

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ  
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Տոնոյան Արա Երվանդի

**Օպտիկական և մագնիսա- օպտիկական երևույթների  
ուսումնասիրումը ցեզիումի, ռուբիդիումի և կալիումի միկրո-  
և նանո- մետրական ատոմական շերտերում**

Ա.04.21–«Լազերային Ֆիզիկա» մասնագիտությամբ Ֆիզիկա-  
մաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի  
հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Աշտարակ-2016

---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА  
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Тоноян Ара Ервандович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И МАГНИТО- ОПТИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ В МИКРО- И НАНО- МЕТРИЧЕСКИХ АТОМАРНЫХ  
СЛОЯХ ЦЕЗИЯ, РУБИДИЯ И КАЛИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 01.04.21 – “Лазерная физика”

Аштарак – 2016

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական Հետազոտությունների  
Ինստիտուտում

Գիտական ղեկավարներ՝

Ֆիզ. մաթ. գիտությունների դոկտոր  
Ղ. Հ. Սարգսյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզ. մաթ. գիտությունների դոկտոր  
Ս. Ս. Բշխանյան

Ֆիզ. մաթ. գիտությունների թեկնածու  
դոցենտ Հ. Վ. Բաղդասարյան

Առաջատար կազմակերպություն՝

Երևանի Պետական Համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2016 թ. հոկտեմբերի «11»-ին ժ. 15:00  
ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական Հետազոտությունների Ինստիտուտում գործող ԲՈՀ-ի 049 ֆիզիկայի  
մասնագիտական խորհրդի նիստում, հասցեն՝ 0203 ք. Աշտարակ-2, ՀՀ ԳԱԱ ՖՀԻ:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է 2016 թ. սեպտեմբերի «09»-ին

049 մասնագիտական խորհրդի  
գիտական քարտուղար՝



Ֆ. մ. գ. թ., դոցենտ  
Վ. Պ. Քալանթարյան

---

Тема диссертации утверждена в Институте Физических Исследований НАН РА

Научные руководители:

доктор физико-математических наук  
Д.Г. Саркисян

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
А.М. Ишханян

кандидат физико-математических наук  
доцент О.В. Багдасарян

Ведущая организация:

Ереванский Государственный Университет

Защита диссертации состоится «11» Октября 2016г. в 15:00 часов на заседании  
Специализированного совета по физике 049 ВАК при Институте Физических Исследований  
НАН РА по адресу: 0203, г. Аштарак-2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан «09» Сентября 2016г.

Ученый секретарь специализированного  
совета 049:



к. ф. м. н., доцент  
В.П. Калантарян

## Общая характеристика работы.

### Актуальность темы.

В течение последних двух десятилетий был достигнут значительный прогресс в разработке непрерывных узкополосных плавно-перестраиваемых диодных лазеров (УПДЛ) со спектральной шириной  $\gamma_L \sim 1$  МГц. Наличие таких лазеров в ближней инфракрасной области (700-900 нм) привело к бурному росту исследований в области спектроскопии сверхвысокого разрешения в атомарных средах. Атомы щелочных металлов рубидий (Rb), цезий (Cs) и калий (K) имеют сильные атомные переходы в ближней инфракрасной области. При взаимодействии узкополосного лазерного излучения с атомарными парами Rb, Cs и K, реализуются большое число оптических и магнито-оптических процессов, которые нашли широкое применение в лазерных технологиях, в метрологии высокого частотного разрешения, в создании высокочувствительных магнитометров, в задачах квантовой коммуникации, записи оптической информации и др. [ц1, ц2]. Поэтому, интерес к этим исследованиям продолжает оставаться очень высоким. В работе [ц3] было продемонстрировано, что при использовании так называемых наночеек (НЯ) разработанных в ИФИ, НАН Армении с толщиной столба паров атомов  $L \sim 50-1000$  нм в поле излучения УПДЛ, возможно формирование субдоплеровских резонансов оптического диапазона со спектральной шириной 15-70 МГц. При этом, в основном, применяются следующие два процесса: 1) В спектрах пропускания НЯ заполненной парами атомов Rb, Cs и K ( $D_{1,2}$  линии), имеющих толщину столба  $L = \lambda$  ( $\lambda$ -длина волны резонансного излучения в интервале 700-900 нм), при использовании УПДЛ, формируются узкие, селективные по скоростям оптические резонансы (ОРСС), расположенные на атомных переходах со спектральной шириной 15-20 МГц [ц 2] В спектрах пропускания НЯ, имеющих толщину столба  $L = \lambda/2$  (интервал толщин 350-450 нм) формируются узкие линии поглощения со спектральной шириной 60-100 МГц. Применение ОРСС и узкополосных линий поглощения позволяют успешно исследовать с высоким спектральным разрешением поведения атомных переходов сверхтонкой структуры атомов Rb, Cs и K во внешних магнитных полях в диапазоне 1-10000 Гс, а также регистрировать режим Пашена-Бака (ПБС) на сверхтонкой структуре.

Исследования поведения атомных уровней и переходов во внешних магнитных полях проводятся достаточно давно с целью лучше понять структуру атомов и их практические применения в различных областях. Применение НЯ и новой техники формирования узких резонансов позволяет осуществить дальнейшее исследование атомных переходов Rb, Cs и K в значительно более широком интервале величин магнитного поля (чем это было реализовано к моменту начала диссертационной работы) используя компактную лабораторную установку. До создания НЯ подобные результаты могли быть получены только с помощью гораздо более сложной техники атомных пучков. Полученные результаты имеют практические применения.

**Целью работы** являлось экспериментальное и теоретическое изучение поведения индивидуальных атомных переходов сверхтонкой структуры атомов Rb, Cs и K ( $D_1$  и  $D_2$  линий) между зеемановскими подуровнями во внешних магнитных полях в широком интервале магнитных полей 5-7000 Гс с применением узкополосного непрерывного лазера и с использованием НЯ, а также, изучение возможности практического применения полученных результатов.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Дальнейшая доработка экспериментальной установки на основе постоянных магнитов, позволяющая формировать сильные магнитные поля с размещением в нее наноячейки с возможностью пропускания и регистрации лазерного излучения.

2. Используя наноячейки заполненные парами атомов Rb, Cs и K и имеющие толщину столба  $L = \lambda$  и  $L = \lambda/2$  исследовать частотные поведения и интенсивности линий (то есть вероятности переходов) индивидуальных атомных переходов сверхтонкой структуры Rb, Cs и K между зеемановскими подуровнями (оптический диапазон) во внешних сильных магнитных полях.

3. Разработать численную программу позволяющую определять частоты и вероятности атомных переходов между зеемановскими подуровнями в сильных магнитных полях для  $D_1$  и  $D_2$  линий изотопов калия  $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{41}\text{K}$ .

## Научная новизна:

1. Впервые экспериментально продемонстрировано, что при определенных величинах магнитных полей (300-2000 Гс), происходит гигантское возрастание вероятности атомных переходов  $F_g = 3 \rightarrow F_e = 5$   $D_2$  линии атомов Cs во внешних магнитных полях. Вероятности этих переходов (которые запрещены в нулевом магнитном поле) во внешних магнитных полях сильно возрастают и превосходят вероятности разрешенных атомных переходов.

