

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Միրզոյան Ռաֆայել Կամոյի

ՌՈՒԲԻԴԻՈՒՄԻ ԱՏՈՄԱԿԱՆ ԳՈԼՈՐՇԻՆԵՐՈՒՄ ԿՈՀԵՐԵՆՏ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԲԻՔՐՈՄԱՏԻԿ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅՍՄԱՆ
ԴԱՇՏՈՒՄ

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

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան-2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Мирзоян Рафаэль Камоевич

ИССЛЕДОВАНИЕ КОГЕРЕНТНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПАРАХ АТОМОВ РУБИДИЯ В
ПОЛЕ БИХРОМАТИЧЕСКОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

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

Ереван – 2013

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական
Հետազոտությունների Ինստիտուտում
Գիտական ղեկավար

Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր,
Դ.Հ. Սարգսյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր,
պրոֆեսոր Ռ.Բ. Ալավերդյան
Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու
դոցենտ Հ.Գ. Կանեցյան

Առաջատար կազմակերպություն՝

Հայ-Ռուսական (Սլավոնական)
համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2013 թ. հունիսի 4-ին, ժամը
14⁰⁰-ին, ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական Հետազոտությունների Ինստիտուտում (0203 ք.
Աշտարակ-2, ՀՀ ԳԱԱ ՖՀԻ) ԲՈՀ-ի Ֆիզիկայի-049 մասնագիտական խորհրդում:

Ատենախոսությունը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Ատենախոսության սեղմագիրը առաքված է 2013 թ. մայիսի 3-ին

Մասնագիտական խորհրդի գիտական

քարտուղար, Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ,



Վ.Պ. Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Институте Физических Исследований НАН РА

Научный руководитель:

доктор физ.-мат. наук,
Д.Г. Саркисян

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук,
профессор Р.Б. Алавердян
кандидат физ.-мат. наук
доцент Э.Г. Канемян

Ведущая организация:

Российско-Армянский
(Славянский) университет

Защита диссертации состоится 4-го июня 2013 г., в Институте Физических Исследований
НАН РА (0203, г. Аштарак-2 ИФИ НАН РА) на заседании Специализированного совета
ВАК Физика-049.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат диссертации разослан 3-го мая, 2013 г.

Ученый секретарь специализированного совета,
Канд. физ.-мат. наук, доцент



В.П. Калантарян

Актуальность темы.

Продолжаются интенсивные исследования когерентных процессов в атомарных средах, таких как, когерентное пленение населенности (КНП), и электромагнитно-индуцированной прозрачности (ЭИП), что обусловлено их широким применением: возможностью формировать сверхузкие оптические резонансы; созданием высокочувствительных магнитометров; возможностью контролировать скорость света, что важно для оптической записи информации; в задачах квантовой коммуникации и др. [ц1,ц2,ц3]. Для этого используются непрерывные диодные лазеры и ячейки сантиметровой длины, содержащие пары атомов рубидия и цезия. С практической точки зрения, важной задачей является уменьшение размеров применяемых ячеек, что позволит создать компактные приборы на основе когерентных эффектов.

В 2002 году была опубликована работа [ц4], в которой было показано, что при использовании двух лазерный излучений в конфигурации частот близкой к той, что используется в процессах КНП и ЭИП возможно формировать резонанс N-типа, параметры которого, в ряде случаев, предпочтительнее чем у этих резонансов, при этом также используются доступные ячейки сантиметровой длины, содержащие пары атомов металлов, с добавлением в ячейки буферного газа [ц5]. Также, как и для ЭИП-резонансов, с практической точки зрения, важной задачей является уменьшение размеров ячеек применяемых для формирования резонанса N-типа.

Полученные предварительные результаты указывали на то, что можно было ожидать, успешного применения тонких и сверхтонких ячеек, содержащих пары атомов металла, для формирования ЭИП-резонансов и резонансов N-типа с хорошими параметрами, необходимыми для их дальнейшего применения. Заметим, что, поскольку, для формирования ЭИП-резонансов в ячейках субмикронной толщины в литературе (до начала выполнения диссертационной работы) было всего 2 публикации, а для формирования резонансов N-типа в тонких ячейках эта информация полностью отсутствовала, представляется важным, как с научной точки зрения, так и для практических применений исследование этих задач.

Целью работы является детальное изучение формирования ЭИП-резонанса и резонанса N-типа в сверхтонких (20 нм — 1000 нм) и тонких (10 — 700 мкм) ячейках, заполненных парами атомов Rb, в поле излучения двух узкополосных непрерывных лазеров (связывающего, V_C и пробного, V_P). В частности, представлялось важным изучение влияния лазерной интенсивности, температуры и плотности атомов, столкновений атомов со стенками ячеек. Также, практический интерес представляло изучение ЭИП-резонанса и резонанса N-типа во внешних магнитных полях.

Для реализации этих целей были поставлены следующие задачи:

1. Разработка отпаянных тонких и сверхтонких ячеек, содержащих пары Rb, с возможностью плавного изменения толщины столба паров в интервале 20 нм - 2 мм.
2. Исследование различных Λ -систем в парах атомов Rb, $D_{1,2}$ линий для формирования узких ЭИП- и N-типа -резонансов в зависимости от толщины L в интервале 20 нм - 2 мм.
3. Исследование влияния внешнего магнитного поля на ЭИП-резонансы в ^{85}Rb и ^{87}Rb .

Научная новизна:

1. Впервые зарегистрирован резонанс электромагнитно-индуцированной прозрачности в нано-ячейке заполненной парами атомов Rb при толщине столба паров $L=\lambda=795$ нм на D_1 линии Rb с высоким контрастом в 40%. ЭИП-резонанс зарегистрирован и при рекордно малой толщине меньшей $L=\lambda/2=397$ нм. Экспериментальные результаты хорошо согласуются с теорией.

