

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

СТЕНОГРАММА

заседание диссертационного совета Д 002.110.02
при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
от 08 июня 2016 г. (протокол № 7)

**Защита диссертации Саакяна Сергея Арамовича
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
«Экспериментальные исследования свойств газа ультрахолодных
высоковозбужденных и частично ионизованных атомов лития-7»**

Специальность 01.04.08 – физика плазмы

СТЕНОГРАММА

заседание диссертационного совета Д 002.110.02
при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
Протокол № 7 от 08 июня 2016 г.

Диссертационный совет Д 002.110.02 утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 11.04.2012 г. № 105/нк в составе 31 человека. На заседании присутствуют 25 человек, из них 11 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 13 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02

д.ф.-м.н., профессор Андреев Н.Е.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02

к.ф.-м.н. Васильев М.М.

1	Фортов В.Е.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
2	Канель Г.И.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
3	Андреев Н.Е.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
4	Васильев М.М.	К.ф.-м.н.	01.04.08	Присутствует
5	Агранат М.Б.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.14	Отсутствует
6	Амиров Р.Х.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.08	Присутствует
7	Баженова Т.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
8	Вараксин А.Ю.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
9	Васильев М.Н.	Д.т.н., профессор	01.04.14	Присутствует
10	Василяк Л.М.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
11	Ваулина О.С.	Д.ф.-м.н.	01.04.08	Отсутствует
12	Воробьев В.С.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
13	Голуб В.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
14	Гордон Е.Б.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
15	Грязнов В.К.	Д.ф.-м.н.	01.04.14	Присутствует
16	Зейгарник Ю.А.	Д.т.н., с.н.с.	01.04.14	Присутствует
17	Еремин А.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
18	Иванов М.Ф.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
19	Иосилевский И.Л.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
20	Кириллин А.В.	Д.ф.-м.н.	01.04.14	Присутствует
21	Лагарьков А.Н.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
22	Ломоносов И.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
23	Медин С.А.	Д.т.н., профессор	01.04.14	Присутствует
24	Норман Г.Э.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
25	Петров О.Ф.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
26	Полежаев Ю.В.	Чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
27	Савватимский А.И.	Д.т.н.	01.04.14	Присутствует
28	Сон Э.Е.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
29	Старостин А.Н.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
30	Храпак А.Г.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
31	Якубов И.Т.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации стажера-исследователя лаборатории 1.2.3.3 – теплофизических свойств материалов Научно-исследовательского центра теплофизики экстремальных состояний (НИЦ-1 ТЭС) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) **Саакяна Сергея Арамовича** на тему «Экспериментальные исследования свойств газа ультрахолодных высоковозбужденных и частично ионизованных атомов лития-7». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы. Диссертация выполнена в лаборатории 1.2.3.3. – теплофизических свойств материалов НИЦ-1 ТЭС ОИВТ РАН (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, ijht.ru)

Научный руководитель:

Зеленер Борис Борисович – к.ф.-м.н., заведующий лабораторией 1.2.3.3 – теплофизических свойств материалов Научно-исследовательского центра теплофизики экстремальных состояний (НИЦ-1 ТЭС) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

Официальные оппоненты:

Крайнов Владимир Павлович – гражданин РФ, д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической физики (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», г. Долгопрудный);

Зибров Сергей Александрович – гражданин РФ, к.ф.-м.н., младший научный сотрудник Лаборатории стандартов частоты, (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им.П.Н. Лебедева Российской академии наук, г. Москва).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН), Россия, 108840, г. Троицк, ул. Физическая, д. 5.

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.ф.-м.н., профессор Крайнов В.П. и к.ф.-м.н. Зибров С.А., научный руководитель Саакяна С.А. к.ф.-м.н. Зеленер Б.Б.

СТЕНОГРАММА

Председатель

Первой на повестке дня у нас сегодня защита Сергея Арамовича, Михаил Михайлович, вам слово.

Ученый секретарь:

Уважаемые коллеги, добрый день, к нам в совет обратился Саакян Сергей Арамович с просьбой принять к защите его диссертацию по теме «Экспериментальные исследования свойств газа ультрахолодных высоковозбужденных и частично ионизованных атомов лития-7» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Защита проводится впервые.

Зачитывает сведения о соискателе по материалам дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Минобрнауки РФ.

Если есть вопросы я готов ответить.

Иосилевский И. Л.:

Какой институт заканчивал соискатель?

Саакян С.А.:

Московский инженерно-физический институт, факультет экспериментальной и теоретической физики.

Иосилевский И. Л.:

А аспирантуру?

Саакян С.А.:

Аспирантуру ОИВТ РАН.

Председатель:

Хорошо, нет вопросов больше? Нет. Переходим к основному докладу соискателя, Сергей Арамович, пожалуйста, вам 20 минут.

Саакян С.А.:

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Саакяна С.А. прилагается).

Председатель:

Спасибо, пожалуйста вопросы.

Амиров Р.Х.: У меня вопрос по поводу интерпретации ваших результатов. Тут может быть два варианта: это какие-то паразитные заряды, которые есть в вашей установке, которые создают эти поля, либо это ионизация. Вы не делали оценку возможной

ионизации в вашей системе, и, может быть, соответствующие микрополя создаются зарядами, самим литием?

Саакян С.А.: Я понял вопрос. В данной работе мы специально не работали с D-состояниями лития, поскольку все атомы, возбужденные в D-состояния, ионизируются фактически мгновенно, и это состояние сильно уширяется. С этой проблемой я пока не разобрался, и здесь требуются дополнительные эксперименты, возможно даже очень много. А наведенные поля “паразитные”, они присутствуют в работах других авторов, и они имеют примерно такие же значения. Например, в работе И.И. Рябцева в институте им. Ржанова, г. Новосибирск, они работали с одиночными ридбергами и компенсировали электрические, поля которые были примерно равны 10^{-2} В/см.

Председатель: Пожалуйста, ещё вопросы.

Василяк Л.М.: Скажите пожалуйста, какие основные процессы приводят к уходу из вашего облака, которое вы удержали, за счет чего приходится непрерывно добавлять туда атомы?

Саакян С.А.: Начну с магнито-оптической ловушки. В магнито-оптической ловушке атомы, захваченные в неё, уходят оттуда за счет столкновений с остаточным, не откаченным газом. Вакуум 10^{-10} Торр я получил из времени жизни 21 секунда. Я получил именно тот вакуум, который показывают датчики измерения вакуума – 10^{-10} Торр. За счет чего уходят ридберги из ловушки? Ридберги, будучи возбуждены в магнито-оптической ловушке, просто перестают взаимодействовать с удерживающими пучками и улетают оттуда примерно за 2 миллисекунды. Покидают область локализации за 2 мс, и у них время жизни такое, что они не успевают свалиться в основное состояние и принять опять участие в этом замечательном процессе.