2. Исследованы атомные переходы  $^{39}\text{K}$   $D_1$  линии, в магнитных полях с помощью наночастицы в случае круговой ( $\sigma^+$ ) и линейной ( $\pi$ ) поляризации лазерного излучения. Впервые продемонстрирован полный разрыв связи полного углового момента электрона  $\mathbf{J}$  и магнитного момента ядра  $\mathbf{I}$ , который происходит при полях  $B \gg 165$  Гс (полный режим Пашена-Бака на сверхтонкой структуре). Показано, что при линейной поляризации лазера, при  $B > 400$  Гс спектр пропускания состоит из двух групп переходов и каждая группа содержит, так называемый “направляющий” атомный переход (НАП), который показывает асимптотическую величину вероятности всех переходов в своей группе, и величины производных их частотных сдвигов (частотные наклоны) по магнитному полю.

3. В спектре пропускания Rb наночастицы  $D_2$  линии в случае как при круговой ( $\sigma^+$ ), так и при линейно поляризованном  $\pi$ -излучении и магнитном поле  $B > 4$  кГс зарегистрировано две группы по 6 атомных переходов для изотопа  $^{85}\text{Rb}$  и две группы по 4 перехода для изотопа  $^{87}\text{Rb}$  (полное число переходов 20). В каждой группе вероятности переходов, а также их частотные наклоны стремятся к определенным ассимптотам. Это является проявлением режима Пашена-Бака на сверхтонкой структуре.

4. Впервые продемонстрировано отсутствие, так называемых “кросс-овер” резонансов, в спектре насыщенного поглощения в микро-ячейках заполненных атомами Rb и толщиной в интервале 30-40 микрометров. Это позволило использовать микро-ячейку заполненную атомами Rb для исследования индивидуальных атомных переходов во внешних магнитных полях в интервале 30-6000 Гс, используя технику насыщенного поглощения.

5. Разработана численная программа, позволяющая определять частотные положения и вероятности для атомных переходов между зеемановскими подуровнями во внешних магнитных полях в интервале 5-5000 Гс для  $D_1$  и  $D_2$  линий изотопов  $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{41}\text{K}$ . Теоретические кривые для  $^{39}\text{K}$  хорошо согласуются с экспериментальными результатами.

### **Практическая ценность работы:**

1. Гигантское возрастание вероятности атомных переходов  $F_g = 3 \rightarrow F_e = 5$  во внешних магнитных полях позволяет регистрировать поглощение и флуоресценцию на новых длинах волн семи дополнительных атомных переходов.

2. Для  $D_1$  линий всех атомов щелочных металлов также есть свои НАП переходы, которые позволяют предсказать асимптотические вероятности атомных переходов и величины производных их частотных сдвигов по магнитному полю. Показано, как находить НАП переходы с помощью диаграмм атомных переходов.

Использование линейной зависимости частоты НАП переходов от магнитного поля удобно для определения величины внешнего магнитного поля в интервале 30-10000 Гс. При использовании наноячейки с толщиной  $L = \lambda/2$  достигается также субмикронное пространственное разрешение.

3. Смещенные по частоте на 2-14 ГГц (относительно исходных атомных уровней при  $B = 0$ ) атомные переходы Rb, Cs, K в сильных магнитных полях могут быть использованы как частотные реперы. Эти узкие атомные переходы также могут быть использованы для стабилизации частоты лазеров на смещенных частотах.

4. Отсутствие “кросс-овер” резонансов в спектре насыщенного поглощения в микро-ячейках толщиной в интервале 30-40 микрометров позволяет использование микро-ячеек заполненных атомами Rb, Cs, K, Na, Li для исследования индивидуальных атомных переходов во внешних магнитных полях в интервале 30-9000 Гс, с помощью насыщенного поглощения.

5. С помощью разработанной программы построены кривые зависимости частотного положения и вероятности перехода для каждого индивидуального атомного перехода между зеемановскими подуровнями  $D_1$  и  $D_2$  линий атомов  $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{41}\text{K}$  в интервале магнитных полей от нуля до 5000 Гс.

## **Основные защищаемые положения:**

1. Во внешних магнитных полях (300-3200 Гс), происходит гигантское возрастание вероятности семи атомных переходов  $F_g = 3 \rightarrow F_e = 5$ ,  $D_2$  линии атомов Cs, которые запрещены по правилам отбора в нулевых магнитных полях. Для двух переходов (из этих семи) вероятности возрастают настолько, что превосходят вероятности всех остальных разрешенных атомных переходов.

2. Результаты исследования переходов 39K  $D_1$  линии, в магнитных полях с помощью наночейки в случае круговой ( $\sigma^+$ ) и линейной ( $\pi$ ) поляризаций лазерного излучения показывают, что при магнитных полях  $B \gg 165$  Гс происходит абсолютный разрыв связи полного углового момента электрона  $\mathbf{J}$  и магнитного момента ядра  $\mathbf{I}$ . Для линейной ( $\pi$ ) поляризации лазера, при  $B > 400$  Гс спектр пропускания состоит из двух групп переходов и каждая группа содержит, так называемый “направляющий” атомный переход (НАП), который показывает асимптотическую величину вероятности всех переходов в своей группе, и частотные наклоны переходов по магнитному полю.

3. В спектре пропускания Rb наночейки  $D_2$  линии в случае как при круговой ( $\sigma^+$ ), так и при линейно поляризованном  $\pi$ -излучении и магнитном поле  $B > 4$  кГс регистрируются две группы по 6 атомных переходов для изотопа  $^{85}\text{Rb}$  и две группы по 4 перехода для изотопа  $^{87}\text{Rb}$ . В каждой группе вероятности переходов, а также их частотные наклоны стремятся к определенным асимптотам.

4. В спектре насыщенного поглощения в Rb микро-ячейках толщиной в интервале 30-40 микрометров отсутствуют “кросс-овер” резонансы, что позволяет использовать Rb микро-ячейки для исследования индивидуальных атомных переходов во внешних магнитных полях в интервале 30-6000 Гс, используя технику насыщенного поглощения.

5. Построенные теоретические кривые показывают зависимость частотного положения и вероятности для каждого индивидуального атомного перехода между зеемановскими подуровнями  $D_1$  и  $D_2$  линий изотопов  $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{41}\text{K}$  в интервале магнитных полей от нуля до 5000 Гс.

**Апробация работы.** Результаты диссертации докладывались на семинарах ИФИ НАН Армении в 2014 - 2016 годах, на семинарах Института Карно Бургундии,

Университет Бургундии, г.Дижон, Франция. Результаты диссертации докладывались на международных конференциях: "European Group on Atomic Physics" (EGAS 46, Lille, France, 2014 and EGAS 47, Riga, Latvia, 2015), на международных конференциях (Besançon, France, 2014), "СПЕСМО" (Dijon, France, 2014), "High Resolution Molecular Spectroscopy (HRMS)", (Dijon, France, 2015). Три доклада были представлены на международной конференции "QuantArm" (Yerevan-Tsaghkadzor, Armenia, 2014), два доклада на конференции по лазерной физике "Laser Physics" (Ashtarak, Armenia, 2013 и 2015), а также на годовых аспирантских отчетах в ИФИ НАН Армении в 2014 - 2016 годах.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 13 работ (в том числе 6 статей в рецензируемых журналах).

**Структура и объем работы:** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Содержание диссертации изложено на 140 страницах, включая 94 рисунков и 13 таблиц. Список литературы содержит 143 наименования.

