

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Табатчиковой Кристины Сергеевны «Исследование полевых сдвигов резонансов Рамси в ансамбле лазерно охлажденных атомов», представленную на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

1. Общая характеристика диссертации

Диссертация Табатчиковой К.С. посвящена теоретическому исследованию сдвигов частоты положения резонанса в спектроскопии Рамси атомов, охлажденных лазерными методами до сверхнизких температур (от мК до мкК), обусловленных воздействием (как резонансным, так и нерезонансным) самого пробного поля. Логически диссертация делится на две части. В первой рассматривается спектроскопия Рамси ультрахолодных, но свободных атомов (охлаждающие поля во время проведения спектроскопических измерений отключаются). Здесь основное внимание уделяется сдвигу частоты резонанса, вызванного эффектом отдачи при поглощении и испускании фотонов пробного поля, и зависимости формы резонанса от амплитуды поля. Во второй части исследуются сдвиги положения резонансов Рамси на сильно запрещенных переходах в ансамбле нейтральных атомов либо в одиночном ионе, которые не только охлаждены до температур порядка мкК лазерными методами, но и пространственно локализованы в оптических или электромагнитных ловушках на размерах много меньше длины волны пробного поля (т.н. режим Лэмба-Дикке). В этой части основное внимание уделено разработке и исследованию методов подавления нерезонансных полевых сдвигов, которые могут достигать значительных величин (кГц) из-за необходимости использовать высокоинтенсивные лазерные поля (кВт/см^2) для возбуждения сильно запрещенного перехода. Важно, что в отличие от более ранних работ, эти исследования проведены с учетом спонтанной релаксации рабочих уровней и конечной ширины спектра лазерного излучения.

2. Актуальность темы диссертации

Актуальность диссертации Табатчиковой К.С. обусловлена главным образом разработкой и исследованием оптических стандартов частоты нового поколения на основе ультрахолодных атомов либо ионов с планируемой относительной неопределенностью частоты 10^{-18} и лучше. Создание таких устройств имеет огромное значение для современной науки и техники как с фундаментальной (прецизионные физические измерения и проверки фундаментальных физических теорий), так и прикладной (наземные и космические навигационные системы, информационно-коммуникационные технологии) точек зрения. Интенсивные работы в этом направлении ведутся во всех метрологических центрах мира, таких как: NIST (США), PTB (Германия), LNE-SYRTE (Франция), RIKEN (Япония), INRIM (Италия), NPL (Великобритания), ИЛФ СО РАН (Россия), ВНИИФТРИ (Россия) и др. на протяжении последних десятилетий. На этом пути в последние годы были достигнуты впечатляющие успехи, среди которых следует выделить оптические стандарты частоты на основе одиночных ионов алюминия с использованием элементов кантовой логики (NIST, группа нобелевского лауреата Д. Вайнлэнда), стандарты частоты на основе ансамбля нейтральных атомов иттербия и стронция (NIST, группа К. Оутса и NIST-JILA группа Д. Йе, соответственно). Исследователи этих групп вплотную подошли уровню 10^{-18} в терминах относительной частотной нестабильности и точности. Перспективными являются работы по созданию оптического стандарта частоты на основе одиночного иона иттербия (PTB, К. Тамм и ИЛФ СО РАН, С.В. Чепуров), нейтральных атомов ртути (LNE-SYRTE, С. Биз) и нейтральных атомов магния (Ганноверский университет, В. Эртмер и ИЛФ СО РАН, А.Н.

Гончаров). Одним из главных препятствий на этом пути являются полевые сдвиги частоты реперного резонанса различной природы. Часть этих сдвигов связана с действием удерживающих полей оптических или электромагнитных ловушек, часть – тепловым равновесным излучением, а часть с действием самого пробного поля. Именно решению ряда задач из широкого круга проблем связанных действием пробного поля посвящена диссертация Табатчиковой К.С., как это уже обсуждалось п.1 настоящего отзыва. Здесь же следует отметить, что метод спектроскопии Рамси разнесенных в пространстве или времени полей обладает рядом важных преимуществ (увеличение времени когерентного взаимодействия и связанное с ним уменьшение ширины реперного резонанса, возможность подавления полевых сдвигов и т.д.) по отношению к методам, использующим одноимпульсное возбуждение, и широко используется в стандартах частоты различного типа (первичный стандарт частоты СВЧ диапазона на основе фонтана ультрахолодных атомов цезия, оптические стандарты частоты на основе ультрахолодных свободных атомов и др.). В связи с вышесказанным актуальность темы диссертации Табатчиковой К.С. не вызывает сомнений.

3. Научная новизна работы

Научная новизна результатов диссертации Табатчиковой К.С. обусловлена в основном двумя обстоятельствами. В первой части диссертации впервые получено аналитическое выражения для формы резонансов Рамси свободных ультрахолодных атомов с учетом членов шестого порядка по амплитуде поля. Показано, что в рамках сделанных приближений эффекты насыщения не меняют формы резонанса. Во второй части впервые исследован метод обобщенной спектроскопии Рамси, предложенный ранее В.И. Юдиным с соавторами для подавления полевых сдвигов, с учетом спонтанной релаксации рабочих уровней и конечной ширины спектра лазерного излучения.

4. Научная ценность и практическая значимость результатов диссертации

Научная ценность результатов, полученных в диссертации Табатчиковой К.С., связана в первой части с подтверждением выводов и рекомендаций, полученных ранее в низшем четвертом порядке по полю, с учетом членов шестого порядка, что позволило сделать вывод о независимости формы резонанса от амплитуды поля. Во второй части ценность заключается в решении методом кинетического уравнения для атомной матрицы плотности задачи о возбуждении двухуровневых атомов специальной последовательностью импульсов. Ранее эта задача была решена В.И. Юдиным и др. без учета релаксации и конечной ширины спектра лазерного излучения методом нестационарного уравнения Шредингера для волновой функции двухуровневого атома. На основе аналитических и численных расчетов Табатчикова К.С. показала, что метод подавления полевых сдвигов В.И. Юдина работает и при небольших по отношению к частоте Раби пробного поля значениях константы спонтанной релаксации и ширины спектра лазера. Для этого длительности специальной последовательности возбуждающих импульсов должны выбираться с учетом ненулевых спонтанной релаксации и ширины спектра лазера.

Что касается практической значимости, то она, несомненно, обусловлена применимостью исследованных методов подавления полевых сдвигов частоты в действующих и разрабатываемых оптических стандартах частоты на основе ультрахолодных атомов и ионов. Здесь сформулированные в диссертации рекомендации по выбору ширины спектра лазера, длительностей и последовательности возбуждающих импульсов могут играть важную роль.

5. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации

Обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается грамотным использованием апробированных методов математической физики, совпадением в предельных случаях полученных результатов с полученными ранее другими авторами, а также сравнением полученных результатов с доступными экспериментальными данными. Здесь же, видимо, следует отметить самостоятельность и трудолюбие соискателя, а также тщательность, с которой были проведены все, зачастую весьма нетривиальные, математические выкладки.

6. Заключение

Резюмируя вышеизложенное, можно утверждать, К.С. Табатчиковой выполнено подтверждающее ее высокую квалификацию физика-теоретика логически завершенное и имеющее внутреннее единство научное исследование, в котором органично сочетаются аналитические и численные методы. Основные ее результаты можно квалифицировать как решение актуальной научной задачи направленной на подавление полевых сдвигов частоты реперного резонанса в современных оптических стандартах частоты и увеличение стабильности и точности этих устройств. Результаты работы достаточно полно опубликованы в рецензируемых научных журналах и прошли серьезную апробацию на международных конференциях (ICONO/LAT 2013, MPLP-2013).

Считаю, что работа полностью удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Кристина Сергеевна Табатчикова, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Доктор физико-математических наук,
заместитель директора ИЛФ СО РАН

А.В. Тайченачев

*Подпись уполномоченного
лиц по кадрам*



А. В. Тайченачев