

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
спектроскопии Российской академии наук
(ИСАН) д.ф.-м.н., профессор



В. Н. Задков

24 мая 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Саакяна Сергея Арамовича

«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ГАЗА УЛЬТРАХОЛОДНЫХ
ВЫСОКОВОЗБУЖДЕННЫХ И ЧАСТИЧНО ИОНИЗОВАННЫХ АТОМОВ ЛИТИЯ-7»,

представленную на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук по специальности

01.04.08 – Физика плазмы

Диссертация Саакяна С.А. посвящена экспериментальному исследованию свойств газа ультрахолодных высоковозбужденных атомов лития-7. Тематика данной диссертационной работы является актуальной и востребованной. Результаты исследования высоковозбужденных состояний атомов представляют интерес для их применения в квантовой информатике, а точные значения энергий ридберговских переходов необходимы в астрофизических исследованиях.

Диссертационная работа Саакяна С.А. изложена на 104-х страницах машинописного текста, содержит 58 рисунков и 3 таблицы. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Список литературы содержит 85 наименований.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы её цели и задачи, кратко изложены разделы и полученные в диссертации результаты.

В первой главе дано описание созданной в рамках диссертационной работы экспериментальной установки по охлаждению атомов лития-7 в магнито-оптической ловушке (МОЛ). В данной главе приведено описание основных элементов экспериментальной установки: 1) вакуумная камера для получения МОЛ; 2) источники лазерного излучения; 3) система стабилизации частоты источников лазерного излучения; 4) система формирования и охлаждения атомного пучка атомов лития-7 для загрузки в МОЛ; и 5) схема магнито-оптической ловушки.

Вторая глава посвящена исследованию характеристик облака газа холодных атомов в МОЛ. В данной главе приведены подробные описания методик, при помощи которых, исследовались характеристики облака атомов в МОЛ. Эти методики были использованы для экспериментального исследования зависимости плотности и концентрации атомов в МОЛ на разных подуровнях основного состояния в зависимости от отстройки частоты охлаждающего излучения. Приведены результаты измерений температуры, распределения плотности атомов и время жизни атомов в МОЛ.

В третьей главе описана развитая в рамках данной работы новая неразрушающая методика диагностики энергетических спектров ридберговских состояний атомов. Приводится описание техники регистрации энергетических спектров ридберговских переходов и приведена теоретическая модель непрерывного возбуждения ридберговских атомов в МОЛ. Приведены энергии впервые измеренных ридберговских переходов для различных nS конфигураций от $n=38$ до $n=165$ для атомов лития-7. Из этих данных получены значения порога ионизации, квантового дефекта и остаточного электрического поля в области захвата, которые хорошо согласуются с другими теоретическими и экспериментальными исследованиями.

В заключении кратко излагаются основные результаты, полученные в работе. Результаты работы достаточно полно изложены в шести рецензируемых статьях.

Работа не лишена некоторых недостатков, которые перечислены ниже:

1. Во введении диссертационной работы Саакяна С.А. дан краткий обзор научной области, к которой относится описываемое исследование. Однако данный обзор не позволяет сделать полное представление о ранее проведенных экспериментальных исследованиях в области ультрахолодных атомов и плазмы. Методы получения и локализации холодных атомов были разработаны более 30 лет назад. Но из введения в диссертационную работу следует, что за эти годы произведено только *“теоретическое исследование кинетики и термодинамики газа ультрахолодных атомов и плазмы”*, которые *“указывают на возможность существования пространственных структур в холодном ансамбле ридберговских атомов”*. Учитывая, что данной тематикой занимается большое количество научных групп по всему миру, хотелось бы увидеть во введении в диссертационную работу более обширный обзор, произведенных экспериментов в этой области. Это позволило бы сформировать более правильный взгляд на место данной диссертационной работы среди других работ.
2. Описание методов лазерного охлаждения атомов и их локализации в магнито-оптической ловушке носит в диссертации поверхностный характер. Конечно, данной