### **Краткое содержание работы**

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, ее научная новизна и практическая ценность, представлены основные положения, выносимые на защиту, а также кратко изложено содержание работы по главам.

В **первой главе** §1.1 приведено описание и параметры различных непрерывных диодных лазеров со спектральной шириной 1 МГц и с длинами волн  $\lambda = 770$  нм, 780 нм, 794 нм, 852 нм, которые использовались в работе. Приведены параметры использованной экспериментальной аппаратуры: фарадеевский изолятор, катушки Гельмгольца, система регистрации слабых оптических излучений и т.д. В §1.2 приведены конструкции разработанных сверхтонких ячеек с переменной (клиновидной) толщиной столба паров атомов Rb, Cs и K от 20 нм до 1000 нм (Рис.1, 2). Приведены конструкции микроячеек с толщиной столба паров атомов 30 - 40 микрометров. В §1.3 Приведена методика определения толщины наноячейки (то есть толщины зазора между внутренними поверхностями окон наноячейки) с помощью интерференционного метода.



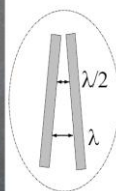
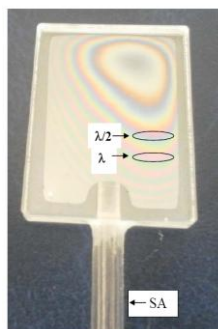
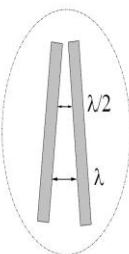
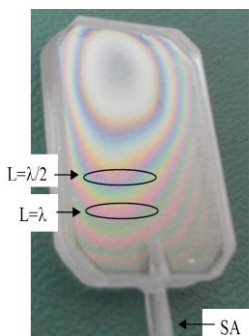


Рис.1. Фотография НЯ, заполненной Cs. Толщина зазора  $L$  в интервале 50-1500 нм; интерференционные полосы образуются при отражении видимого света от внутренних поверхностей окон ячейки. Области толщиной  $L = \lambda/2 = 426$  нм и  $L = \lambda = 852$  нм отмечены овалами. Зазор между внутренними поверхностями клиновидный и схематически показан справа.

Рис.2 Фотография НЯ, заполненной Rb. Интерференционные полосы образуются при отражении видимого света от внутренних поверхностей окон ячейки. Области толщиной  $L = \lambda/2 = 397.5$  нм, и  $L = \lambda = 795$  нм отмечены овалами. Зазор между внутренними поверхностями окон изготовлен клиновидным и схематически показан справа.

Точность определения толщины столба паров атомов составляет  $\pm 10$  нм. В конце Гл.1 приведены выводы и заключения.

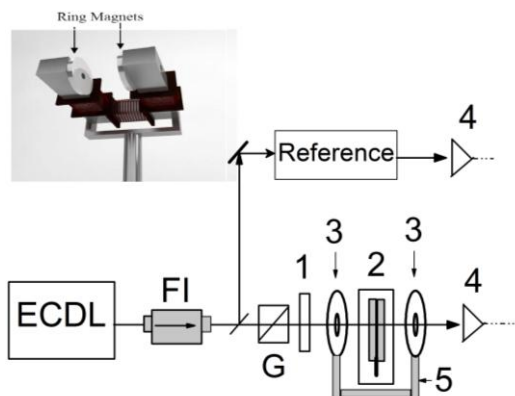


Рис.3 Схема экспериментальной установки. ECDL – диодный лазер; FI – фарадеевский изолятор; 1 – пластина  $\lambda/4$ , G – поляризатор Глана, 2 – НЯ с Cs внутри печи, 3 – постоянные магниты, 4 – фотоприемники, 5 – магнитопровод для усиления магнитного поля, создаваемое постоянными магнитами (показан на вставке), Reference – частотный репер.

Во **второй главе** теоретически рассмотрено поведение атомных переходов изотопов  $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{41}\text{K}$  в интервале магнитных полей от нуля до 5 кГс. Приведены математические выражения описывающие процесс взаимодействия атомных уровней и атомных переходов от величины магнитного поля.

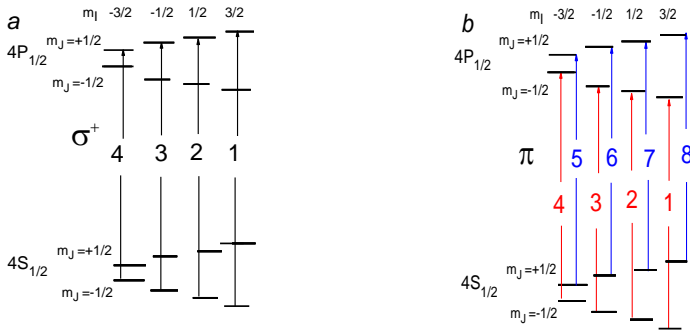


Рис.4. (а). Диаграмма атомных переходов (1 – 4) атома  $^{39}\text{K}$  при излучении с  $\sigma^+$ -поляризацией в режиме ПБС, (б) Диаграмма атомных переходов (1–8) атома  $^{39}\text{K}$  при излучении при линейной поляризации лазера в режиме ПБС.

Разработана численная программа, позволяющая определять частотные положения и вероятности для атомных переходов между нижними и верхними зеемановскими подуровнями в магнитных полях в интервале от нуля до 5 кГс для  $D_{1,2}$ . Особое внимание уделено изотопу  $^{39}\text{K}$ , содержание которого в натуральном калии максимальное (93.25%). Результаты эксперимента были сравнены с теорией.

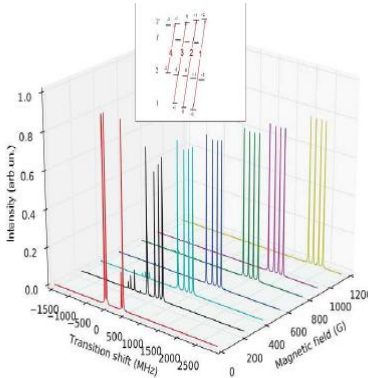


Рис.5 Теоретические кривые для атомных переходов (1 – 4) атома  $^{39}\text{K}$  при излучении с  $\sigma^+$  поляризацией. При больших величинах магнитного поля амплитуды переходов равны.

Показано, что в случае линейной поляризации лазера, при  $B > 400$  Гс спектр пропускания состоит из двух групп переходов и каждая группа содержит, так называемый “направляющий” атомный переход, который показывает асимптотическую величину вероятности всех переходов в своей группе, и величины производных их частотных сдвигов (частотные наклоны) по магнитному полю.

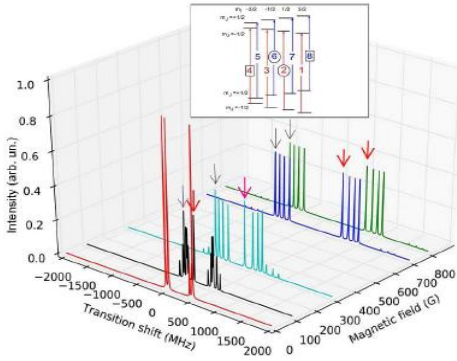


Рис.6 Теоретические кривые атомных переходов 1 – 8 атома 39К при линейной поляризации лазера. При  $B > 400$  Гс спектр пропускания состоит из двух групп переходов и каждая группа содержит, НАП переход, который показывает асимптотическую величину вероятности всех переходов в своей группе. НАП переходы отмечены стрелками.