Председатель: Есть ли ещё вопросы?

Вараксин А.Ю.: Такой короткий вопрос. А почему именно литий седьмой? И если бы это был какой то другой атом, то переносятся ли как-то ваши достижения или идеология исследований на другие атомы?

Саакян С.А.: Спасибо за замечательный вопрос. Тут основной тезис заключается в том, что развитая в данной работе методика применима вообще ко всем атомам, которые можно захватить в магнито-оптическую ловушку. Не все просто можно и не все ещё захвачены, но сама методика, она применима. Установки отличаются просто источниками лазерного излучения, если заменить источник лазерного излучения, на данной установке можно захватить и другое вещество. Но это, фактически, будет уже совсем другая установка, поскольку оптическая схема это основная часть установки. А выбор лития-7 обусловлен следующими соображениями. Он является наиболее водородоподобным, с ним очень просто работать, и существуют некоторые задачи, например, захват антивещества в магнито-оптическую ловушку. Такие проекты уже есть, они реализуются, и, возможно в ближайшее десятилетие это будет сделано. На литии можно промоделировать процессы, происходящие при захвате в магнито-оптическую ловушку

антиводорода. Вопрос: почему бы не сделать это на водороде? Ну, для водорода пока нет магнито-оптической ловушки, поэтому литий – самый ближайший элемент, следующий, который можно использовать для этих целей.

Председатель: Ещё вопросы?

Петров О.Ф.: У меня вопрос в продолжение к предыдущему. А что является развитием вашего вопроса, какая сверхзадача ставится? Вот вы научились удерживать атомы, провели некие диагностические измерения, а что дальше?

Саакян С.А.: Спасибо за вопрос. Это очень важно, просто краткий доклад был, я не успел рассказать. Дальше у нас есть большое количество идей. Например: если у нас будет очень плотный газ ридберговских атомов, которые возбуждены на $n=300$, то в таком газе возможен переход из диэлектрика в проводящее состояние – металл. Это очень интересные эффекты, и мы постепенно движемся к изучению ультрахолодной плазмы, в которую превращается газ ридберговских атомов. После того как мы его детектировали, наш метод перестает нам помогать дальше изучать происходящие процессы. На данный момент идет работа по созданию диагностики этой ультрахолодной плазмы. Мы хотим диагностировать её следующим образом. Например, при помощи четырехволнового смешения. Мы можем сбросить эти ридберги когерентно обратно и детектировать это когерентное излучение, внутри которого будет структура, например, если там есть кластеры, то будет видно, что это сгустки. Техническая возможность такая существует, и я надеюсь, что в ближайшее время, на семинарах нашего института подобный эксперимент будет доложен. Это такой оптимистичный взгляд.

Председатель: Спасибо. Ещё вопросы есть? Больше нет. Борис Борисович, пожалуйста, вам слово.

Зеленер Б.Б.: Здравствуйте уважаемые коллеги. Поскольку я сейчас должен рассказать не про саму работу, а про заслуги Сергея, я хочу сказать, что он пришел четыре года назад в лабораторию, после защиты диплома, в этой области он был абсолютно не специалист, потому что он работал в другой области. И за четыре года он вырос из бывшего студента в настоящего ученого. Он очень тщательно и скрупулёзно подходил к решению поставленных задач. Прочитал очень большое количество литературы. Многие идеи, которые представлены в этом докладе, он придумал сам. И я считаю что он, безусловно, заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук. Спасибо.

Председатель: Спасибо. Михаил Михайлович, пожалуйста.

Ученый секретарь: Уважаемые коллеги, с вашего позволения я не буду зачитывать полностью отзыв **ведущей организации**, а остановлюсь только на замечаниях, которые в этом отзыве указаны. Тем более их достаточно много. Я сразу извиняюсь.

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 «теоретические исследования 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 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 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 удобным 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 влияние магнитного поля МОЛ на уровне 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}->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 завершённую работу в которой решена важная научная задача. Соискатель заслуживает присуждения ученой степени. Отзыв составлен старшим научным сотрудником отдела лазерной спектроскопии Института Спектроскопии РАН Афанасьевым Антоном Евгеньевичем и утверждён директором.

Председатель: Может быть, дадим ответить докладчику? Было очень много замечаний, поэтому может быть сначала послушаем ответы на наиболее существенные замечания.

Саакян С.А.: Я постараюсь быстро на все ответить. Первое замечание про введение. Во введении нет обзора исследований в области ультрахолодных атомов. По лазерному охлаждению за 2016 год уже опубликовано 27 000 статей по версии W.O.S., за 2012 год – 79 000 статей. И у меня не было возможности делать подробный обзор данных работ в диссертации, поэтому во введении я ограничился основными работами по физике ультрахолодной плазмы и квантовой информатикой, где активно исследуются ридберговские состояния.

Второе замечание. Тут я соглашусь с замечанием, и как правильно написано в этом замечании, цитирую: «данной тематике посвящено множество работ и приводить подробное описание данного процесса не имеет смысла». В МИФИ курс лазерного охлаждения читают студентам. В диссертации есть ссылки на оригинальные работы и учебники, в том числе и на русском языке.

Я соглашусь с третьим замечанием, я действительно не приводил в диссертации исследование того, какова конечная температура атомов в пучке. Мы данное исследование и оптимизацию проводили, данный процесс подробно исследовался, пучки изучают с 70-х годов, очень много публикаций, показалось это совершенно неинтересным и это невозможно опубликовать, поскольку это уже всем известно. Поэтому я это делал, но никаких данных даже не сохранил. Только в лабораторном журнале присутствует отметка моим почерком и всё.

«В работе не указаны многие принципиальные параметры экспериментальной установки». Значит, длина зеemanовского замедлителя, в главе про зеemanовский замедлитель приведен расчет, и указана длина (*показан слайд со страницей из диссертации*). Потом, предельная температура охлаждения 140 мкК написана в главе Измерение температуры газа ультрахолодных атомов лития-7. Токи в катушках написаны на стр. 50 два раза, на странице 51 четыре раза, 53 два раза и 54 два раза. Диаметр атомного пучка действительно нигде не указан, поскольку я его не знаю. Очевидно, он имеет такой же диаметр как трубка печки и далее расходится до диаметра трубы зеemanовского замедлителя. Мне это было не так важно, и я это не измерял. Возможно, мне следовало сделать сводную таблицу со всеми параметрами, в которую внести основные параметры установки, тогда бы я не запутал читателя.

График, о котором идет речь, действительно отградуирован не совсем по правилам, тем не менее из него очевидно, какой резонанс является стабилизационным, т.к. он соответствует нулю сигнала ошибки. Из текста это понятно, но из самого графика и подписи – нет. Я согласен с замечаниями. На рисунке, на котором не подписана ось ординат, там в относительных единицах. Это я тоже соглашусь, там она не подписана.