2. Продемонстрировано, что добавление буферного газа в нано-ячейку с парами рубидия, позволяет значительно увеличить (по сравнению с нано-ячейкой без буферного газа) частотную область перестройки ЭИП-резонанса при толщине столба паров атомов $L=\lambda=795$ нм.

3. Для атомов ^{85}Rb впервые исследовано расщепление ЭИП-резонанса на 5 компонент в тонких ячейках, и в сильных продольных магнитных полях вплоть до 1700 Гс. Показано, что при магнитных полях > 1000 Гс начинает проявляться режим Пашена-Бака на сверхтонкой структуре (ПБС).

4. Впервые зарегистрирован контрастный ($\sim 10\%$) резонанс N-типа с применением тонкой 40 мкм- ячейки заполненной Rb и буферным газом неонем (~ 100 Торр).

5. Впервые исследовано расщепление резонанса N-типа на 5 компонент (для атомов ^{85}Rb) в тонких ячейках с буферным газом в сильных продольных магнитных полях вплоть до 2200 Гс, и, также, выявлен ПБС режим при полях > 1000 Гс.

Практическая ценность работы:

1. Узкие и высоконтрастные оптические ЭИП-резонансы, формируемые в столбах паров атомов толщиной менее 800 нм могут быть успешно применены в практических задачах, в которых требуется миниатюризация.

2. Используя расщепление ЭИП-резонанса с применением 30 мкм-ячейки заполненной Rb, в сильных магнитных полях возможно формирование узких ЭИП-резонансов (демонстрирующих уменьшение поглощения пробного излучения) в широком интервале частот в несколько ГГц (смещенных относительно атомных переходов при нулевом магнитном поле).

3. Используя расщепление резонанса N-типа с применением 40 мкм-ячейки заполненной Rb и буферным газом, в сильных магнитных полях возможно формирование узких резонансов N-типа (демонстрирующих увеличение поглощения пробного излучения) в широком интервале частот, смещенных относительно атомных переходов при нулевом магнитном поле на 1 – 4 ГГц.

4. Узкие резонансы N-типа, формируемые в спектре пропускания 40 мкм-ячейки заполненной Rb и буферным газом позволяют осуществлять измерение как однородных, так и сильно-неоднородных магнитных полей (с 40 $\mu\text{м}$ - пространственным разрешением) в интервале величин B от 30 Гс до 2200 Гс.

Основные защищаемые положения:

1. В спектре пропускания паров атомов Rb D_1 линии, заключенных в нано-ячейку с толщиной столба $L = \lambda = 795$ в поле излучения двух непрерывных лазеров, один из которых имеет фиксированную частоту (связывающий лазер ν_C), а второй - с перестраиваемой частотой (пробный ν_P), формируется ЭИП-резонанс с высоким контрастом в 40%. ЭИП-резонанс регистрируется и при рекордной малой толщине меньшей $L = \lambda/2 = 397$ нм. Экспериментальные результаты хорошо согласуются с теорией. Добавление буферного газа в нано-ячейку с парами рубидия, позволяет значительно увеличить (по сравнению с нано-ячейкой без буферного газа) частотную область перестройки ЭИП-резонанса.

2. В сильных продольных магнитных полях вплоть до 1700 Гс происходит расщепление ЭИП-резонанса для атомов ^{85}Rb (заключенных в микро-ячейку с толщиной столба $L = 30$ мкм) на 5 компонент. При использовании магнитных полей > 1000 Гс начинает проявляться режим Пашена-Бака на сверхтонкой структуре атомов изотопа ^{85}Rb .

3. В спектре пропускания паров атомов Rb D_1 линии (заключенных в микро-ячейку с толщиной столба $L = 40$ мкм и с добавлением ~ 100 Торр буферного газа неона) в поле излучения двух непрерывных лазеров, один из которых имеет фиксированную частоту ν_C , а второй - перестраиваемую частоту ν_P , формируется резонанс N-типа с контрастом в 10%, который демонстрирует увеличение поглощения излучения ν_P .

4. В сильных продольных магнитных полях вплоть до 1700 Гс происходит расщепление резонанса N-типа для атомов ^{85}Rb (заключенных в микро-ячейку с толщиной столба $L = 40$ мкм, и с добавлением ~ 100 Торр газа неона) на 5 компонент. При использовании магнитных полей > 1000 Гс начинает проявляться режим Пашена-Бака на сверхтонкой структуре.

В работе основным методом исследований являлся эксперимент; экспериментальные результаты сравнивались с теоретическими исследованиями, проведенными соавторами работ [2-19].

Апробация работы. Полученные результаты докладывались на международных конференциях по лазерной и атомной физике - [13-19] European Conference of Physics EGAS - 44 (Gotenborg, Sweden, 2012), XVI, XVII Internat. School of Quant. Electronic (Nessebar, Bulgaria 2010 and Nessebar, Bulgaria 2010), на Республиканских Конференциях "Лазерная Физика- 2009, 2010, 2011, 2012" и нанаучных семинарах ИФИ НАН РА.

Публикации. По теме диссертации опубликована 19 работа (в том числе 12 статей в рецензируемых журналах).