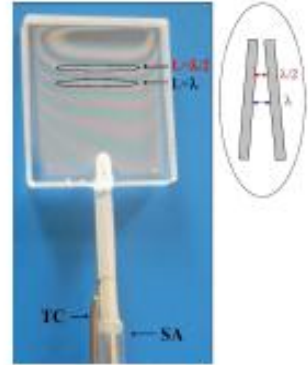


Рис.7 Фотография НЯ, заполнена К. Интерференционные полосы образуются при отражении видимого света от внутренних поверхностей окон НЯ. Области  $L = \lambda/2 = 385$  нм и  $L = \lambda = 770$  нм отмечены овалами. Зазор между внутренними поверхностями окон клиновидный схематически показан справа.

Эти НАП переходы на Рис.6 отмечены стрелками. Как видно, амплитуда этих НАП переходов (то есть их вероятность) не меняется с изменением магнитного поля. Амплитуды (вероятности) остальных атомных переходов асимптотически стремятся к амплитуде НАП. Это с точностью до 2% подтверждается в наших экспериментах. В конце Гл.II приведены выводы и заключения.

В третьей главе приведены результаты по изучению спектров пропускания паров атомов К, Cs и Rb, которые содержатся в нано-ячейках и имеющие толщину столба  $L = \lambda$  и  $L = \lambda/2$ . Во введении отмечено, что в слабых магнитных полях расщепление атомных уровней описывается полным моментом атома  $\mathbf{F} = \mathbf{J} + \mathbf{I}$  и его проекцией  $m_F$ , где  $\mathbf{J} = \mathbf{L} + \mathbf{S}$  полный угловой момента электрона, а  $\mathbf{I}$  магнитный момент ядра. В сильных магнитных полях  $B \gg B_0 = A_{\text{HFS}}/\mu_B$ , где  $A_{\text{HFS}}$  коэффициент связи сверхтонкой структуры для нижнего уровня, а  $\mu_B$  – магнетон Бора, начинается разрыв связи между  $\mathbf{J}$  и  $\mathbf{I}$  и расщепление атомных уровней описывается проекциями  $m_J$  и  $m_I$ . При достижении режима ПБС начинается разрыв связи между  $\mathbf{J}$  и  $\mathbf{I}$  и расщепление атомных уровней описывается проекциями  $m_J$  и  $m_I$ . Для атомов Cs режим ПБС начинает

происходить при полях  $B \gg B_0 = A_{\text{HFS}}/\mu_B \approx 1700$  Гс. Наименьшая величина  $B_0 = A_{\text{HFS}}/\mu_B \approx 165$  Гс достигается для атомов  $^{39}\text{K}$ . Поэтому, для этих атомов ожидалось, что будет зарегистрирован полный режим ПБС уже при относительно небольших магнитных полях  $\sim 1$  кГс, что было подтверждено экспериментально [4].

§3.1 Приведены результаты по изучению спектров пропускания паров атомов  $^{39}\text{K}$ , который содержится в нано-ячейке (Рис.7). Наноячейка имеет толщину столба  $L = \lambda = 770$  нм и  $L = \lambda/2 = 385$  нм. Боковой отросток наноячейки нагревался до температуры 150-160°C. Использовался непрерывный, перестраиваемый по частоте диодный лазер с шириной линии 1 МГц и  $\lambda = 770$  нм.

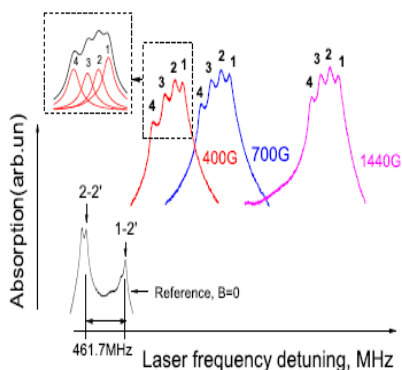


Рис.8 Спектры пропускания атомов  $^{39}\text{K}$  при использовании НЯ с  $L = 385$  нм, при излучении  $\sigma^+$  в зависимости от магнитного поля 400, 700 и 1440 Гс. В спектре регистрируются 1 - 4 переходы. Нижняя кривая-реперная.

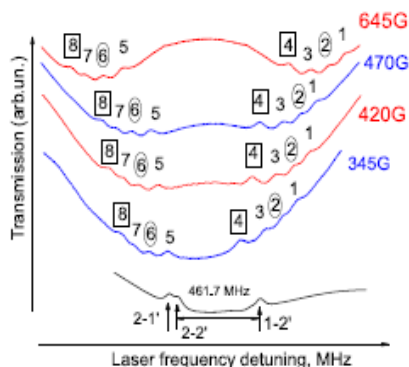


Рис.9 Спектры пропускания атомов  $^{39}\text{K}$  при использовании НЯ с  $L = 770$  нм, при  $\pi$ -излучении в зависимости от магнитного поля 345, 420, 470 и 645 Гс. В спектре регистрируются 1-8 переходы. НАП переходы заключены в прямоугольники, а запрещенные в нулевом магнитном поле заключены в овалы. Внизу - реперная кривая.

Несмотря на большое доплеровское уширение  $\sim 900$  МГц, спектральная ширина линии поглощения атомных переходов при толщине  $L = \lambda/2 = 385$  нм составляла  $\sim 120$  МГц, а также, ОРСС резонансы при толщине  $L = \lambda = 770$  были достаточно узкие  $\sim 30$  МГц. Это позволило зарегистрировать спектры пропускания атомов  $^{39}\text{K}$  в сильных магнитных полях с высоким спектральным разрешением, позволяющим проследить поведение каждого индивидуального атомного перехода.

§3.2 Приведены результаты по изучению спектров пропускания паров атомов  $^{133}\text{Cs}$ , который содержится в НЯ (рис. 1). В слабых магнитных полях расщепление атомных уровней описывается полным моментом атома  $\mathbf{F}$  и его проекцией  $m_F$ . Для атомных переходов между нижними и верхними уровнями должны выполняться правила отбора:  $\Delta F = 0, \pm 1$  и для  $\Delta m_F = 0$  (в случае линейно поляризованного излучения) или  $\Delta m_F = \pm 1$  случае круговой ( $\sigma^+$ ) или ( $\sigma^-$ ) излучений, соответственно. По этим правилам отбора в нулевом магнитном поле атомные переходы  $F_g = 3 \rightarrow F_e = 5 D_2$  линии атомов Cs запрещены (рис.10), поэтому, на этих переходах поглощение или флуоресценция не регистрируются. Впервые экспериментально продемонстрировано, что в интервале магнитных полей 300-2000 Гс, происходит гигантское возрастание вероятности атомных переходов  $F_g = 3 \rightarrow F_e = 5 D_2$  линии атомов Cs во внешних магнитных полях, которые на Рис.10 отмечены цифрами 1'–7'.

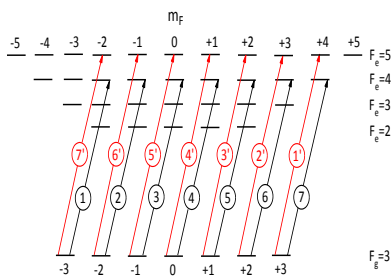


Рис.10. Диаграмма атомных переходов  $F_g = 3 \rightarrow F_e = 4, 5, D_2$  линии атомов Cs, при излучении  $\sigma^+$  переходы  $F_g = 3 \rightarrow F_e = 5$  запрещены при  $B = 0$ , эти переходы 1' – 7' заключены в овалы. При приложении магнитного поля вероятность этих переходов сильно возрастает.