Сечение $\sigma = 3\lambda^2/2\pi$ не является точным. В учебнике Бойда можно найти, что данное сечение оно справедливо лишь для двухуровневой системы, без учета спина, когда нет тонкого и сверхтонкого расщепления. Это написано, например, в этом учебнике. Точным является выражение для D1-линии атома лития которое я привожу, формула 2.9 – это выражение является абсолютно точным. Используя точное выражение и поглощение на D1, мы сравнили концентрацию, полученную по поглощению на D2 линии (вот ссылка на эту точную формулу) с нашим сечением, и сравнили (рис 2.5 на слайде). Поскольку переход не разрешается, вообще говорить о сечении нельзя, это какой-то коэффициент, и наш этот «какой-то» коэффициент $\lambda^2/4\pi$ является более или менее точным, поскольку в пределах погрешности совпадают результаты, полученные для концентраций в модели с точным сечением. Это мы проверили экспериментально, и этому посвящена одна из статей, включенных в диссертационную работу, и глава в ней.

В центре ловушки магнитное поле... я не рассматривал это подробно. В центре ловушки магнитное поле равно нулю. Оттуда атомы возбуждаются. После возбуждения и детектирования атом улетает из области возбуждения и его детектирование, в рамках данного метода, не представляется возможным. Вклад магнитного поля в ширину резонанса порядка единиц мегагерц. В данном методе и при ширине 100 МГц я этот вклад к сожалению не различаю. Вклад действительно есть, должен быть. Я не знаю какой он. Очевидно меньше мегагерца, который я вижу в эксперименте.

Полностью согласен с тем, что раздел о калибровке лямбда-метра можно было бы разместить в главе 1. Просто хотелось бы ещё раз показать читателю, каким же я все таки образом измерил энергию перехода.

Про исследование ширины резонанса абсолютно верное замечание. Резонанс (на слайде рис. 3.14) он на самом деле не до нуля дошел, не насытился, ещё 5% осталось, но даже по этому резонансу, можно, имея крылья, аппроксимировать его Лоренцем и посмотреть, что примерная ширина всё таки 0.1 ГГц, как и указано в диссертации. У меня всё.

Председатель: Спасибо. У совета есть вопросы? Удовлетворены? Михаил Михайлович, пожалуйста.

Ученый секретарь: Коллеги, на автореферат разосланный соискателем поступило 4 отзыва, все отзывы положительные, первый отзыв подписан Карцевым Петром Федоровичем, к.ф.-м.н., доцентом кафедры Физики твердого тела и наносистем МИФИ, отзыв положительный, замечаний нет. Второй отзыв подписан ведущим научным сотрудником теор. отдела нашего института Дьячковым Львом Гавриловичем, отзыв положительный. «По работе можно сделать следующее замечание. Ширина резонансов флюоресценции, по-видимому, зависит от мощности возбуждающего лазерного излучения. Представляет интерес эту зависимость получить, так как это может быть важным при детектировании еще более высоких ридберговских уровней. Замечание носит рекомендательный характер и не снижает общую положительную оценку диссертации С.А. Саакяна».

Третий отзыв подписан заведующим лабораторией Института физики полупроводников Сибирского отделения российской академии наук Рябцевым, отзыв положительный. К работе имеется три замечания. «1. Автор утверждает, что им создана

первая в России магнитооптическая ловушка для атомов лития-7. Однако такая ловушка уже была создана ранее в Институте прикладной физики РАН (Н. Новгород), и на ней возможно лазерное охлаждение и захват как лития-6, так и лития-7.

2. Автор считает, что реализованный им метод регистрации переходов в ридберговские состояния по уменьшению сигнала флуоресценции облака холодных атомов является неразрушающим. Действительно, ридберговские атомы возбуждаются в непрерывном режиме, и первоначально в каждом атоме заселяется только одно ридберговское состояние. Однако затем оно распадается с течением времени и заселяет соседнее состояние, что невозможно отследить используемым методом.

3. На рис. 3 автореферата в зависимости числа атомов от отстройки охлаждающего лазера имеется провал при -25 МГц для градиента магнитного поля 21 Гс/см и наоборот, пик для 35 Гс/см. Однако такое необычное поведение зависимостей никак не обсуждается, хотя оно может свидетельствовать о каких то особенностях в лазерном охлаждении атомов лития.

Сказанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы».

Четвертый отзыв составлен заведующим лабораторией Мощных полупроводниковых лазерных приборов Института общей физики РАН Державиным Сергеем Игоревичем. Отзыв положительный, имеются следующие замечание и вопрос: «Как показано в работе, следует учитывать фоновое паразитное электрическое поле, которое смещает частоту ридберговских переходов за счет эффекта Штарка. Почему бы не скомпенсировать это поле в экспериментальной установке? Замечание носит рекомендательный характер и не снижает общей положительной оценки диссертации, а соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени». Спасибо.

Председатель: Спасибо. Сергей Арамович, пожалуйста.

Саакян С.А.: Начнем с замечания Державина. Компенсация поля сопряжена с некоторыми трудностями. Технически сложно реализовать компенсирующие электроды внутри вакуумной системы. Они испортят вакуум. А стальной корпус вакуумной камеры мешает осуществить вне вакуумной установки. Тем не менее, в мае этого года мне удалось увидеть влияние приложенного электрического поля, подведя его непосредственно в окошко, через которое проходит лазерное излучение. О компенсации пока говорить рано, но подобрать значение поля в принципе реально, поскольку влияние я увидел. Но паразитные поля могут быть переменными, и тогда я мало что могу сделать. Скомпенсировать может и не удастся.

Замечание Льва Гавриловича Дьячкова: «Ширина резонанса флуоресценции, по видимому, зависит от мощности». Подробные исследования ширины и амплитуды в работе действительно не проводились. Вот такое исследование проводилось (показывает слайд), видно, что от мощности вероятность S-перехода быстро падает, тогда как D-переход по прежнему существует. На данный момент мы проводим исследование именно этой зависимости. К сожалению в данной работе её действительно проведено не было, но влияния на ширину незначительные, на уровне мегагерца, при ширине сто это не особо влияет.

Очень рад был отзыву от Рябцева Игоря Ильича, т.к. эта группа является ведущей в стране по ридберговским атомам. «Автор утверждает, что им создана первая в России

магнитооптическая ловушка...». Действительно, магнито-оптическая ловушка в Нижнем Новгороде есть, но как я уже отмечал ранее, магнито-оптические ловушки отличаются оптическими схемами. Мы тесно сотрудничаем с Нижним Новгородом, у них нет дополнительных источников лазерного излучения для охлаждения лития-7. При замене источников лазерного излучения на нашей установке в лаборатории мы можем захватить уже сейчас даже рубидий. Т.е. всё зависит от оптической схемы. Т.е. захватить литий-7 в Нижнем Новгороде нельзя.

