые информационные технологии. Сегодня особенно важны работы по созданию элементной базы квантовых вычислений. Для этого широко используются квантовые оптические методы и методы квантовой нанопластики. Спецкурсы в области квантовых информационных технологий знакомят студентов с основными принципами квантовых вычислений и квантовой криптографии, квантовым машинным обучением, методами квантовой метрологии на основе лазерного охлаждения, твердотельными реализациями квантовых вычислений. Для преподавания в рамках новой магистерской программы привлечены также исследователи из ИФП СО РАН, ИАиЭ СО РАН и НГТУ.

На базе кафедры действуют программы всех уровней – бакалавриата, магистратуры и аспирантуры. Все три уровня предполагают практику студентов и аспирантов в лабораториях ИЛФ СО РАН и профильных лабораториях других институтов СО РАН. Работы исследователей кафедры широко признаны международным сообществом. Благодаря этому с участием преподавателей кафедры создана международная магистерская программа Quantum Optics and Nanoscience, которая в настоящее время модернизируется. Сотрудники кафедры руководят магистрантами и аспирантами из Франции, Индии, Египта, КНР.

Регулярные события с участием сотрудников кафедры – Международный симпозиум и школа для молодых ученых «Современные проблемы лазерной физики» и Всероссийская конференция «Физика ультрахолодных атомов». В рамках симпозиума и школы молодые исследователи слушают лекции ведущих российских и зарубежных исследователей в области современной лазерной физики, имеют возможность личного общения с ведущими российскими и зарубежными учеными. Симпозиум проводится регулярно, и соответствует всем критериям высокого международного уровня. Конференция по физике лазерного охлаждения – единственное в России мероприятие такого профиля, имеющее значительный авторитет и выходящее на международный уровень.

Выпускники кафедры квантовой электроники успешно работают в институтах СО РАН, ведущих российских и зарубежных научных центрах. Их сильные стороны – фундаментальное знание физики и умение анализировать условия конкретного эксперимента, способность решать нетривиальные задачи при создании уникальных экспериментальных установок, умение

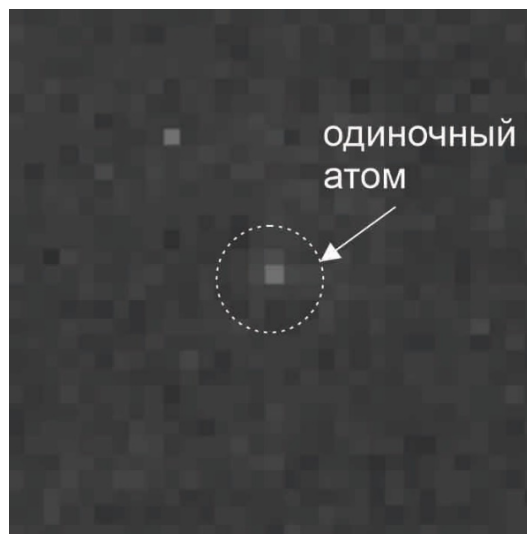


Рис. 4. Флуоресценция атомного кубита
Fig. 4. Fluorescence of the atomic qubit

автоматизировать эксперимент и решать сложные задачи управления лазерным излучением, широкий научный кругозор.

Список литературы

1. **Хэнш Т. В.** Страсть к точности // УФН. 2006. Т. 176. выпуск 12. С. 1368–1380.
2. **Холл Д.** Определение и измерение оптических частот: перспективы оптических часов – и не только // УФН. 2006. Т. 176. вып. 12. С. 1353–1367.
3. **Филлипс В. Д.** Лазерное охлаждение и пленение нейтральных атомов // УФН. 1999. Т. 169. выпуск 3. С. 305–322.
4. **Тайченачев А. В., Юдин В. И., Багаев С. Н.** Сверхточные оптические стандарты частоты на ультрахолодных атомах: состояние и перспективы // УФН. 2016. Т. 186. выпуск 2. С. 193–205.
5. **Бетеров И. И., Якшина Е. А., Третьяков Д. Б., Энтин В. М., Альянова Н. В., Митянин К. Ю., Фарук А. М., Рябцев И. И.** Реализация однокубитовых квантовых операций с индивидуальной адресацией двух атомов рубидия в двух оптических дипольных ловушках // Квантовая электроника. 2021. Т. 51. Выпуск 6. С. 464–472.

Сведения об авторах

Багаев Сергей Николаевич, академик РАН, доктор физико-математических наук, Институт лазерной физики СО РАН (Новосибирск, Россия)

Бетеров Илья Игоревич, кандидат физико-математических наук, Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН (Новосибирск, Россия)

Гончаров Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт лазерной физики СО РАН (Новосибирск, Россия)

Чепуров Сергей Васильевич, ведущий научный сотрудник, Институт лазерной физики СО РАН (Новосибирск, Россия)

Тайченачев Алексей Владимирович, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, Институт лазерной физики СО РАН (Новосибирск, Россия)

Information about the Authors

Sergey N. Bagayev, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Laser Physics SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

Ilya I. Beterov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Semiconductor Physics n. a. A.V. Rzhanova SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

Andrew N. Goncharov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, head of laboratory, Institute of Laser Physics SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

Sergey V. Chepurov, Leading Researcher, Institute of Laser Physics SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

Alexei V. Taichenachev, Corresponding Member of the Sciences, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Laser Physics SB RAS Novosibirsk, Russian Federation)

*Статья поступила в редакцию 18.11.2021;
одобрена после рецензирования 15.06.2022; принята к публикации 22.06.2022
The article was submitted 18.11.2021;
approved after reviewing 15.06.2022; accepted for publication 22.06.2022*