Структура и объем работы: Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Содержание диссертации изложено на 143 страницах, включая 70 рисунков и 1 таблицу. Список литературы содержит 148 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**: Приведено детальное теоретическое объяснение эффекта электромагнитно-индуцированной прозрачности (ЭИП). Приведен обзор работ по ЭИП в парах атомов металлов. Приведены выражения, характеризующие процесс ЭИП: так, ширина $\gamma_{\text{ЭИП}} \approx 2G_{21} + \Omega_c^2 / \gamma_N$ [ц1], где G_{21} – скорость поперечной релаксации между нижними уровнями Λ -системы, Ω_c – частота Раби связывающего лазера. Отношение поглощения $\alpha(\Omega_c)$ на частоте ν_r , на которой наблюдается ЭИП, к поглощению $\alpha(0)$ в отсутствие связывающего излучения, при малой интенсивности пробного излучения и нулевой расстройке можно описать выражением: $\alpha(\Omega_c)/\alpha(0) = K/(1 + \Omega_c^2/4\Gamma_{21}\gamma_N)$, где K – константа [ц1]. Из этого выражения следует, что для формирования контрастного ЭИП-резонанса должно выполняться условие $\Omega_c^2 \gg 4G_{21}\gamma_N$. Приведено описание и параметры различных непрерывных диодных лазеров со спектральными ширинами 1 - 10 МГц и длинами волн $\lambda = 780, 794$, нм, которые использовались в работе; описаны параметры использованной экспериментальной аппаратуры: фарадеевский изолятор, катушки Гельмгольца, система регистрации слабых оптических излучений и другая использованная техника. Приведены конструкции используемых нано-ячеек с переменной толщиной столба паров атомов Rb (или Cs) от 30 нм до 2000 нм (Рис.1). Приведены также конструкции тонких ячеек с толщиной столба паров атомов от нескольких мкм до нескольких мм (Рис.2).

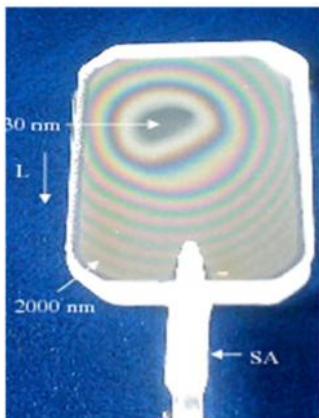


Рис.1. Фотография нано-ячейки с переменной (клиновидной) толщиной столба паров атомов Rb от 30 нм до 2000 нм (стрелками показаны эти области).

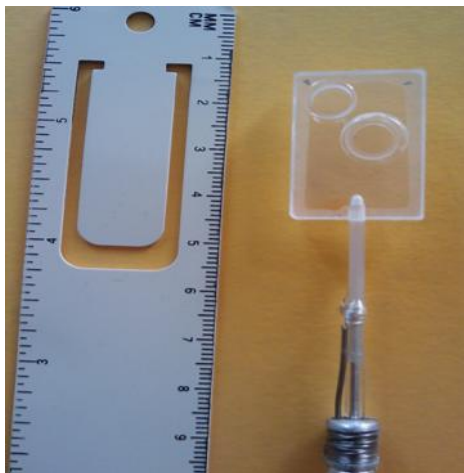


Рис.2. Фотография тонкой ячейки с тремя разными областями столба паров атомов Rb: а) $L = 2$ мм (вверху); б) 500 $\mu\text{м}$ (в середине); в) в нижней части ячейки в интервале 1–50 мкм.

На Рис.3 приведена схема установки для исследования процессов формирования ЭИП-резонанса и резонанса N-типа. Приведены экспериментальные результаты по изучению ЭИП-резонанса в рубидиевой нано-ячейке при толщине столба паров атомов $L=\lambda=795$ нм на Λ -системе D_1 линии Rb. Впервые показано, что для ЭИП-резонанса достигается большой контраст $\sim 40\%$, при спектральной ширине 25 МГц (Рис.4). На рис.4 показан также оптический резонанс селективный по атомным скоростям (ОРСС). Λ -система уровней атомов ^{85}Rb и конфигурация излучений с частотами ν_C и ν_P показана на вставке рис.4. Мощности связывающего и пробного лазеров составляли 20 мВт и 0.1 мВт, соответственно (при диаметре пучков 1.5 мм).

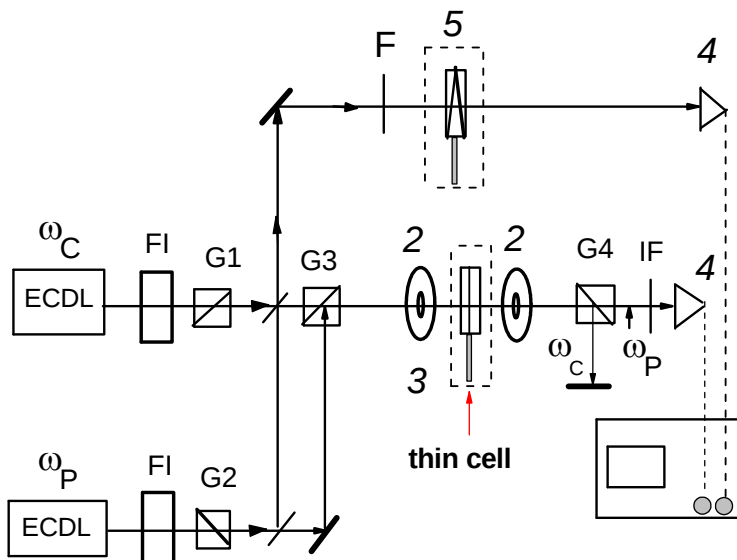


Рис.3. Схема установки для исследования процессов формирования ЭИП-резонанса и резонанса N-типа. ECDL- узкополосный диодный лазер; FI- Фарадеевский изолятор; $G_{1,2,3,4}$ - поляризаторы Глана; 2-кольцевой магнит, F-оптический фильтр; 3 – тонкая и сверхтонкая ячейки; ω_C и ω_P – частоты излучений связывающего и пробного лазеров.

ЭИП-резонанс зарегистрирован и при рекордно-малой толщине $L=\lambda/2=397$ нм, однако, с существенно меньшим контрастом. Сильное уменьшение контраста на толщине $L=\lambda/2$ обусловлено тем, что при этой толщине имеет место эффект сужения спектра пропускания и возрастание поглощения. Приведены расчетные кривые для ЭИП-резонанса при толщинах $L=\lambda$ и $L=\lambda/2$, которые хорошо согласуются с экспериментальными результатами.