тематике посвящено множество работ и приводить подробное описание данного процесса не имеет смысла. Но и останавливаться на поверхностном объяснении, рассчитанном на аудиторию, не имеющую никакого отношения к данной тематике, тоже неверно. Такое объяснение не является точным и не позволяет оценить насколько глубоко понимает автор диссертации процессы охлаждения и локализации атомного ансамбля. Так в попытке упростить изложение, автор сделал неправильный вывод ссылаясь на книгу профессора Демтрёдера [Демтрёдер В. Современная лазерная спектроскопия: пер. с англ //М.: Интеллект. – 2014]. А именно при описании динамики атома в МОЛ и рассмотрении силы, действующей на атом, автор пишет: *“Под действием этой силы атомы будут совершать гармонические колебания относительно точки $z=0$ ”*. В той же книге указано, что данное рассмотрение не является до конца верным (почему автор не обратил на это замечание внимание, не понятно). Атом совершает не гармонические колебания в МОЛ, а затухающие гармонические колебания. Именно этот факт и отличает магнито-оптическую ловушку от других типов ловушек, например от дипольной ловушки. В случае последней, атом действительно совершает гармонические колебания в консервативном потенциале. Именно то, что потенциал МОЛ не является консервативным позволяет охлаждать и локализовывать атомы в МОЛ, в то время как для дипольных ловушек необходимо уже иметь охлажденные до низких температур атомы для их локализации.

3. В Главе 1 автор диссертации рассматривает метод загрузки атомов лития-7 в МОЛ. Для этой цели атомы предохлаждают в атомном пучке используя технику Зеемановского охлаждения. Данная техника широко распространена и хорошо себя зарекомендовала. Однако в статье не приведено никаких данных по конечной температуре атомов в атомном пучке после процедуры охлаждения. Данное измерение позволяет не только более полно охарактеризовать имеющуюся экспериментальную установку, но и произвести оптимизацию температуры атомов для их последующей локализации в МОЛ. Такая оптимизация могла бы позволить увеличить количество атомов в МОЛ.
4. В работе не указаны многие принципиальные параметры экспериментальной установки: длина Зеемановского охладителя, диаметр атомного пучка, токи в магнитных катушках МОЛ. Помимо этого ни в разделе, где описывается предел Доплеровского охлаждения атомов, ни в главе посвященной свойствам охлаждаемого в работе атома лития-7 не указана предельная температура охлаждения. Это выглядит странно, поскольку диссертационная работа посвящена именно охлаждению атомов.

5. При описании системы стабилизации лазерного излучения автор приводит характерный спектр (рис. 1.13), получаемый из реперной ячейки с парами атомов лития и соответствующий этому спектру сигнал ошибки. Данные кривые показывают высокий уровень исполнения реализованной системы стабилизации. Однако к самому графику есть ряд претензий. Во-первых, шкала оси абсцисс проградуирована в МГц. Причем данная градуировка лежит в диапазоне [275; 1300] МГц. Почему такая шкала? Указанные частоты являются абсолютными? Нет. В области лазерной спектроскопии существует сложившееся традиция указывать основной резонанс в качестве основного, которому соответствует значение 0 МГц. В таком случае становится удобно вычислять отстройки других резонансов относительно основного. Помимо этого принято подписывать резонансы на самом спектре, чего не сделано на рисунке 1.13. Из приведенного рисунка и подписи к нему, остается только гадать, какие резонансы лития-7 на нем изображены. Пример данного рисунка не единственный. В диссертации встречаются рисунки, оформленные не до конца точно. Например, на рис. 2.12 ось ординат не подписана.
6. При определении плотности атомов в МОЛ автор использует выражение для оценки сечения поглощения фотона на резонансном переходе (формула 2.2). Почему нельзя было воспользоваться табличным значением сечения поглощения для лития? Помимо этого, более точным выражением для сечения рассеяния является $\sigma = 3\lambda^2/2\pi$, а не используемое значение в соответствии с формулой 2.2. Значение сечения рассеяния, оцененное по более точной формуле в шесть раз больше и совпадает со значениями, которые можно найти в работах по спектроскопии лития других авторов. Из приведенного следует, что реальная плотность атомов в реализованном МОЛ в шесть раз ниже.
7. При рассмотрении возбуждения атомов в ридберговские состояния автор не рассматривает влияния магнитного поля МОЛ на уровни атома. Ридберговские атомы очень чувствительны к электрическим и магнитным полям, что отмечает автор в своей работе. Так почему исследование их спектральной структуры происходит в неоднородном магнитном поле?
8. Очень странно выглядит раздел, посвященный калибровке и изучению дрейфа измерителя длины волны в главе, посвященной изучению ридберговских атомов. Обычно все технические детали приводятся в первых главах диссертации. А в главе с названием “Эффективное детектирование ридберговских состояний атомов лития-7” читатель ожидает увидеть экспериментальные данные, а не разбираться с тем, как

устроен измеритель длины волны. Данное описание гармонично бы смотрелось в Главе 1.