Вероятности этих семи переходов  $F_g = 3, m_F = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 \rightarrow F_e = 5, m_F = -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4$  (правила отбора  $\Delta m_F = +1$  при циркулярно-поляризованном излучении  $\sigma^+$ ) в магнитных полях сильно возрастают и, для двух из семи переходов (на Рис.11 отмечены номерами 6' и 7'), превосходят вероятности остальных разрешенных атомных переходов. При магнитных полях  $B > 5$  кГс вероятности  $F_g = 3 \rightarrow F_e = 5$

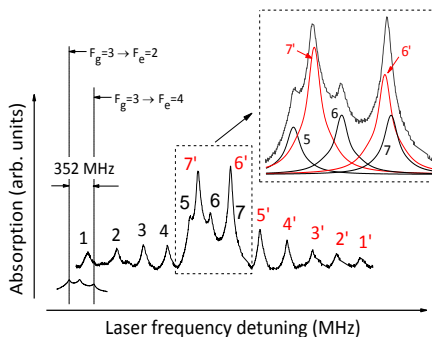


Рис.11 Спектры пропускания атомов Cs,  $D_2$  линии при использовании НЯ с  $L = 385$  нм, при излучении  $\sigma^+$ ,  $B = 920$  Гс, видно, что переходы под номерами 7' и 6' имеют наибольшую амплитуду. Нижняя кривая-реперная.

переходов быстро уменьшаются и стремятся к нулю (см. Рис. 12) Теоретические расчеты хорошо согласуются с экспериментом.

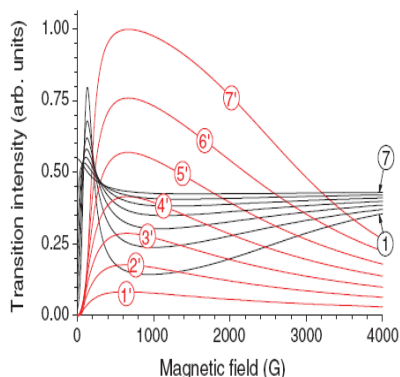


Рис.12 Расчетные кривые для вероятности переходов  $F_g = 3 \rightarrow F_e = 4$  (1-7) и  $F_g = 3 \rightarrow F_e = 5$  (1'-7')  $D_2$  линии атомов Cs во внешних магнитных полях.

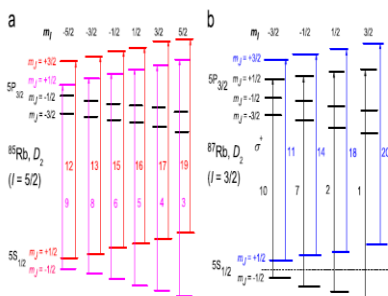


Рис.13 (a) диаграмма атомных переходов атома  $^{85}\text{Rb}$  и (b)  $^{87}\text{Rb}$ ,  $D_2$  линии при излучении с  $\sigma^+$ -поляризацией в режиме ПБС. Всего двадцать атомных переходов.

§3.3 Приведены экспериментальные результаты по изучению спектров пропускания паров изотопов  $^{87}\text{Rb}$  и  $^{85}\text{Rb}$ , линии  $D_2$  во внешних сильных магнитных полях, в случае круговой ( $\sigma^+$ ) поляризации лазерного излучения. Для исследований использовалась нано-ячейка, которая содержит  $^{87}\text{Rb}$  и  $^{85}\text{Rb}$  (Рис. 2). Продемонстрировано, что в сильных магнитных полях  $B > 3\text{кГс}$  в спектре поглощения остаются только 20 атомных перехода показанных на рис. 13, 14, в то время как при

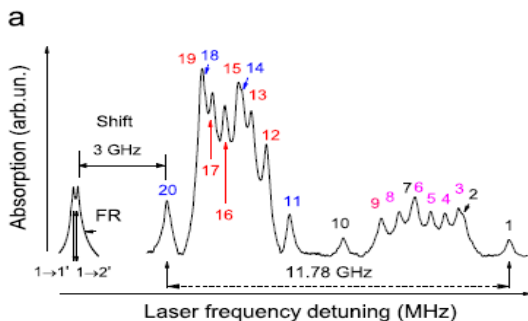


Рис.14 Спектры пропускания атомов  $^{85}\text{Rb}$  и  $^{87}\text{Rb}$ ,  $D_2$  линии НЯ с тлиной  $L = 390$  нм, при излучении с  $\sigma^+$ -поляризацией, магнитное поле  $B = 6850$  Гс, всего двадцать атомных переходов. Кривая в левом углу-реперная.

меньших полях имеется 60 перехода. В случае  $\pi$ - поляризации лазерного излучения в сильных магнитных полях в спектре поглощения также остаются 20 атомных перехода показанных на рис.15, 16 однако их частотное положение от магнитного поля сильно отличается от частотной зависимости в случае  $\sigma^+$  - поляризации лазерного излучения.

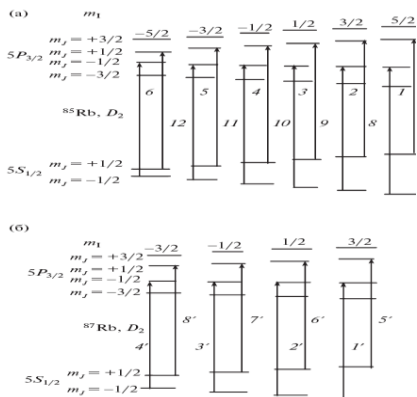


Рис.15 (а) диаграмма атомных переходов атома  $^{85}\text{Rb}$  и (б)  $^{87}\text{Rb}$ ,  $D_2$  линия при излучении с  $\pi$ - поляризацией лазера в режиме ПБС, всего двадцать атомных переходов.

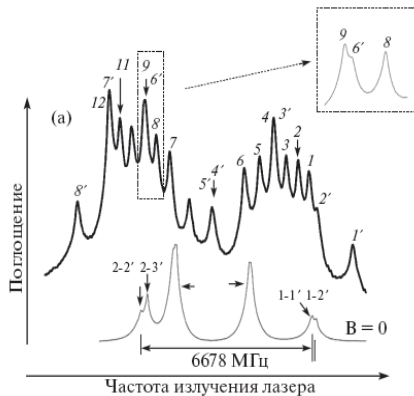


Рис.16 Спектры пропускания атомов  $^{85}\text{Rb}$  и  $^{87}\text{Rb}$ ,  $D_2$  линии НЯ с толщине  $L = 390$  нм, при излучении с  $\pi$ - поляризацией, магнитное поле  $B = 5900$  Гс, всего двадцать атомных переходов, внизу-реперная кривая.

Показано, что по мере роста магнитного поля в спектре пропускания ( $\pi$ )-поляризованного излучения в полях с  $B > 5$  кГс остаются всего 20 атомных переходов, в то время как при слабых полях имеется 64 перехода. В сильных полях переходы образуют две большие группы по 10 атомных переходов в каждой. Идентифицированы четыре атомных перехода (по 2 атомных перехода в изотопах  $^{85}\text{Rb}$  и  $^{87}\text{Rb}$ ), которые в отсутствие магнитного поля запрещены, а в сильных магнитных полях приобретают значительную вероятность. Наблюдается хорошее согласие эксперимента с теорией. В конце Гл.III приведены выводы и заключения.