«Автор считает, что реализованный им метод регистрации переходов в ридберговские состояния по уменьшению сигнала флуоресценции облака холодных атомов является неразрушающим». Действительно, во время возбуждения, как отмечено в замечании, ридберговские состояния не разрушаются, в отличие от ионизации полевым методом, а далее они развиваются в том числе в ультрахолодную плазму. Тут я соглашусь, это действительно так. Это очень полезное замечание.

В одном из замечаний речь идет о провале в концентрации. Данный провал концентрации подробно мною не исследовался, потому что это не является основной ветвью исследований, но суть его в том, что вот эта вот точка (*показывает слайд с рисунком*) она куда-то «выпала». Если я её просто уберу, проблемы уже не будет. Поэтому я решил не возвращаться подробно и не обсуждать эту тему. Видите, одна точка всё таки могла «выпасть» из зависимости. Вроде всё.

Председатель: Спасибо. Совет удовлетворен? Я думаю, на наиболее существенные замечания ответ получен. Хорошо, спасибо. В таком случае слово предоставляется оппоненту первому. Первый оппонент у нас доктор физико-математических наук Владимир Павлович Крайнов из МФТИ.

Крайнов В.П.: Здравствуйте. Диссертация С.А. Саакяна посвящена экспериментальному исследованию свойств газа ультрахолодных высоковозбужденных атомов лития-7. В настоящее время огромный интерес представляет изучение высоковозбужденных состояний атомов, в связи с возможностью их применения в качестве логических элементов квантовых компьютеров. Отдельный интерес представляет изучение коллективов высоковозбужденных атомов и ультрахолодной плазмы. В рамках данной работы впервые в России создана экспериментальная установка по лазерному охлаждению и пленению в магнито-оптическую ловушку атомов лития-7. При помощи развитой в рамках диссертационной работы методики регистрации энергетических спектров высоковозбужденных состояний атомов лития-7, впервые измерены энергии для различных nS -конфигураций в диапазоне значений главного квантового числа от $n=38$ до $n=165$.

В первой главе дано подробное описание экспериментальной установки. Кратко описана методика лазерного охлаждения и пленения атомов в МОЛ. Описан алгоритм получения глубокого вакуума на уровне 10^{-10} торр. Подробно описан способ стабилизации источников лазерного излучения, и исследована стабильность охлаждающего лазера. Приведены подробные оптические схемы установки.

Вторая глава посвящена исследованию характеристик облака холодных атомов в МОЛ. Подробно исследована плотность и количество атомов на разных подуровнях основного состояния в зависимости от отстройки охлаждающего излучения и градиента магнитного поля. Показано, что распределение плотности атомов в МОЛ можно считать

Гауссовым. Исследована скорость загрузки и температура атомов в МОЛ, подобраны оптимальные параметры для дальнейших экспериментов с ансамблями высоковозбужденных атомов.

В третьей главе описана развитая в данной работе методика диагностики энергетических спектров ридберговских атомов на примере МОЛ с литием-7. Дан обзор экспериментальных методик возбуждения, детектирования и идентификации ридберговских переходов. Описаны проведенные в рамках данной работы эксперименты по измерению энергий ридберговских переходов для различных nS -конфигураций в широком диапазоне значений главного квантового числа. Приведены значения энергий nS -переходов с квантовым числом от $n=38$ до $n=165$.

Достоверность полученных результатов определяется сравнением значений порога ионизации и квантового дефекта, полученных с использованием измеренных в работе значений энергий, с самыми точными микроволновыми экспериментами и современными теоретическими работами. Наблюдается хорошее согласие с другими экспериментальными и теоретическими работами. Примечательным является тот факт, что в данной работе энергетические спектры измерялись принципиально другим способом. Разработанный в диссертационной работе метод диагностики не разрушает ридберговских состояний.

Практическая ценность результатов диссертации определяется тем, что разработанная в данной работе методика регистрации энергетических спектров высоковозбужденных атомов универсальна для всех атомов, которые можно захватить в МОЛ ловушку. По полученным спектрам можно рассчитать значение порога ионизации атома и квантовый дефект, с точностью сравнимой с самыми прецизионными микроволновыми экспериментами.

В целом диссертационную работу можно охарактеризовать как экспериментальную работу высокого класса, результаты которой соответствуют лучшим Российским и мировому стандартам. В работе впервые измерены энергии для различных nS -конфигураций в широком диапазоне значений главного квантового числа.

По диссертации можно сделать следующие два замечания:

1. Недостаточно подробно исследована зависимость ширины и амплитуды резонансов от мощности возбуждающего излучения. Ширина ридберговских резонансов весьма велика.
2. Неясно, в какой степени газ ридберговских атомов можно называть плазмой в классическом понимании этого термина.

Приведенные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общую положительную оценку диссертации С.А. Саакяна.

Результаты диссертации своевременно опубликованы в виде 6 статей в рецензируемых изданиях из перечня ВАК и представлены лично автором на международных и российских конференциях по соответствующей тематике. Автореферат правильно и в полной мере отражает содержание диссертации. Личный вклад автора в результаты, представленные в работе, не вызывает сомнений. Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.08 – Физика плазмы.

Диссертация Саакяна «Экспериментальные исследования свойств газа ультрахолодных высоковозбужденных и частично ионизованных атомов лития-7» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным Положением о порядке присуждения

ученых степеней, а её автор, Саакян Сергей Арамович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы. Спасибо.

Председатель: Спасибо. Пожалуйста, Сергей Арамович.

Саакян С.А.: Так, ширину мы уже более или менее обсуждали. Т.к. возбуждение является смесью когерентных и некогерентных процессов, то в ширину входит ширина уровня... Мне понадобится схема уровней (*открывает слайд со схемой уровней*). Вклад в ширину ридберговского перехода дает ширина уровня $2P_{3/2}$, также дает в ширину вклад фоновое паразитное электрическое поле, вклад лазера оптической накачки, частота которого модулируется для его стабилизации. Если устранить все эти факторы, то ширина приближается к суммарной ширине уровня $2P_{3/2}$, что и было мною уже сделано в мае этого года. Ширина уровня на данный момент равняется ширине уровня $2P_{3/2}$.

Спасибо за замечание о том какое это отношение имеет к плазме в классическом её понимании. Создание газа ридберговских атомов это первый этап в получении ультрахолодной плазмы. После возбуждения газ ридберговских атомов эволюционирует в плазму. При $n=300$ и большой плотности, могут наблюдаться эффекты, при которых газ который являлся диэлектриком, станет проводящим. Максимальная n в данной работе составила 165, а концентрация 10^7 , что недостаточно для наблюдения этих эффектов.

Председатель: Спасибо. Совет удовлетворен? Слово предоставляется Сергею Александровичу Зиброву, ФИАН. Пожалуйста.

Зибров С.А.: Коротко скажу. На меня очень хорошее впечатление общее произвела работа Сергея. Это серьезная экспериментальная работа. И поскольку я имел возможность общаться с ним в ходе выполнения работы, мы на конференциях встречались, я был в курсе его работы. Могу сказать, что результаты, полученные здесь, они получены Сергеем лично или при его непосредственном участии. Среди результатов можно выделить методику, которая позволяет измерять энергии ридберговских переходов, при этом не разрушая состояния. Кроме того с помощью этой методики были получены впервые значения энергий переходов, которые могут потом найти применение в дальнейших экспериментах. Ну и конечно, стоит отметить, что установка такая в России впервые сделана, литий-7 в России впервые охлажден. Есть и недостатки у работы, я их прочитаю, часть уже прозвучала.

Первый недостаток. В работе не объясняется, чем обусловлен выбор атомов лития-7, этот вопрос уже членами комиссии задавался, я слышал. Кроме того нет обсуждения того, какое дальнейшее направление исследований, для чего это делается. Но этот вопрос уже тоже звучал. Из таких вопросов ещё... В диссертации нет детального обсуждения причин, которые приводят к искажению формы зависимости сигнала флуоресценции. Вот, вот эта картинка (*показывает на слайд*). И чем обусловлены такие ширины, почему искажение формы наблюдается. Кроме этого есть ещё фотография, где облако приведено, разлет облака, форма у облака несимметрична. Тоже об этом ничего не сказано, почему там хвостик такой, вот это сверху (*показывает на слайд*). Ну и есть ещё ряд мелких замечаний, на самом деле по оформлению, в рисунках, в подписях к рисункам. Это в

общем совсем ерунда. Считаю, что Сергей, безусловно, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук. Работа очень хорошая. Всё, спасибо.

Председатель: Спасибо Вам. Сергей Арамович, пожалуйста, ответ на замечания.

Саакян С.А.: Спасибо большое за замечания. Чем обусловлен выбор атома лития-7, я уже отвечал. По поводу полоски, которая здесь сверху наблюдается (*показывает на слайд, рисунок баллистического разлета*). На самом деле, самое печальное, что это не эффект какой-то определенный, а это дефект камеры. Я долго-долго с этим боролся, но устранить его не удалось, дело в том что камера ССD фирменная, а объектив за два доллара, поскольку другого не было. Который удалось купить... И он не очень качественный, возникает такой блик вдоль кадра, он не зависит от наличия облака, но если появляется светящийся объект в центре, он дает какие-то блики, уходящие наверх. Поэтому это просто дефект. Форма облака мною действительно нигде не обсуждается, но я отвечу, почему оно имеет эллипсоидальную форму. Дело в том, что антигельмгольцевы катушки создают магнитное квадрупольное поле с тремя компонентами, из уравнений Максвелла и вращательной симметрии можно получить что, силы направленные вдоль x и y вдвое меньше чем по направлению z . Т.е. удерживаемое облако заполняет эллипсоидальный объем во всех магнито-оптических ловушках с кольцами Гельмгольца. Можно конечно поддать мощности по бокам, тогда облако станет круглым, но это надо диспропорцию некоторую привести в систему. С замечаниями, которые касаются опечаток, например, ось подписана у меня в одном месте в секундах, а там в миллисекундах. Из текста очевидно, но тем не менее ошибка есть, я с ней полностью соглашусь. Некоторые обозначения неправильные, на английском приведены, а внизу расшифровка на русском сокращений. Здесь я тоже полностью соглашусь. Единообразие в оформлении единиц измерения – то в круглых скобках, то в квадратных под графиками. Здесь я тоже полностью соглашусь, действительно это так. В работе, к сожалению, существует такой недостаток.

Председатель: Спасибо. У нас время для дискуссии, и мне кажется на дискуссии в том числе нам надо обсудить соответствует эта работа специальности физика плазмы или не соответствует. Наша комиссия формулировала объяснение, лучше чтобы это звучало на дискуссии так же. Так, кто желает выступить? Пожалуйста.

Сон Э.Е.: Ну я начну с конца, может быть. Соответствует или нет, с моей точки зрения – полностью соответствует. Потому что когда вы создаете возбужденные атомы, то у вас в ограниченном объеме, есть система кулоновских частиц. Сильно возбужденные атомы, они имеют спектр водородоподобный, поэтому это поведение электронов и ионов в маленьком объеме. Это кулоновская система. Кулоновская система – это есть плазма. Поэтому это изучение плазменных свойств. Кроме того, сама задача образования возбужденных состояний, это кинетика возбуждения, переход по уровням, это вот классическая книжка Биберман-Воробьев-Якубов, она посвящена кинетике и там метод узкого места и т.д. И это задачи, которые имеют к этому отношение. Поэтому с моей точки зрения она соответствует специальности физика плазмы. Второе, я хотел сказать лично о Сергее Арамовиче. Бывая в лаборатории, я могу сказать свое впечатление следующее, что много вопросов задается, там есть хорошие ученые, которые собрались в

этой лаборатории, там Зеленер Борис Борисович, там Саутенков, очень толковый человек, но когда задаешь вопрос какой-нибудь по физике дела, первым отвечает Сережа. Он сразу начинает отвечать.

Из зала: Реакция быстрая.

Сон Э.Е.: Ну я не знаю, реакция или нет, но он первый начинает отвечать, дальше уже вступают в дело более старшие товарищи. Второе, я хотел отметить, что он очень добросовестный. Потому что здесь был вопрос о том, что почему у вас на картинке которая есть появляется некоторый несимметричный эффект. Он сказал что это просто эффект камеры, но сейчас есть фотошоп, поэтому то что не относится к эксперименту можно было бы просто убрать, чтобы не заостряли вот на этом. И третье я хотел сказать следующее. Последнее время мне приходится заниматься довольно много проблемами холодных атомов и немного ридберговским веществом. Дело в том что сейчас развивается совместная программа по экспериментам в космосе, между НАСА и Роскосмосом. Нас пригласили на конференцию, которая была два месяца назад, в апреле. На этой конференции двое человек, Саутенков и Зеленер Борис Борисович, они не получили визу, а я получил. Так получилось, раньше подал документы. И на этой конференции доклад Бориса Борисовича был, они его получили и знали в чем дело. Я конечно его не докладывал, потому что это не моя работа, я докладывал про холодные атомы. Но что самое интересное, потом. Это была конференция человек 30, примерно столько, сколько здесь сидит. Три нобелевских лауреата там было. Три дня сидели обсуждали все вопросы. Все они являются руководителями проектов. И мы просили, чтобы нас допустили до лаборатории холодных атомов, которая находится в JPL, это Jet Propulsion Lab, которая находится около Лос Анжелеса. Они допустили меня только в последний день. Посетив эту лабораторию, я попросил сфотографировать, они сказали что нельзя, я сказал что мне не столько вас нужно сфотографировать и приборы ваши, сколько саму лабораторию и так далее. Ну они сказали хорошо и у меня такая фотография есть. Если сравнить эту фотографию и то, что у американцев есть, и ту лабораторию, которая есть на Красноказарменной, наша лаборатория лучше в два раза. Наша лучше, почему?