Во **второй главе**, во введении, отмечена важность исследования ЭИП-резонанса во внешних сильных магнитных полях. Отмечается, что к началу проведения диссертационной работы в литературе была только одна работа, в которой ЭИП-резонанс исследовался в парах атомов Na в полях до величин в нескольких сотен Гс. Отсутствие работ по изучению ЭИП при больших полях >500 Гс объясняется относительной сложностью реализации сильных однородных магнитных полей, поскольку ЭИП-резонансы формируются в ячейках длиной в несколько сантиметров, заполненных парами атомов.

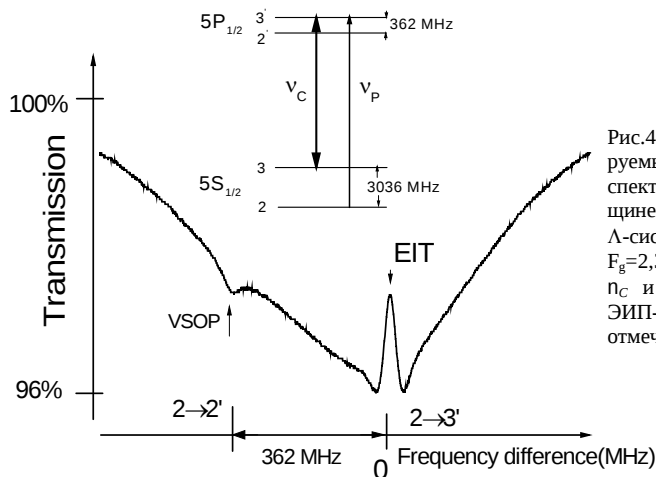


Рис.4. ЭИП-резонанс, формируемый на D_1 линии ^{85}Rb в спектре пропускания при толщине $L=\lambda$. Вставка показывает Λ -систему (нижние уровни $F_g=2,3$) и конфигурации частот ν_C и ν_P для формирования ЭИП-резонанса. Стрелкой отмечен и ОРСС резонанс.

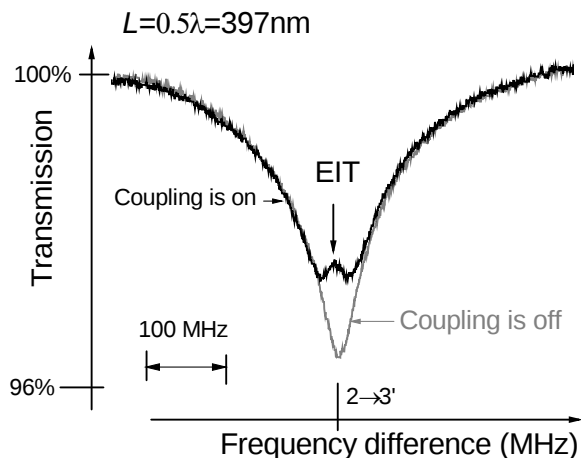


Рис.5. ЭИП-резонанс, который формируется на D_1 линии ^{85}Rb в спектре пропускания при рекордно малой толщине $L=\lambda/2$.

Важным преимуществом использования тонкого столба паров атомов субмикронных и микронных толщин является возможность использования сильных постоянных магнитов (ПМ), которые могут создавать поля в несколько тысяч Гс на расстояниях в несколько сантиметров. Поле таких ПМ сильно неоднородное, и градиент может достигать 100 - 200 Гс/мм, что исключает возможность использования ячеек сантиметровой длины, в то время как, из-за малой толщины столба паров, изменение величины B на несколько порядков меньше самой измеряемой величины B . Впервые приведены результаты по исследованию расщепления ЭИП-резонанса в сильных магнитных полях (до 1700 Гс) в парах атомов ^{87}Rb (рис.7), которые заключены в наноячейку толщиной $L = \lambda$. Показано, что при магнитных полях $B < 300$ Гс регистрируется три ЭИП-компоненты, при увеличении B (> 650 Гс) регистрируется две компоненты, а при $B > 1200$ Гс остается только одна компонента.

Для исследования расщепления ЭИП-резонанса в больших магнитных полях, более удобным является применение рубидиевой 30 мкм-ячейки, в которую добавлялось ~ 100 Торр буферного газа неона по следующей причине: при формировании ЭИП-резонанса в Λ -системе при использовании ячеек микронной толщины важным условием является малая величина расстройки Δ частоты ν_C от соответствующего атомного перехода, поскольку при больших величинах магнитного поля автоматически возникает большая расстройка Δ ; в этом случае в формировании ЭИП-резонанса участвуют атомы которые летят в направлении лазерного излучения z со скоростью $V_z = 2\pi\Delta/k$, где $k = 2\pi/\lambda$, что приводит к уменьшению времени пролета $\tau = L/V_z$ (где L –расстояние между окнами ячейки) и, следовательно, к быстрому увеличению скорости дефазировки когерентности $G_{12} = 1/2\pi\tau$ для двух нижних уровней Λ -системы (столкновение со стенкой с большой вероятностью приводит к переброске атома между нижними уровнями). Возрастание величины G_{12} приводит к быстрому уменьшению амплитуды и возрастанию ширины ЭИП-резонанса. Наличие буферного газа (~ 100 Торр) сильно уменьшает длину свободного пробега атома (до ~ 1 мкм) и атом не долетает до стенок 30 мкм-ячейки.

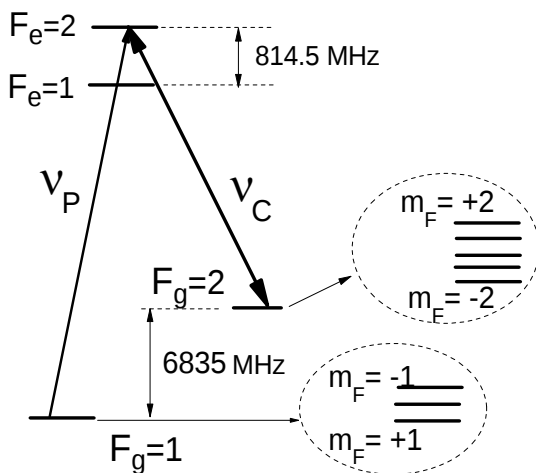


Рис.7. Диаграмма уровней атома ^{87}Rb , которые участвуют в формировании ЭИП-резонансов в магнитном поле. Показано зеемановское расщепление только нижних уровней $F_g=1,2$, так как число компонент и их частотное положение зависит только от нижних уровней.