В четвертой главе приведены экспериментальные результаты по изучению спектров насыщенного поглощения паров атомов рубидия, которые содержатся в микроячейке с толщиной 30-40 микрометров. Впервые продемонстрировано, что в спектре насыщенного поглощения в Rb микроячейках отсутствуют “кросс-овер” резонансы, что позволяет, используя технику насыщенного поглощения, применить Rb

микро-ячейку для исследования индивидуальных атомных переходов атомов Rb  $D_1$  линии в магнитных полях в интервале 30- 6000 Гс. На рис.17(a) приведена диаграмма атомных переходов  $^{85}\text{Rb}$  (шесть переходов) и рис.17 (b) для  $^{87}\text{Rb}$  (четыре перехода),  $D_1$  линии при излучении с круговой поляризацией  $\sigma^+$  в режиме ПБС. Схема эксперимента приведена на рис.18. Излучение накачки направляется на микро-ячейку с парами атомов рубидия, а с помощью зеркала М формируется встречное пробное излучение. Регистрируется спектр пробного излучения который представляет из себя спектр насыщенного поглощения. На рис. 19 приведен спектр пропускания нано-ячейки при толщине  $L = \lambda = 795\text{нм}$  (верхняя кривая). Средняя кривая показывает спектр насыщенного поглощения полученный с помощью микро-ячейки заполненной

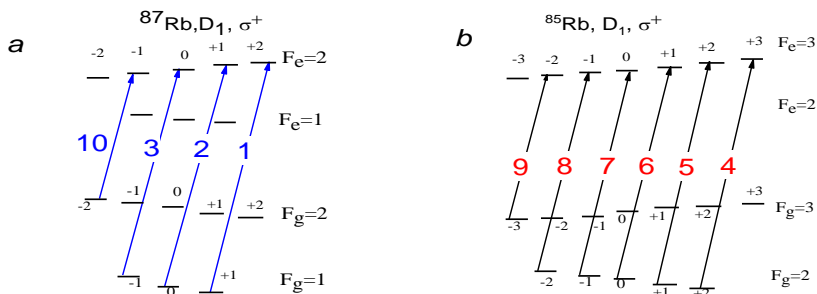


Рис.17. Диаграмма атомных переходов атома  $^{85}\text{Rb}$  (a) и (b)  $^{87}\text{Rb}$ ,  $D_1$  линии при излучении с  $\sigma^+$ -поляризацией в режиме ПБС. Всего десять атомных переходов.

рубидием и с толщиной  $L = 30$  микрон. Магнитное поле  $B = 5600$  Гс. Как видно в спектре насыщенного поглощения формируются узкие оптические резонансы. Из сравнения видно, что спектр насыщенного поглощения также точно показывает частотное положение всех десяти атомных  $1 - 10$  атомных переходов Rb  $D_1$  линии. Узкие оптические резонансы сильно смещенные по частоте являются удобными для применения в стабилизации частоты лазера на сильно смещенных атомных частотах. Отметим, что изготовление микро-ячейки технически проще, чем изготовление нано-ячейки, поэтому применение техники насыщенного поглощения проще, чем методы основанные на применении нано-ячеек. В конце Гл.IV приведены выводы и заключения.



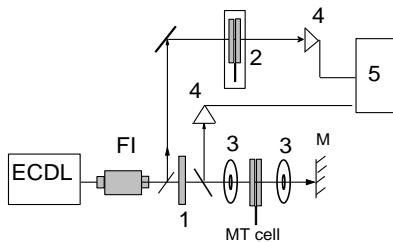


Рис.18. Схема экспериментальной установки. ECDL – диодный лазер, FI – фарадеевский изолятор, 1– пластина  $\lambda/4$ , MT – микроячейка заполненная Rb, 3 – постоянные магниты, 4 – фотоприемники, M – зеркало для формирования схемы насыщенного поглощения, 2 – узел для формирования частотного репера.

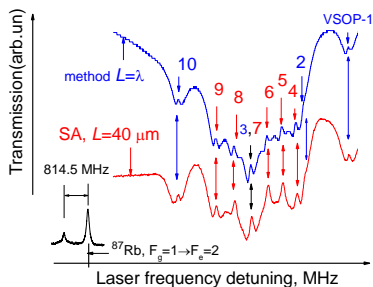


Рис.19. Верхняя кривая показывает спектр пропускания наноячейки при толщине  $L = \lambda = 795$  нм, средняя кривая показывает спектр насыщенного поглощения полученный с помощью микро-ячейки. Магнитное поле  $B = 5600$  Гс, нижняя кривая реперная.

## В заключении сформулированы основные научные результаты

работы:

1. Используя наноячейку с толщиной  $L = 426$  нм, впервые продемонстрировано, что при магнитных полях в интервале 300-3200 Гс, происходит гигантское возрастание вероятности атомных переходов  $F_g = 3 \rightarrow F_e = 5$   $D_2$  линии атомов Cs [1]. Вероятности этих семи переходов  $F_g = 3, m_F = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 \rightarrow F_e = 5, m_F = -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4$  (правила отбора  $\Delta m_F = +1$  при циркулярно-поляризованном излучения  $\sigma^+$ ) в магнитных полях сильно возрастают и, для двух из семи переходов, превосходят вероятности остальных разрешенных атомных переходов.

2. Экспериментально исследованы атомные переходы  $^{39}\text{K}$   $D_1$  линии, в магнитных полях с помощью наноячейки с толщинами  $L = \lambda/2$  и  $L = \lambda$  (385 нм и 770 нм, соответственно) в случае круговой ( $\sigma^+$ ) и линейной ( $\pi$ ) поляризаций лазерного излучения [4]. Впервые продемонстрирован абсолютный разрыв связи полного углового момента электрона  $\mathbf{J}$  и магнитного момента ядра  $\mathbf{I}$ , который происходит при полях  $B \gg 165$  Гс (полный режим Пашена-Бака на сверхтонкой структуре).

3. Показано, что при линейной ( $\pi$ ) поляризации лазера, при  $B > 400$  Гс спектр пропускания  $^{39}\text{K } D_1$  линии состоит из двух групп переходов и каждая группа содержит, так называемый “направляющий” атомный переход (НАП), который показывает асимптотическую величину вероятности всех переходов в своей группе, и величины производных их частотных сдвигов (частотные наклоны) по магнитному полю [4].

4. Экспериментально показано, что в  $B > 4$  кГс полях, спектр Rb  $D_2$  линии состоит из двух атомных групп перехода и в каждой группе есть 6 перехода от  $85\text{Rb}$  и 4 перехода от  $87\text{Rb}$ , то есть в общем 20 переходов [3], [5]. Их частотные дифференциалы и вероятности стремятся к асимптотическим значениям, что свидетельствует о режиме ПБС. Для поляризации существуют четыре асимптотических значений, а для поляризации две. Для ПБС режимов приведены соответствующие диаграммы.

5. Впервые продемонстрировано, что в спектре насыщенного поглощения в микро-ячейках с Rb и с толщиной 30-40 микрометров отсутствуют “кросс-овер” резонансы, что позволяет, используя технику насыщенного поглощения, применить Rb микро-ячейку для исследования индивидуальных атомных переходов в магнитных полях в интервале 30-6000 Гс [2].