Из зала: Разве это возможно?

Сон Э.Е.: Я скажу вам, что возможно, а что нет. Есть одна большая разница. Дело в том, что лаборатория, которая занимается ридбергами, там был доклад и в германии по ридберговскому веществу. Почему она маленькая? Эта лаборатория JPL, она предусмотрена для создания опытов в космосе. Т.е. все эти нобелевские лауреаты, Эрик Корнелл, Вольфганг Кеттерле, что они сделали? Они, когда получили нобелевскую премию, они это коммерциализировали, т.е. сейчас эти вот ловушки МОТ-ы они маленького размера. Сейчас мы с ними договаривались... Следующее решение было такое, они сказали, что в этом году наземные испытания, в августе следующего года полеты в космосе, но они сказали, что был предложен проект по ридбергам у них на станции чтобы мы сделали, потому что лаборатория будет их. И они прислали вчера-позавчера прислали ответ, что мы можем включить в лабораторию эти эксперименты которые у нас делаются, либо в CAL-2, это как я напому ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4... Вот, первые эксперименты – CAL-1, они будут идти два года, а потом они готовы включить

наши. Либо второй вариант, который они рассматривают, его они предложили сами – это сделать лабораторию космическую у себя в ИВТАНе совместно с ВНИИМАШ. Сейчас такой проект готовится, и я только сейчас отходил, мне звонил горшков, сказал, что они решение такое принимают. Поэтому у этой лаборатории, я считаю, большое будущее. А то что эта лаборатория лучше, чем у американцев, правда не та которая у Кеттерле и у других, такая стационарная лаборатория. Кроме того предполагается взаимодействие, так как сейчас по пылевой плазме, в следующем году будут гранты вот такие. Они находятся в той самой струе. Эти работы, я считаю, ведутся в одной лаборатории в ИВТАНе, которая наиболее продвинута и на самом верхнем уровне. А то что замечания мы сегодня обсуждали, большое количество замечаний от Института Спектроскопии, ну это означает, что людям на столько интересно, что они не просто отписываются. Или конкуренция или свои, там, советы... Ну в общем. Большое количество замечаний – это не плохо, на самом деле. Это, во-первых, интересно, я напому что в ВАКе есть правило, что если вы отзыв на автореферат написали без замечаний, он в ВАК вообще не идет. А если отзыв с замечаниями то он идет. Кроме того могу сказать, что в области физики плазмы, а у нас совет по физике плазмы, Институт высоких температур занимает лидирующее, первое место в России в этой области. Поэтому мнение нашего совета является определяющим. Поэтому не нам должны диктовать правила, а мы должны их устанавливать. Спасибо.

Председатель: Спасибо. Пожалуйста.

Храпак А.Г.: Коротко хотел бы добавить к выступлению Эдуарда Евгеньевича, что, как прозвучало в докладе и в ответах на вопросы, одна из целей этой установки, этой работы, этого проекта – создание и исследование неидеальной плазмы холодных ридберговских атомов. Именно плазмы. Сейчас сделан первый шаг, в этом направлении, в исследовании плазмы. Поэтому мы вполне можем...

Председатель: Большое спасибо. Пожалуйста ещё.

Андреев Н.Е.: Тут есть, для того чтобы не было вопросов, относительно физики плазмы, я зачитаю пункт 2 паспорта по специальности физика плазмы: «Термодинамика, кинетика, в том числе явления переноса, оптика, элементарные процессы в плазме (ионизация, излучение, столкновение и т.д.)», поэтому всё это мы здесь слышали.

Председатель: Спасибо. Пожалуйста есть ли ещё желающие?

Василяк Л.М.: Я ознакомился с диссертацией как член комиссии которая представляла эту работу, мне очень понравилась, потому что впечатляет начиная от вакуумной установки, которая может месяцами без насосов функционировать, и при этом вакуум не меняется, а как мы слышали, это основная причина разрушения ловушки, так и огромное количество лазеров, которые применяются. Я хотел бы отметить, что каждый лазер специфический, и его нужно было выбирать с точки зрения атомного строения данных уровней и так далее. И вот просто начинаешь перечислять: два лазера только для охлаждения, лазерная ловушка... Для возбуждения ридберговских состояний, это не просто двухфотонное, это много различных лазеров должно быть, и очень точная установка частоты. Автор не зря разработал специальную методику, вот это позволяет

делать. Поэтому вся вот эта аппаратура работает практически на пределе тех технических и физических возможностей, которые есть. По этой причине я считаю что работа очень хорошая, сделана очень квалифицированно, и, конечно, автор заслуживает присуждения ему искомой степени.

Председатель: Спасибо. Есть ли ещё желающие?

Савватимский А.И.: Данную работу, конечно, нужно отнести к фундаментальным исследованиям, а в свете отсутствия внимания со стороны министра науки и премьера к фундаментальной науке, вы как раз должны поддержать это направление, потому что мы понимаем, что за такими исследованиями стоит очень широкий спектр различных применений. Я считаю что ответы Сергея Арамовича были вполне профессиональны, и, конечно, у меня нет сомнений что следует проголосовать за предоставление степени. Спасибо.

Норман Г.Э.: У меня запоздалый вопрос к Сергею. По результатам определения квантового дефекта S-состояний. Скажите пожалуйста, он у вас близок к константе для больших n или вы наблюдали какие то возмущения связанные скажем с конфигурацией?

Саакян С.А.: Это такой вопрос... на самом деле, квантовый дефект он очень медленно растет. По идее, он должен быть константой, я наблюдал следующее поведение квантового дефекта: с ростом n он себя как-то ведет, после чего выходит на некоторую константу, которая, возможно, медленно растет, но я этого уже в пределах погрешности не вижу.

Председатель: Пожалуйста, есть ли ещё желающие? Я бы хотел сказать, что нам достаточно редко приходится слушать кандидатские работы, с таким количеством качественных публикаций. И так же редко приходится слушать защиту с такими замечаниями. Мне кажется, эти две особенности работы Сергея Арамовича они взаимосвязаны, как уже Эдуард Евгеньевич сказал. Поэтому, я думаю, мы поддержим эту работу. Сергей Арамович вам заключительное слово.

Саакян С.А.: Я хотел бы поблагодарить членов совета за то, что выслушали меня и за ценные замечания. Хотел бы поблагодарить своего научного руководителя Зеленера Бориса Борисовича, без которого данная работа не состоялось бы, всех сотрудников нашей лаборатории, которые мне все эти четыре года активно помогали, Бориса Вигдоровича Зеленера за то, что всегда был рад оказать помощь и консультацию, и теоретический отдел имени Бибермана, перед которым эта работа несколько раз докладывалась, выслушивались комментарии, обсуждались после других семинаров, я очень благодарен, мне это очень помогло при подготовке данной работы. Спасибо.