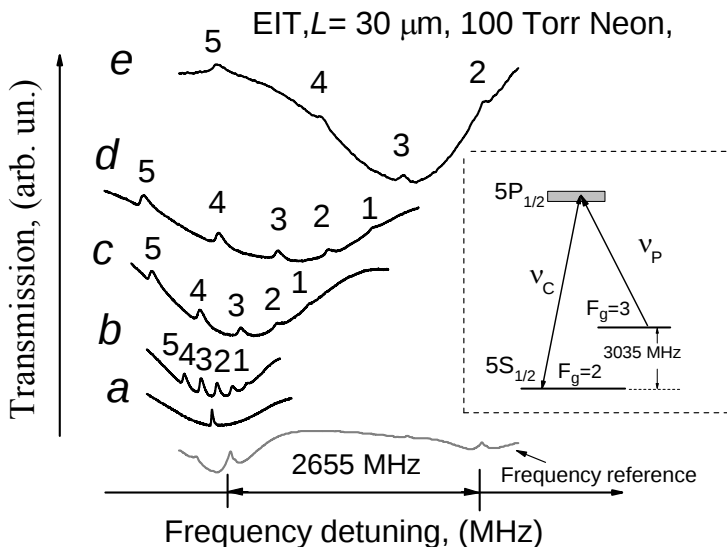


Рис8. Спектры пропускания (a ,b ,c, d, e) пробного излучения при $B=0, 180, 480, 760$ и 1480 Гс, соответственно. Использовалась 30-мкм–ячейка с Rb, температура 100°C . Конфигурация ν_C и ν_P показана в прямоугольнике. Нижняя серая кривая - реперная, получена с помощью Rb наноячейки.

Спектры пропускания (a ,b ,c, d, e) пробного излучения при $B=0, 180, 480, 760$ и 1480 Гс, соответственно (спектры смещены по вертикали для удобства); нумерация ЭИП –компонент 1-5 соответствует нумерации приведенной на рис.9. Приложено внешнее продольное магнитное поле ($B \parallel k$, где k волновой вектор лазерного излучения). Конфигурация ν_C и ν_P показана в прямоугольнике (частота ν_P сканируется по $F_g=2 \rightarrow 5P_{1/2}$ переходу). Нижняя серая кривая - реперная, получена с помощью Rb нано-ячейки. Мощности связывающего P_C (1-30 мВт) и пробного P_P (~1 мВт) лазеров подбирались таким образом, чтобы иметь малую спектральную ширину ЭИП – компонент при их хорошем контрасте. Следует отметить, что для атомов ^{85}Rb при полях $B \gg A_{\text{HFS}}/\mu_B \approx 700$ Гс , где A_{HFS} коэффициент связи сверхтонкой структуры для $5S_{1/2}$, а μ_B – магнетон Бора, происходит разрыв связи между полным угловым моментом электрона $\mathbf{J}$ и магнитного момента ядра $\mathbf{I}$, и расщепление уровней описываются проекциями m_j и m_i (имеет место режим Пашена-Бака на сверхтонкой структуре).

На рис.9 приведена зависимость частотных сдвигов ЭИП – компонент с номерами 1-5 (конфигурации частот ν_C и ν_P приведена на вставке рис8). Сплошные линии – рассчитанные нами теоретические кривые; символами обозначены экспериментальные результаты. Как видно, при полях $B > 1\text{ кГц}$ частотные наклоны (slope) у всех кривых 1-5 имеют положительный знак, а сами величины асимптотически стремятся к величине $s=2.8\text{ МГц/Гс}$ (показано на вставке), что является началом проявления режима Пашена-Бака на сверхтонкой структуре атомов изотопа ^{85}Rb .

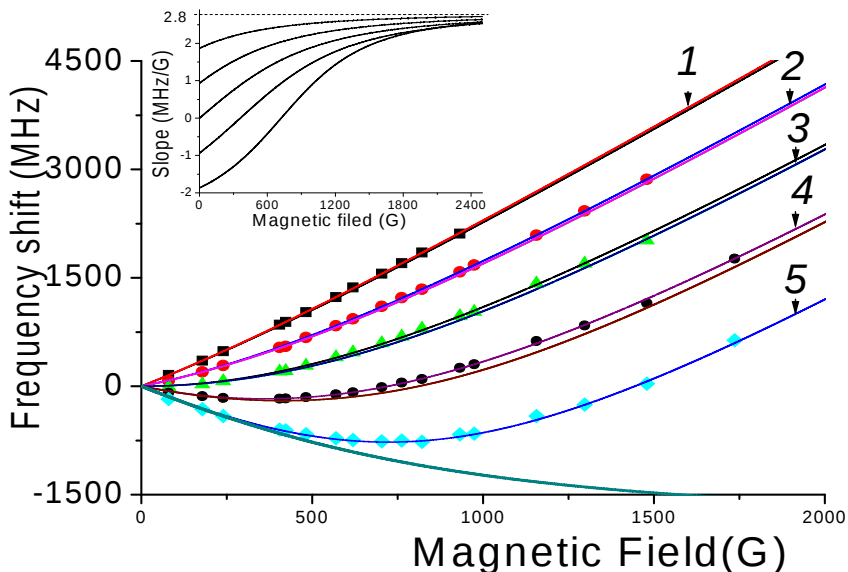


Рис.9. Зависимость частотных сдвигов ЭИП – компонент 1-5. Сплошные линии – расчетные кривые; символы – эксперимент; при $B > 1 \text{ кГс}$ частотные наклоны у всех кривых 1-5 асимптотически стремятся к $s = 2.8 \text{ МГц/Гс}$ (см. вставку), что является проявлением режима Пашена-Бака на сверхтонкой структуре атомов изотопа ^{85}Rb .

В третьей главе, приведен обзор литературы по процессу формирования узкополосного (суб-натурального) резонанса N-типа, который формируется в Λ -системе атомов металла. Приведены экспериментальные результаты исследования резонанса N-типа, который формируется в Λ -системе атомов рубидия D_1 линии, при наличии в ячейке буферного газа неона, и в поле излучения двух узкополосных непрерывных диодных лазеров (связывающего, ν_c и пробного, ν_p). Использовались специальные ячейки с помощью которых исследовалась зависимость процесса от толщины L столба паров в интервале 1-1000 мкм. (конфигурации частот ν_c и ν_p приведены на вставке рис 10). На рис.10 показаны резонансы N-типа, которые формируются в спектре пропускания пробного излучения, в случае использования 40-мкм ячейки с чистыми парами Rb (верхняя кривая), и при добавлении ~ 100 Торр буферного газа неона (средняя кривая). Нижняя серая кривая- реперная, получена с помощью Rb нано-ячейки. С уменьшением толщины L амплитуда резонанса N-типа уменьшается, и для практических применений оптимальной является толщина 40-мкм (это минимальная толщина при которой регистрируется N-резонанс с хорошими параметрами: контраст $\sim 10\%$, спектральная ширина $\sim 15 \text{ МГц}$). Добавление газа неона увеличивает амплитуду резонансы N-типа (оптимальное давление неона в случае микронных толщин $\sim 100 \text{ Торр}$). Также исследовалось влияние угла между двумя лазерными излучениями (связывающего, ν_c и пробного, ν_p) на параметры N-резонанс, которое показало, что при небольших углах (< 10

мрад) контраст и спектральная ширина ухудшаются сравнительно медленно, что можно использовать для пространственного выделения N-резонанса.

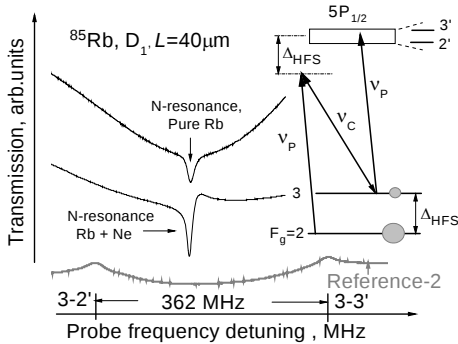


Рис.10. Резонанс N-типа, который формируется в спектре пропускания пробного излучения, в случае 40-мкм ячейки с чистыми парами Rb (верхняя кривая), и при добавлении буферного газа неона с давлением ~100 Торр. Нижняя серая кривая- реперная, получена с помощью Rb нано-ячейки.

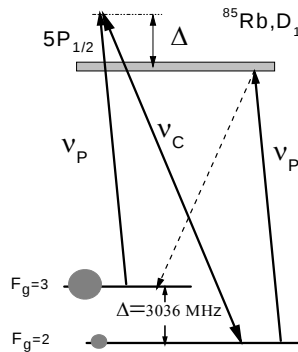


Рис.11. Пояснение процесса формирования резонанса N-типа: пробное излучение, переводит атомы с уровня $F_g=2$ на $F_g=3$, увеличивая населенность $F_g=3$, и уменьшая населенность $F_g=2$ (показано большим и маленьким кружками) и создает инверсию $N_3 > N_2$, и при наличии излучения ν_c происходит двухфотонный переход с поглощением на пробном излучении, и излучении фотона на частоте ν_c .

Как показывают результаты по расщеплению N-резонанса в магнитном поле (приведены в главе IV), начальным и конечным являются нижние уровни $F_g=2,3$. Поэтому, механизм образования N-резонанса следующий (рис.11): пробное излучение переводит атомы с уровня $F_g=2$ на уровень $5P_{1/2}$ с последующим распадом на $F_g=3$ (так называемый процесс оптической накачки). Это приводит к обеднению уровня $F_g=2$ (населенность которого условно показана маленьким кружком) и увеличению населенности уровня $F_g=3$ (населенность показана большим кружком). В результате появляется инверсия населенностей $N_3 > N_2$, и при соответствующей частоте связывающего лазера, происходит двухфотонный переход: атом с уровня $F_g=3$ поглощает фотон пробного излучения ν_p , затем, излучая фотон с частотой ν_c переходит на $F_g=2$. В результате, в спектре пробного излучения формируется узкий N-резонанс, увеличенного поглощения.

Амплитуда N-резонанса $\sim \exp[\sigma_{TA} (N_3 - N_2) L]$, где σ_{TA} - поперечник двухфотонного поглощения (зависит от расстройки Δ , интенсивности связывающего лазера и вероятностей переходов $F_g=3 \rightarrow 5P_{1/2}$, $F_g=2 \rightarrow 5P_{1/2}$), L - длина столба паров атомов Rb (сильная зависимость от L объясняет уменьшение амплитуды N-резонанса с толщиной). Нетрудно видеть, что если пробное излучение в резонансе с переходом $F_g=3 \rightarrow 5P_{1/2}$, то это приведет к обеднению уровня $F_g=3$ и увеличению населенности уровня $F_g=2$; в результате появится инверсия $N_2 > N_3$, и при соответствующей частоте ν_c' (для этого случая $\nu_c' = \nu_c - 2\Delta$) в результате двухфотонного поглощения атом с $F_g=2$ перейдет на

$F_g=3$. Подтверждением этого механизма является также факт улучшения контраста N-резонанса при использовании буферного газа. Это объясняется тем, что в случае Λ -системы нижние уровни слабо уширяются буферным газом, и преобладающим эффектом является возрастание времени нахождения атома в лазерном пучке (скорость диффузии атома при наличии буферного газа на несколько порядков меньше, чем в чистых парах Rb), и, как следствие, имеет место более эффективная оптическая накачка (которая прямо пропорциональна времени взаимодействия), приводящая к возрастанию N_3 .

В **четвертой главе** приведены экспериментальные результаты и расчетные теоретические кривые расщепления N-резонанса во внешнем магнитном поле (результаты получены впервые). Приведены экспериментальные результаты и расчетные теоретические кривые расщепления N-резонанса на 3 компоненты в парах атомов ^{87}Rb , D_1 линия. Применялось продольное магнитное поле до величин 300 Гс. Приведены экспериментальные результаты и расчетные теоретические кривые расщепления N-резонанса в продольном магнитном поле на 5 компонент в парах атомов ^{85}Rb , D_1 линия. Использовалась 40- мкм ячейка с парами Rb, при добавлении ~ 100 Торр буферного газа неона. На рис.12 приведены спектры, содержащие расщепленные 1-5 компоненты N-резонанса при различных величинах магнитного поля (спектры смещены по вертикали для удобства). Конфигурация частот связывающего ν_C и пробного ν_P излучений приведена в прямоугольнике на рис.10. Частота пробного излучения ν_P сканируется по $F_g=2 \rightarrow 5P_{1/2}$ переходу.

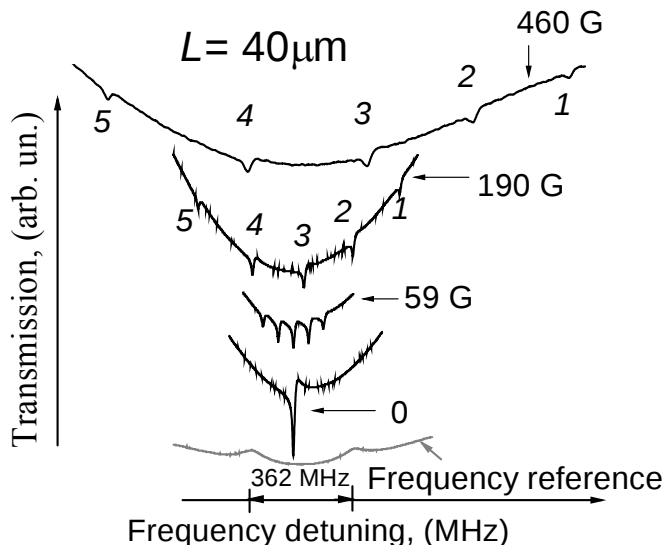


Рис.12. Расщепление резонанса N-типа на 1-5 компонент при изменении B . Использована микроячейка с $L=40$ мкм заполненная Rb и неона, температура 100°C . Конфигурация ν_C и ν_P показана в прямоугольнике на рис.10. Нижняя серая кривая- реперная.

Нижняя серая кривая-реперная, получена с помощью Rb nano-ячейки. Частотное расстояние между двумя соседними компонентами составляет 0.93 МГц (верно для полей < 200 Гс). Скорость изменения частотного расстояния между крайними компонентами (под номерами 1 и 5) составляет 3.72 МГц/Гс, следовательно, при изменении магнитного поля на 1 Гс, увеличение частотного расстояния на 3.72 МГц может быть легко зарегистрировано, и это может быть использовано для измерения сильно неоднородных (градиентных) магнитных полей с 40 мкм-пространственным разрешением. Заметим, что при использовании N-резонанса достигается спектральное разрешение в 5-6 раз лучше чем в ранних работах, в которых использовались субдоплеровские резонансы. Экспериментально показано, что в поперечном магнитном поле происходит расщепление N-резонанса на 6 компонент (атомы ^{85}Rb , D_1 линия). Приведена диаграмма поясняющая образование 6 компонент. В случае применения продольного магнитного поля все 5 компонент на которых расщепляется N-резонанс в парах атомов ^{85}Rb , D_1 линия уверенно регистрируются вплоть до магнитных полей 2000 Гс. Это позволило проследить начало установления режима Пашена-Бака на сверхтонкой структуре. На рис. 13 приведена зависимость частотных сдвигов компонент 1-5 резонанса N-типа. Конфигурация частот ν_C и ν_P показана на рис.11: частота ν_P сканируется по $F_g=2 \rightarrow 5P_{1/2}$ переходу. Сплошные линии показывают рассчитанные теоретические кривые, а символы - показывают экспериментальные результаты. Из рис.13 видно, что при $B > 1\text{ кГс}$ частотные наклоны у всех кривых 1-5 имеют отрицательный знак, а сами величины асимптотически стремятся к величине $s = -2.8$ МГц/Гс (показано на вставке), что является проявлением режима Пашена-Бака на сверхтонкой структуре атомов изотопа ^{85}Rb . Продemonстрировано, что с увеличением магнитного поля частоты пяти компонент резонанса N-типа смещаются либо в высокочастотную, либо в низкочастотную область: это зависит от того по какому атомному переходу $5S_{1/2}$, $F_g=2$ (или 3) $\rightarrow 5P_{1/2}$ сканируется частота пробного лазера ν_P , при этом, частота связывающего лазера ν_C находится в резонансе с переходом $F_g=3$ (или 2) $\rightarrow 5P_{1/2}$, соответственно.

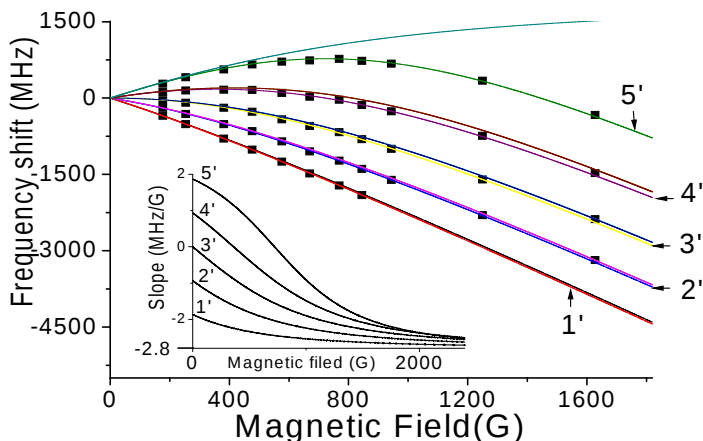


Рис.13. Зависимость частотных сдвигов компонент 1-5 резонанса N-типа (конфигурации частот ν_C , ν_P показана на рис.11). Сплошные линии – расчетные кривые; символы - эксперимент; при $B > 1\text{ кГс}$ частотные наклоны у всех кривых 1-5 стремятся к величине $s = -2.8$ МГц/Гс (показано на вставке), что является проявлением режима ПБС для атомов ^{85}Rb .

Было выявлено, что частотное поведение расщепленных на пять компонент и ЭИП-резонанса и резонанса N-типа во внешнем продольном магнитном поле описываются одинаковыми теоретическими кривыми, что объясняется тем фактом, что в обоих случаях участвуют расщепленные на Зеемановские компоненты нижние уровни $F_g=2$ и $F_g=3$ (для атомов изотопа ^{85}Rb). Важное различие заключается в следующем: для ЭИП-резонанса с увеличением магнитного поля частоты пяти компонент ЭИП-резонанса смещаются в высокочастотную область, когда частота пробного лазера ν_p сканируется по атомному переходу $5S_{1/2}, F_g=2 \rightarrow 5P_{1/2}$ (см. рис.9), в то время как для резонанса N-типа (при той же частоте пробного лазера) частоты пяти компонент смещаются в низкочастотную область (см. рис.13). Объяснение этого следующее: в случае формирования резонанса N-типа, в случае когда частота пробного лазера ν_p сканируется по атомному переходу $5S_{1/2}, F_g=3 \rightarrow 5P_{1/2}$ (см. вкладыш к рис.10), однако, двухфотонный процесс начинается с $F_g=2$ (так как формируется инверсия $N_2 > N_3$) и, поэтому, его поведение такое же как для ЭИП-резонанса когда частота пробного лазера ν_p сканируется по переходу $5S_{1/2}, F_g=2 \rightarrow 5P_{1/2}$.

В Заключении сформулированы основные научные результаты работы:

1. Впервые зарегистрирован высококонтрастный (40%) резонанс электромагнитно-индуцированной прозрачности (ЭИП) в рубидиевой нано-ячейке при толщине столба паров атомов $L=\lambda$ на D_1 линии Rb ($\lambda=795$ нм). ЭИП-резонанс зарегистрирован и при меньшей (рекордной толщине) $L=\lambda/2$, однако, с существенно меньшим контрастом. Экспериментальные результаты хорошо согласуются с теорией.

2. Продemonстрировано, что добавление буферного газа в сверхтонкую ячейку с парами рубидия, позволяет значительно увеличить частотную область перестройки ЭИП-резонанса при толщине столба паров атомов $L=\lambda$.

3. Впервые исследовано расщепление ЭИП-резонанса на 5 компонент (для атомов ^{85}Rb) в тонких ячейках в сильных продольных магнитных полях вплоть до 1700 Гс. Показано, что с увеличением магнитного поля частоты ЭИП –компонент смещаются либо в высокочастотную, либо в низкочастотную область: это зависит от того, по какому атомному переходу сканируется частота пробного лазера. Показано, что для обоих случаев при полях > 1000 Гс начинает проявляться режим Пашена-Бака на сверхтонкой структуре (ПБС) атомов ^{85}Rb . Экспериментальные результаты хорошо согласуются с теоретическими кривыми.

4. Впервые исследовано расщепление ЭИП-резонанса на 3 компоненты (для ^{87}Rb) в сильных продольных магнитных полях вплоть до 1700 Гс с использованием рубидиевой нано-ячейки при толщине столба паров атомов $L=\lambda$ на D_1 линии Rb. Показано, что при $B > 1100$ Гс остается только один ЭИП-резонанс.

5. Впервые зарегистрирован контрастный (~10 %) резонанс N-типа в тонкой 30 мкм-ячейке заполненной Rb и буферным газом неоном (~ 100 Торр). Исследованы характеристики этого резонанса при изменении толщины столба паров в интервале 1-1000 микрометров.

6. Впервые исследовано расщепление резонанса N-типа на 5 компонент (для ^{85}Rb) в тонких ячейках с буферным газом в сильных продольных магнитных полях вплоть до 2200 Гс, и, показано, что при полях > 1000 Гс начинает проявляться ПБС режим. Измеряя частотные интервалы между компонентами, можно определить магнитное поле B (как однородное, так и сильно-неоднородное) в интервале величин 5 – 2200 Гс, с 30-микронным пространственным разрешением. Экспериментальные результаты хорошо согласуются с теоретическими кривыми.

7. Выявлены различия и сходство в поведении ЭИП-резонанса, и резонанса N-типа в сильных магнитных полях, в частности: при полях > 1000 Гс частоты расщепленных компонент этих резонансов демонстрируют начало режима ПБС (компоненты имеют одинаковые частотные наклоны); смещение частоты компонент ЭИП- и N- резонансов (в высокочастотную, или в низкочастотную области) прямо противоположное, при сканировании частоты пробного лазера по тому же атомному переходу.

Цитируемая литература

ц1. M.Fleischhauer, A.Imamoglu, J.Marangos, Reviews of Modern Phys., v.77, pp.633-674 (2005).

ц2. S. E. Harris, J. E. Field, and A. Imamoglu, "Nonlinear Optical Processes Using Electromagnetically Induced Transparency", Phys. Rev. Lett. 64, 1107-1110 (1990).

ц3. R. Wynands and A. Nagel, "Precision spectroscopy with coherent dark states", Appl.Phys. B 68, 1 (1999).

ц4. A. S. Zibrov, C. Y. Ye, Y. Rostovtsev, A. Matsko, M. Scully, "Observation of a three-photon electromagnetically induced transparency in hot atomic vapor", Phys. Rev. A 65, 043817 (2002).

ц5. I. