

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.023.03 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 20 марта 2017 г. № 37

О присуждении Вишняковой Гульнаре Александровне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Вторичное лазерное охлаждение атомов тулия» по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика» принята к защите 19 декабря 2016 года, протокол № 35 диссертационного совета Д002.023.03, созданного 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53 (ФИАН).

Соискатель Вишнякова Гульнара Александровна, 1988 года рождения, в 2012 году с отличием окончила Факультет общей и прикладной физики Московского физико-технического института (МФТИ), защитив магистерскую дипломную работу. С 1 сентября 2012 года обучалась в аспирантуре МФТИ на кафедре квантовой радиофизики, являющейся базовой кафедрой МФТИ в ФИАН, по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика» и закончила её 1 сентября 2016 года, сдав все кандидатские экзамены на «отлично». С 5 ноября 2009 года по настоящее время Г. А. Вишнякова работает в Лаборатории оптики активных сред Отдела спектроскопии Отделения оптики ФИАН, с 1 октября 2016 года была зачислена по конкурсу на должность младшего научного сотрудника.

Диссертационная работа Г. А. Вишняковой выполнена в Лаборатории оптики активных сред Отдела спектроскопии Отделения оптики ФИАН.

Научный руководитель: член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук Колачевский Николай Николаевич, директор ФИАН.

Официальные оппоненты:

1. Пальчиков Виталий Геннадьевич, доктор физико-математических наук, заместитель начальника Главного метрологического центра Государственной службы времени и частоты (ГМЦ ГСВЧ (НИО-7))

Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ВНИИФТРИ) по научной работе;

2. Городецкий Михаил Леонидович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики колебаний физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» (МГУ имени М. В. Ломоносова)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН), город Москва, город Троицк, в своем положительном заключении, подписанном кандидатом физико-математических наук Афанасьевым Антоном Евгеньевичем, старшим научным сотрудником Лаборатории Лазерной спектроскопии Отдела лазерной спектроскопии ИСАН, и кандидатом физико-математических наук Перминовым Евгением Борисовичем, ученым секретарем ИСАН, и утвержденном доктором физико-математических наук, профессором Задковым Виктором Николаевичем, директором ИСАН, указала, что соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 4 работы, опубликованных в рецензируемых научных журналах, индексируемых в международной базе данных *Web of Science*.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. G. A. Vishnyakova, E. S. Kalganova, D. D. Sukachev, S. A. Fedorov, A. V. Sokolov, A. V. Akimov, N. N. Kolachevsky and V. N. Sorokin, "Two-stage laser cooling and optical trapping of Thulium atoms", *Laser Physics*, **24** (7), 074018 (2014).
2. Д. Д. Сукачѳв, Е. С. Калганова, А. В. Соколов, С. А. Фѳдоров, Г. А. Вишнякова, А. В. Акимов, А. А. Головизин, Н. Н. Колачевский, В. Н. Сорокин, "Вторичное лазерное охлаждение и удержание в ловушках атомов тулия", *Квантовая электроника*, **44** (6), 515–520 (2014).
3. S. A. Fedorov, G. A. Vishnyakova, E. S. Kalganova, D. D. Sukachev, A. A. Golovizin, D. O. Tregubov, K. Yu. Khabarova, A. V. Akimov, N. N. Kolachevsky, V. N. Sorokin, "Improved measurement of the hyperfine structure of the laser cooling level  $4f^{12}(^3H_6)5d_{5/2}6s^2$  ( $J=9/2$ ) in  $^{169}\text{Tm}$ ", *Applied*

*Physics B*, **121** (3), 275–282 (2015).

4. Г. А. Вишнякова, А. А. Головизин, Е. С. Калганова, В. Н. Сорокин, Д. Д. Сукачѳв, Д. О. Трегубов, К. Ю. Хабарова, Н. Н. Колачевский "Ультрахолодные лантаноиды: от оптических часов до квантовых симуляторов", *Успехи физических наук*, **186** (2), 176–182 (2016).

На автореферат диссертации поступили отзывы от кандидата физико-математических наук Бражникова Дениса Викторовича, старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук и члена-корреспондента РАН, доктора физико-математических наук Турлапова Андрея Вадимовича, ведущего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук».

В отзыве кандидата физико-математических наук Бражникова Д. В. указано, что лазерное охлаждение нейтральных атомов вызывает большой интерес ученых по всему миру и представленная работа занимает достойное место в этой области. Отмечен недостаток — отсутствие пояснения возможной причины расхождения экспериментальных результатов измерения зависимости температуры атомов тулия от параметра насыщения и отстройки частоты излучения и теоретических предсказаний. Указано, что это замечание не снижает ценность представленной диссертации.

В отзыве доктора физико-математических наук Турлапова А. В. отмечается высокая актуальность работы, связанная с особенностями взаимодействия атомов тулия при низких температурах и применением в метрологии.

В отзывах кандидата физико-математических наук Бражникова Д. В. и доктора физико-математических наук Турлапова А. В. указывается, что соискатель Вишнякова Г. А. заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием признанных достижений в области лазерного охлаждения и прецизионных измерений.

Диссертационный совет отмечает, что в диссертации решена задача глубокого охлаждения атомов тулия методом лазерного охлаждения на спектрально узком переходе  $4f^{13}(^2F^{\circ})6s^2 (J=7/2, F=4) \rightarrow 4f^{12}(^3H_6)5d_{5/2}6s^2 (J'=9/2, F'=5)$  с длиной волны 530,7 нм и естественной шириной 350 кГц.

Реализован перезахват атомов из первичной магнито-оптической ловушки, работающей на сильном переходе  $4f^{13}(^2F^o)6s^2$  ( $J = 7/2$ ,  $F = 4$ )  $\rightarrow$   $4f^{12}(^3H_5)5d_{3/2}6s^2$  ( $J' = 9/2$ ,  $F' = 5$ ) с длиной волны 410,6 нм и естественной шириной 10 МГц, во вторичную. Эффективность перезахвата зависит от параметров охлаждающего излучения и достигает 100 % в широком диапазоне параметров. В процессе вторичного охлаждения температура атомов понижается от 80 мК до минимально полученных  $16 \pm 3$  мК и  $8 \pm 2$  мК по вертикальной (вдоль направления силы тяжести) и горизонтальной (поперек) осям, соответственно. Число атомов при этих температурах составляет  $10^6$ , концентрация — порядка  $10^{10} \text{ см}^{-3}$ .

Автору удалось продемонстрировать особенности лазерного охлаждения на слабом переходе:

1. Из-за влияния силы тяжести равновесное положение облака в пространстве смещается вниз при увеличении отстройки или уменьшении интенсивности охлаждающего излучения. При этом наведенный зеемановский сдвиг в магнитом поле ловушки приводит к постоянству эффективной отстройки и, соответственно, независимости температуры от истинной отстройки излучения. В то же время, при больших интенсивностях зависимость температуры от отстройки имеет минимум, характерный для доплеровского охлаждения.
2. При облучении облака атомов излучением с положительной отстройкой взаимодействие со светом приводит к тому, что атомы формируют дискретные скоростные группы, так называемые кристаллы в импульсном пространстве. Это явление проявляет себя в разделении облака на 8 облаков, расположенных в вершинах куба.

В качестве промежуточного результата решена задача сужения ширины спектра и стабилизации частоты излучения полупроводникового лазерного источника на длине волны 1,06 мкм, вторая гармоника которого используется для возбуждения охлаждающего перехода  $4f^{13}(^2F^o)6s^2$  ( $J = 7/2$ ,  $F = 4$ )  $\rightarrow$   $4f^{12}(^3H_6)5d_{5/2}6s^2$  ( $J' = 9/2$ ,  $F' = 5$ ). Стабилизация осуществлена методом Паунда-Драйвера-Холла по высокочастотному сверхстабильному резонатору Фабри-Перо из стекла марки УЛЕ, помещенному в термостабилизированную вакуумную камеру. Итоговая ширина линии генерации измерена с помощью автогетеродинного интерферометра с длинным (1500 м) оптоволоконном в одном из плеч и не превышает 10 кГц. Дрейф частоты лазерного источника, стабилизированного указанным методом обусловлен «старением» материала УЛЕ и составляет 300 Гц/час.

Отдельная часть работы посвящена измерению сверхтонкого расщепления верхнего уровня  $4f^{12}(^3H_6)5d_{5/2}6s^2 (J = 9/2)$  охлаждающего перехода методом частотно-модуляционной спектроскопии насыщения в кювете с парами тулия. Величина расщепления составила  $-2110,56 \pm 0,16$  МГц, что соответствует константе  $AJ = -422,112 \pm 0,032$  МГц. Наибольший вклад в ошибку измерения вносит сдвиг за счет кривизны волнового фронта. Относительная погрешность измерения составляет 0,008%, что более чем на порядок меньше по сравнению с предшествующими работами.

Результаты работы Г. А. Вишняковой оригинальны и научно обоснованы. Их достоверность подтверждается адекватным выбором экспериментальных методик, использованием современного оборудования и качественным согласием результатов с теоретическими предсказаниями. Все результаты получены лично автором либо при его непосредственном участии.

Научная новизна полученных результатов обусловлена тем, что лазерное охлаждение на спектрально узком переходе до температур на уровне 10 мкК было реализовано для атомов тулия впервые.

Практическая значимость работы связана с возможными применениями ансамбля холодных атомов тулия для создания оптического репера частоты и для осуществления квантовых симуляций явлений в магнитных веществах.

На заседании 20 марта 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Вишняковой Г. А. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 21 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (01.04.21 – Лазерная физика), участвовавшие в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 21,  
против присуждения учёной степени - 0,  
недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета,  
академик, д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ Крохин Олег Николаевич

Учёный секретарь диссертационного совета,  
д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ Золотько Александр Степанович

20 марта 2017 г.