Председатель: Теперь мы должны выбрать счетную комиссию. И в последний момент Михаил Михайлович предложил счетную комиссию в следующем составе: это д.ф.-м.н., профессор Голуб Виктор Владимирович, д.ф.-м.н., профессор Василяк Леонид Михайлович, д.т.н., профессор Васильев Михаил Николаевич. Никто не возражает? Если нет, то мы должны проголосовать. Кто за? Прошу голосовать. Возражения? Нет?

Воздержался? Нет. *(Счётная комиссия выбирается единогласно)*. Тогда прошу счётную комиссию приступить, а всех членов диссертационного совета проголосовать. *(Проводится процедура тайного голосования)*.

Голуб В.В.: Разрешите доложить результат работы комиссии. Присутствовало на заседании **25** членов совета, в том числе, докторов наук по профилю рассматриваемой специальности – **11**. Роздано бюллетеней – **25**, осталось не роздано – **6**, оказалось в урне бюллетеней – **25**. Все бюллетени За.

Председатель: Теперь мы должны утвердить протокол счетной комиссии. Кто за? Есть ли кто-нибудь против? Возражает? *(Протокол счетной комиссии утвержден единогласно)*.

Сергей Арамович, мы вас поздравляем.

(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения).

Кто за заключение с замечаниями, которые были указаны? Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Спасибо, принято единогласно. *(Проект заключения принят единогласно)*. Сегодня у нас повестка исчерпана, всем спасибо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 08.06.2016 № 7

О присуждении Саакяну Сергею Арамовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Экспериментальные исследования свойств газа ультрахолодных высоковозбужденных и частично ионизованных атомов лития-7» по специальности 01.04.08 – физика плазмы, принята к защите 6.04.2016, протокол № 6, диссертационным советом Д 002.110.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр. 2, iht.ru, 8(495)485-83-45), утвержденным Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 11.04.2012 г. №105/нк.

Соискатель Саакян Сергей Арамович 1989 года рождения, в 2012 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». Являлся аспирантом Объединенного института высоких температур Российской академии наук с 1 мая 2012 года по 30 апреля 2016 года.

Работает стажером-исследователем лаборатории 1.2.3.3 (теплофизических свойств материалов) Научно-исследовательского центра теплофизики экстремальных состояний (НИЦ-1 ТЭС) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН).

Диссертация выполнена в лаборатории № 1.2.3.3 (теплофизических свойств материалов) НИЦ-1 ТЭС ОИВТ РАН.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Зеленер Борис Борисович, заведующий лабораторией № 1.2.3.3 (теплофизических свойств материалов), НИЦ-1 ТЭС ОИВТ РАН.

Официальные оппоненты: Крайнов Владимир Павлович, д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической физики, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9, 8(495)408-45-54, www.mipt.ru);

Зибров Сергей Александрович, к.ф.-м.н., младший научный сотрудник Лаборатории стандартов частоты, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (119991 ГСП-1, г. Москва, Ленинский проспект, д.53, ФИАН, 8(495)408-75-90, lebedev.ru)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН, 108840, г. Троицк, ул. Физическая, д. 5., isan.troitsk.ru, 8(495)851-02-21) в своем положительном заключении, подписанным Задковым Виктором Николаевичем, д.ф.-м.н., профессором, директором

ИСАН (составленном Афанасьевым Антоном Евгеньевичем, к.ф.-м.н., с.н.с. отдела лазерной спектроскопии, лаборатории лазерной спектроскопии ИСАН), указала, что:

1. В рамках диссертационной работы впервые в России создана установка по лазерному охлаждению и захвату 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.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ в рецензируемых научных журналах, в том числе по теме диссертации 8 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК 6 работ:

1. С.А. Саакян, В.А. Саутенков, Е.В. Вильшанская, В.В. Васильев, Б.Б. Зеленер, Б.В. Зеленер «Контроль частоты перестраиваемых лазеров с помощью частотно-калиброванного лямбда-метра в эксперименте по приготовлению ридберговских атомов в магнитооптической ловушке», **Квантовая Электроника**, т. 45(9), с. 828-832 (2015). Вклад диссертанта – 4 страницы из 5.
2. Б.Б. Зеленер, С.А. Саакян, В.А. Саутенков, А.М. Акульшин, Э.А. Манькин, Б.В. Зеленер, В.Е. Фортов «Лазерное охлаждение атомов $7Li$ в магнитооптической ловушке», **Письма в ЖЭТФ**, том 98, вып. 11, с. 762-766 (2013). Вклад диссертанта – 2 страницы из 5.
3. Б.Б. Зеленер, С.А. Саакян, В.А. Саутенков, Э.А. Манькин, Б.В. Зеленер, В.Е. Фортов «Эффективное возбуждение ридберговских состояний ультрахолодных атомов лития-7», **Письма в ЖЭТФ**, том 100, вып. 6, с. 408-412 (2014). Вклад диссертанта – 2 страницы из 5.
4. Б.Б. Зеленер, С.А. Саакян, В.А. Саутенков, Э.А. Манькин, Б.В. Зеленер, В.Е. Фортов «Лазерная диагностика спектра энергии ридберговских состояний атома лития-7», **ЖЭТФ**, т. 148, вып. 6(12), с. 1086-1091 (2015). Вклад диссертанта – 3 страницы из 6.

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).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Институт общей физики им. Прохорова Российской академии наук (ИОФ РАН), г. Москва** (к.ф.-м.н., заведующий лабораторией мощных полупроводниковых лазерных приборов Державин Сергей Игоревич) – отзыв положительный с замечаниями:
 - Как показано в работе, следует учитывать фоновое паразитное электрическое поле, которое смещает частоту ридберговских переходов за счет эффекта Штарка. Почему бы не скомпенсировать это поле в экспериментальной установке?
2. **Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), г. Москва** (д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник теоретического отдела №1.2.4. им. Л.М. Бибермана Дьячков Лев Гаврилович) – отзыв положительный с замечаниями:

- Ширина резонансов флюоресценции, по-видимому, зависит от мощности возбуждающего лазерного излучения. Представляет интерес эту зависимость получить, так как это может быть важным при детектировании еще более высоких ридберговских уровней.

3. **Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва** (к.ф.-м.н., доцент кафедры №70 «Физика твердого тела и наносистем» Карцев Пётр Фёдорович) – отзыв положительный, без замечаний.

4. **Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск** (д.ф.-м.н., зав.лаб. Рябцев Игорь Ильич) – отзыв положительный с замечаниями:

- Автор утверждает, что им создана первая в России магнитооптическая ловушка для атомов лития-7. Однако такая ловушка уже была создана ранее в Институте прикладной физики РАН (Н. Новгород), и на ней возможно лазерное охлаждение и захват как лития-6, так и лития-7.

- Автор считает, что реализованный им метод регистрации переходов в ридберговские состояния по уменьшению сигнала флуоресценции облака холодных атомов является неразрушающим. Действительно, ридберговские атомы возбуждаются в непрерывном режиме, и первоначально в каждом атоме заселяется только одно ридберговское состояние. Однако затем оно распадается с течением времени и заселяет соседнее состояние, что невозможно отследить используемым методом.

- На рис. 3 автореферата в зависимости числа атомов от отстройки охлаждающего лазера имеется провал при -25 МГц для градиента магнитного поля 21 Гс/см и наоборот, пик для 35 Гс/см. Однако такое необычное поведение зависимостей никак не обсуждается, хотя оно может свидетельствовать о каких то особенностях в лазерном охлаждении атомов лития.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается проводимыми ими исследованиями по теме диссертации.

Выбор Крайнова Владимира Павловича в качестве оппонента обосновывается тем, что он является известным специалистом по высоковозбужденным состояниям атомов и лазерной плазме:

1. Ishkhanyan, A. M., & Krainov, V. P. (2015). Non-exponential tunneling ionization of atoms by an intense laser field. *Laser Physics Letters*, 12(4), 046002.
2. Moll, M., Schlanges, M., Bornath, T., & Krainov, V. P. (2015). Influence of excitation and deexcitation processes on the dynamics of laser-excited argon clusters. *Physical Review A*, 91(3), 033405.
3. Krainov, V. P., & Sofronov, A. V. (2014). Surface heating of electrons in atomic clusters irradiated by ultrashort laser pulses. *Laser Physics*, 24(4), 046002.

Выбор Зиброва Сергея Александровича в качестве оппонента обосновывается тем, что он является известным экспериментатором в области современной лазерной спектроскопии и квантовой электроники:

1. Fedotov, I. V., Doronina-Amitonova, L. V., Voronin, A. A., Levchenko, A. O., Zibrov, S. A., Sidorov-Biryukov, D. A. & Zheltikov, A. M. (2013). Electron spin manipulation and readout through an optical fiber. *Scientific reports*, 4, 5362-5362.
2. Yudin, V. I., Taichenachev, A. V., Sevostianov, D. I., Velichansky, V. L., Vasiliev, V. V., Zibrov, A. A. & Zibrov, S. A. (2013). Feedback spectroscopy of atomic resonances. *Physical Review A*, 87(6), 063806.

3. Vasil'ev, V. V., Velichanskii, V. L., Zibrov, S. A., Sivak, A. V., Brazhnikov, D. V., Taichenachev, A. V., & Yudin, V. I. (2011). Dual structure of saturated absorption resonance at an open atomic transition. *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 112(5), 770-779.

Выбор Института спектроскопии РАН (ИСАН) в качестве ведущей организации обусловлен тем, что данный институт проводит исследования, в том числе и по тематике диссертации. В институте проводились пионерские исследования по лазерному охлаждению. Основные публикации сотрудников ИСАН по тематике, близкой к тематике диссертации:

1. Балыкин, В. И. (2011). Ультрахолодные атомы и атомная оптика. *Успехи физических наук*, 181(8), 875-884.
2. Балыкин, В. И. (2011). АТОМНАЯ ОПТИКА И ЕЁ ПРИЛОЖЕНИЯ. *Вестник Российской академии наук*, 81(4), 291-315.
3. Kamchatnov, A. M., & Kartashov, Y. V. (2013). Oblique Breathers Generated by a Flow of Two-Component Bose-Einstein Condensates Past a Polarized Obstacle. *Physical review letters*, 111(14), 140402.

Диссертационный совет отмечает, на основании выполненных соискателем исследований:

1. Создана экспериментальная установка, на которой осуществлено лазерное охлаждение и захват более 10^9 атомов лития-7 в магнито-оптическую ловушку. Это вторая установка в стране по лазерному охлаждению атомов лития (установка с литием-6 была создана в ИФП РАН г. Н. Новгород), но первая в стране установка по лазерному охлаждению изотопа лития-7.
2. При помощи дополнительного пробного лазера впервые получена независимая информация о концентрации и количестве холодных атомов лития-7 в МОЛ на разных подуровнях основного состояния в зависимости от отстройки охлаждающего излучения и градиента магнитного поля.
3. Получена максимальная суммарная концентрация атомов в ловушке 10^{11} см^{-3} при отстройке охлаждающего излучения 20 МГц и градиенте магнитного поля 35 Гс/см.
4. Разработана новая неразрушающая методика исследования и диагностики энергетических спектров холодных высоковозбужденных атомов по регистрации изменения флуоресценции облака в МОЛ.
5. 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.
6. С использованием развитой в работе методики получены значения порога ионизации, квантового дефекта S-состояния и оценена величина остаточного электрического поля в области возбуждения.

Новых понятий и терминов не вводилось.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в работе получена новая спектроскопическая информация, которая хорошо согласуется с современными теоретическими представлениями. По измеренным значениям энергий различных конфигураций, можно рассчитать квантовый дефект и порог ионизации атома.

Практическая значимость работы обоснована тем, что предложенная в данной работе методика регистрации энергетических спектров высоковозбужденных атомов универсальна для всех атомов, которые можно захватить в МОЛ.

В работе разработана экспериментальная установка для дальнейших исследований ультрахолодной плазмы и газа высоковозбужденных атомов.

Результаты работы могут быть рекомендованы для использования 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).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

исследования построены на известных проверяемых данных, фактах, общепризнанных законах. Результаты работы хорошо согласуются с теоретическими работами других авторов. Результаты опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях. Достоверность полученных результатов определяется сравнением значений порога ионизации и квантового дефекта, полученных с использованием измеренных в работе значений энергий, с самыми точными микроволновыми экспериментами и современными теоретическими работами. Наблюдается отличное согласие с другими экспериментальными и теоретическими работами. Примечательным является тот факт, что в данной работе энергетические спектры измерялись принципиально другим способом. Разработанный в диссертационной работе метод диагностики не разрушает ридберговских состояний.

Личный вклад соискателя состоит в получении результатов изложенных в диссертации. Автор лично проводил большинство экспериментов описанных в диссертации. Содержание диссертации отражает персональный вклад автора в опубликованные работы. Анализ и интерпретация полученных экспериментальных данных проводились автором лично или при его непосредственном участии. Результаты были представлены лично диссертантом на российских и международных конференциях.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным пунктом 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.

На заседании 08 июня 2016 года диссертационный совет Д 002.110.02 принял решение присудить Саакяну С.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 31 человек, из них 11 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 13 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 25, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02,
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02
к.ф. - м.н.


Г.И. Канель

М.М. Васильев

М.П.