6. Впервые построены теоретические кривые зависимости частотных положения и вероятности перехода для каждого индивидуального атомного перехода между зеемановскими подуровнями  $D_1$  и  $D_2$  линий изотопов  $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{41}\text{K}$  в интервале магнитных полей от нуля до 5000 Гс [6].

### Цитируемая литература

ц 1. D. Budker, D. F. Kimball, D. P. De Mille, “Atomic Physics”, Oxford Univ. Press, Great Britain, 2004.

ц 2. M. Auzinsh, D. Budker, S. M. Rochester, “Optically Polarized Atoms: Understanding Light-Atom Interactions”, Oxford University Press, ISBN 978-0-19-956512-2 (2011).

ц3. D. Sarkisyan, D. Bloch, A. Papoyan, M. Ducloy, Optics Commun., 200, pp.201-208 (2001).

**Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. A. Sargsyan, A. Tonoyan, G. Hakhumyan, A. Papoyan, E. Mariotti, D. Sarkisyan “Giant modification of atomic transitions probabilities induced by magnetic field: forbidden transitions become predominant” **Laser Physics Letters**, **11**, 055701 - 055706 (2014).

2. A. Sargsyan, A. Tonoyan, R. Mirzoyan, D. Sarkisyan, A. Wojciechowski, W. Gawlik, “Saturated-absorption spectroscopy revisited: atomic transitions in strong magnetic fields ( $> 20$  mT) with a micrometer-thin cell” **Optics Letters**, **39**, 2270 (2014).

3. A. Sargsyan, A. Tonoyan, H. Hakhumyan, Y. Pashayan- Leroy, C. Leroy, D. Sarkisyan “Atomic transitions of Rb,  $D_2$  line in strong magnetic fields: hyperfine Paschen-Back regime”, **Optics Communications**, **334**, 208 - 213 (2015).

4. A. Sargsyan, A. Tonoyan, G. Hakhumyan, C. Leroy, Y. Pashayan-Leroy and D. Sarkisyan “Complete hyperfine Paschen-Back regime at relatively small magnetic fields realized in potassium nano-cell”, **Europhysics Letters**, **110**, 23001 (2015).

5. A. Sargsyan, G. Hakhumyan, A. Tonoyan, P. A. Petrov and T. A. Vartanyan “Study of the Rb  $D_2$ -line splitting in a strong transverse magnetic field with doppler-free spectroscopy in a nanocell”, **Optics and Spectroscopy**, **119** (2), 202 – 207 (2015).

6. A. Y. Tonoyan “Theoretical investigation of  $^{41}\text{K}$  states behavior under strong magnetic field and pi polarized laser field”, **Reports NAS RA**, **116** (1), 48-56, (2016).

7. A. Tonoyan, A. Sargsyan, G. Hakhumyan, Y. Pashayan-Leroy, C. Leroy, D. Sarkisyan “Behaviour of atomic transitions of Rb,  $D_2$  line in strong magnetic fields” **EGAS 46**, Lille, France, July 1-4, 2014 Book of Abstracts, P-26, page 84.

8. A. Tonoyan, A. Sargsyan, G. Hakhumyan, C. Leroy, Y. Pashayan-Leroy and D. Sarkisyan “Study of atomic transitions of  $^{39}\text{K}$  isotope on  $D_1$  line in strong magnetic fields” **EGAS 47**, Riga, Latvia, July 14-17, 2015 Book of Abstracts, P-40, page 106.

9. A. Amiryan, A. Sargsyan, A. Tonoyan, Y. Pashayan-Leroy, C. Leroy and D. Sarkisyan “Study of atomic transitions of Rb  $D_2$  line in strong transverse magnetic fields by an optical half-wavelength cell” **EGAS 47**, Riga, Latvia, July 14-17, 2015 Book of Abstracts, P-41, page 107.

10. A. Sargsyan, G. Hakhumyan, A. Tonoyan, D. Sarkisyan, “Behavior of  $^{39}\text{K}$  atoms transitions on  $D_1$  line in external magnetic field” **QuantArm2014 Internat. Conference and Workshop**, Yerevan–Tshaghkadzor, Armenia September 22-26, Book of Abstracts, page 38.

11. A. Tonoyan, A. Sargsyan, G. Hakhumyan, D. Sarkisyan, “Study of Cs  $D_2$  Line,  $F_g = 3 \rightarrow F_e = 5$  atomic transitions in a strong external magnetic field” **QuantArm 2014 Internat. Conference and Workshop**, Yerevan–Tshaghkadzor, Armenia September 22-26, Book of Abstracts, page 60.

12. R. Mirzoyan, A. Tonoyan, A. Sargsyan, D. Sarkisyan, “Saturated-absorption spectroscopy in Rb filled micrometer-thin cell: Applications in strong magnetic fields” **QuantArm 2014 Internat. Confer. and Workshop**, Yerevan–Tshaghkadzor, Armenia, September 22-26, Book of Abstracts, page 53.

13. C. Leroy, Y. Pashayan-Leroy, A. Sargsyan, A. Tonoyan, G. Hakhumyan, D. Sarkisyan, “On decoupling of total electronic angular momentum and nuclear spin for  $^{39}\text{K}$  atom” **High Resolution Molecular Spectroscopy**, Dijon, France, August 24-28, Book of Abstracts, page 103.

## ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

### **«Օպտիկական և մագնիսա-օպտիկական երևույթների ուսումնասիրումը միկրո- և նանո- մետրական հաստությամբ ատոմական շերտերում»**

Կալիումի, ցեզիումի և ռուբիդիումի ատոմական գոլորշիները լայնորեն օգտագործվում են օպտիկական և մագնիսա-օպտիկական պրոցեսներն ուսումնասիրելու, ինչպես նաև ատոմների սառեցման, Բոզե – Այնշթայնյան կոնդենսատների և այլնի համար: Այդ իսկ պատճառով արտաքին մագնիսական դաշտերում ատոմական մակարդակների և անցումների վարքի մանրամասն իմացությունը շատ կարևոր է և հետաքրքիր: Կալիումի, ցեզիումի և ռուբիդիումի ատոմական գոլորշիներ պարունակող յուրահատուկ միկրո- և նանո- մետրական հաստությամբ բջիջների վրա հիմնված հատուկ տեխնիկական թույլ է տալիս ուսումնասիրել ատոմական անցումների վարքը (այսինքն՝ հավանականությունները և հաճախային դիրքերը) 0 – 10000 Գ արտաքին մագնիսական դաշտերում: Ատենախոսության հիմնական արդյունքներն են՝

1. Օգտագործելով ռեզոնանսային ալիքի կիսաերկարությամբ բջիջ ( $L = 426$  նմ)՝ առաջին անգամ փորձնականորեն ուսումնասիրվել են մագնիսական դաշտով մակաձված Cs -ի  $D_2$  գծի  $6S_{1/2}$ ,  $F_g = 3 \rightarrow 6P_{3/2}$ ,  $F_e = 5$  անցումների, որոնք դաշտի բացակայության դեպքում ջոկման կանոններով արգելված են, հավանականությունների հսկայական փոփոխությունները [1]: Շրջանային բևեռացված լազերային ճառագայթման դեպքում այս  $F_g = 3$ ,  $m_F = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 \rightarrow F_e = 5$ ,  $m_F = -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4$  յոթ անցումների հավանականությունները իրիստ աճում են և, նույնիսկ, դրանցից երկուսի հավանականությունները 200–3200 Գ դաշտերում գերազանցում են մնացած բոլոր անցումների հավանականությունները՝ ներառյալ ի սկզբանե թույլատրելի անցումների հավանականությունները:

2. Օգտագործելով  $L = \lambda/2$  և  $L = \lambda$  (համապատասխանաբար 385 նմ և 770 նմ) հաստությամբ նանո-բջիջ՝ արտաքին մագնիսական դաշտերում իրագործվել է  $^{89}\text{K}$ ,  $D_1$  գծի ատոմական անցումների հետազոտում՝ շրջանային և գծային բևեռացված

լազերային դաշտերում: Համեմատաբար թույլ  $B \gg 165$  Գ դաշտերում ցույց է տրվել էլեկտրոնային լրիվ անկյունային մոմենտի  $J$  և միջուկային սպինի  $I$  քվանտային թվերի ամբողջական տրոհում (մաքուր գերնուրբ կառուցվածքի Պաշեն-Բակի ռեժիմ (ԳՊԲ)) [4]:

3. Ցույց է տրվել, որ  $\pi$ - բևեռացված լազերային ճառագայթման և  $B > 400$  Գ դաշտերում  $^{39}\text{K}$   $D_1$  գծի կլանման սպեկտրը բաղկացած է ատոմական անցումների երկու խմբից և յուրաքանչյուր խումբ պարունակում է հատուկ «Ուղղորդող Անցում» (ՈւԱ) [4]: ՈւԱ-ի հաճախային շեղման դիֆերենցիալի և հավանականության արժեքները հանդիսանում են ասիմպտոտիկ իրենց խմբում մնացած անցումների համար:

4. Փորձականորեն ցույց է տրվել որ  $B > 4$  կԳ դաշտերում և շրջանային  $\sigma+$  ու գծային  $\pi$  բևեռացումների համար  $\text{Rb } D_2$  գծի կլանման սպեկտրը բաղկացած է երկու ատոմական անցումների խմբերից և յուրաքանչյուր խմբում կա 6 անցում  $^{85}\text{Rb}$ -ից և 4 անցում  $^{87}\text{Rb}$ -ից, այսինքն ընդհանուր 20 անցում [3], [5]: Նրանց հաճախային դիֆերենցիալները և հավանականությունները ձգտում են ասիմպտոտիկ արժեքի, ինչը վկայում է ԳՊԲ ռեժիմը:  $\sigma+$  բևեռացման համար կան չորս ասիմպտոտիկ արժեքներ, իսկ  $\pi$  բևեռացման համար՝ երկու: ԳՊԲ ռեժիմների համար համապատասխան դիագրամները բերված են:

5. Առաջին անգամ ցույց է տրվել, որ 30-40 մկմ հաստությամբ միկրոբջջի օգնությամբ ստացված հազեցման կլանման ( $Z\gamma$ ) սպեկտրերում բացակայում են խաչաձև անցման ռեզոնանսները [2]: Դա թույլ է տալիս  $Z\gamma$ -ն մագնիսական դաշտի մեծ 30-6000 Գ տիրույթներում կիրառել  $\text{Rb}$ -ի առանձին ատոմական անցումների քանակական ուսումնասիրության համար:

6. Առաջին անգամ տեսականորեն հաշվվել են  $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  և  $^{41}\text{K}$ -ի առանձին ատոմական անցումների  $D_1$  և  $D_2$  գծերի Ջեեմանյան ենթամակարդակների հաճախային դիրքերն ու հավանականությունները մագնիսական դաշտի մեծ 0-5000 Գ տիրույթի համար [6]:

## SUMMARY

Ara Yervand Tonoyan

### “Study of optical and magneto - optical processes in cesium, rubidium and potassium micro- and nano- metric thin atomic layers”

Thesis on Ph.D scientific degree in Physics and Mathematics in specialty 01.04.21 Laser Physics

Potassium, cesium, and rubidium atoms are widely used for the investigations of optical and magneto - optical processes in atomic vapors, as well as for cooling atoms, Bose–Einstein condensation, etc. Therefore, detailed knowledge of the behavior of atomic levels and atomic transitions in external magnetic fields is of great importance and interest. The special technique based on the implementation of unique micro- and nano- metric thin cells filled with the potassium, cesium, and rubidium atomic vapors allows the study of the behavior (i.e. the probabilities and the frequency positions) of the atomic transitions in external magnetic fields in the range of 0 - 10000 G. In the frame of the Thesis the main obtained results are the following:

1. The magnetic field induced giant modification of the probabilities of  $6S_{1/2}, F_g = 3 \rightarrow 6P_{3/2}, F_e = 5$  transitions of the Cs  $D_2$  line, which are forbidden in zero magnetic field, is observed experimentally for the first time using a half-wave-thick cell (the length along the beam propagation axis  $L = 426$  nm) filled with the Cs [1]. For the case of circularly  $\sigma^+$  polarized laser radiation the probabilities of seven transitions  $F_g = 3, m_F = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 \rightarrow F_e = 5, m_F = -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4$  (the selection rule is  $\Delta m_F = +1$ ) increase dramatically and even the probabilities of two transitions among them become the largest (taken into account initially allowed transitions also) in a wide-range of magnetic field 200 - 3200 G.

2. Experimental studies of the atomic transitions of the  $^{39}\text{K}, D_1$  line in magnetic fields have been realized using nano-cell with the thickness of  $L = \lambda/2$  and  $L = \lambda$  (385 nm and 770 nm, respectively) in the case of circular  $\sigma^+$  and linear  $\pi$ -polarized laser radiations. A complete decoupling of the total electronic angular momentum  $\mathbf{J}$  and nuclear magnetic momentum  $\mathbf{I}$  has been demonstrated at relatively small magnetic fields  $B \gg 165$  G (complete Hyperfine Paschen-Back (HPB) regime) [4].

3. It has been shown that in the case of  $\pi$ -polarized laser radiation and  $B > 400$  G, the absorption spectrum of the  $^{39}\text{K } D_1$  line consists of two groups and each group contains specific “Guiding Transition” (GT) [4]. The values of the frequency slope and the probability of GT are asymptotic for all other transitions in the group.

4. It is experimentally demonstrated that at  $B > 4$  kG and in the case of circularly  $\sigma+$  and linearly  $\pi$  polarized radiation the absorption spectrum of the Rb  $D_2$  line consists of two groups of atomic transitions and each group consists of 6 transitions of  $^{85}\text{Rb}$  and 4 transitions of  $^{87}\text{Rb}$ , in total 20 transitions [3]. Their frequency slopes within each group, as well as the probabilities tend to the asymptotic values which is the manifestation of HPB regime. There are four different asymptotic values for the  $\sigma+$  polarization and two different asymptotic values for the  $\pi$  polarization for the probabilities. Diagrams for the case of HPB regime are plotted.

5. It is demonstrated for the first time that in the saturated-absorption (SA) spectra obtained using microcells with the thicknesses of 30-40 micrometers the cross-over resonances are absent [2]. This allows application of SA technique for quantitative studies of the Rb individual atomic transitions in a wide range of magnetic fields 30–6000 G.

6. For the first time it has been theoretically calculated the frequency positions and the probabilities for the individual atomic transitions between Zeeman sublevels for  $D_1$  and  $D_2$  lines of the isotopes of  $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{41}\text{K}$  in a wide-range magnetic fields 0 – 5000 G [6].