9. При исследовании ширины резонанса $2P_{3/2} \rightarrow 114S$ автор определяет ширину резонанса по приведенному графику 3.14, обращая внимание на то, что сигнал из МОЛ полностью пропадает при возбуждении этого перехода. Из приведенного рисунка действительно видно, что сигнал полностью пропал. Помимо этого видно, что сигнал пропал в довольно большой области спектра. Это может быть свидетельством насыщения в системе, а, следовательно, измеренная величина резонанса 0,1 ГГц неверна. Действительная величина ширины резонанса, по-видимому, меньше. Это можно проверить уменьшением интенсивности возбуждающего излучения.

Сделанные замечания ни в коей мере не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Саакяна С.А. Представленная к защите диссертация, представляет собой завершенную работу, в которой решена важная научная задача и получены новые результаты. Научная и практическая значимость результатов и выводов не вызывают сомнений.

К числу наиболее существенных результатов, определяющих научную новизну и личный вклад автора, можно отнести следующее:

1. В рамках диссертационной работы впервые в России создана установка по лазерному охлаждению и локализации в МОЛ атомов лития-7.
2. Разработана новая методика регистрации энергетических спектров высоковозбужденных состояний атомов.
3. При помощи данной методики впервые измерены энергии для различных nS -конфигураций в широком диапазоне значений главного квантового числа от $n=38$ до $n=165$, для холодных атомов лития-7.

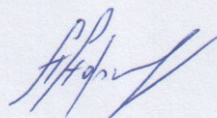
Разработанная в работе методика регистрации энергетических спектров высоковозбужденных атомов универсальна для всех атомов, которые можно захватить в МОЛ. Это позволяет рассчитать, с точностью сравнимой с микроволновыми экспериментами, квантовый дефект и порог ионизации атома. Этим определяется практическая значимость работы. Результаты работы могут быть использованы в следующих организациях: Физическом институте им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН, г. Москва), Институте прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН, г. Нижний Новгород), Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН, г. Москва), Институте физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук (ИФП СО РАН, г. Новосибирск).

Диссертационная работа заслушана и обсуждена на научном семинаре №1047 отдела лазерной спектроскопии ИСАН 6 апреля 2016 года.

Диссертация Саакяна Сергея Арамовича «Экспериментальные исследования свойств газа ультрахолодных высоковозбужденных и частично ионизованных атомов лития-7» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным пунктом 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г., её автор, Саакян Сергей Арамович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы.

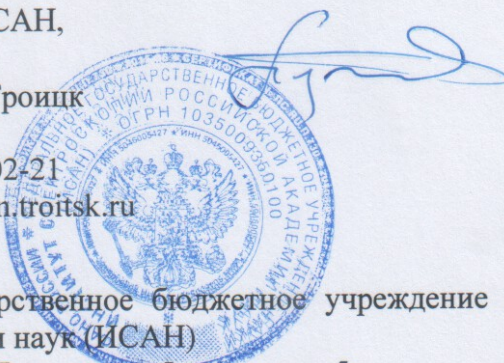
Отзыв составлен старшим научным сотрудником отдела лазерной спектроскопии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института спектроскопии Российской академии наук (ИСАН), Афанасьевым Антоном Евгеньевичем.

К.ф.-м.н., с.н.с, отдел лазерной спектроскопии,
лаборатория лазерной спектроскопии ИСАН
142190 г. Москва, г. Троицк
ул. Физическая, 5
Телефон 8(495)851-02-33
e-mail: afanasiev@isan.troitsk.ru



Афанасьев А.Е.

Ученый секретарь ИСАН,
к.ф.-м.н.
142190 г. Москва, г.Троицк
ул. Физическая, 5
Телефон: 8(495)851-02-21
e-mail: perminov@isan.troitsk.ru



Перминов Е.Б.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН)
142190 г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 5
8(495)851-02-21, isan@isan.troitsk.ru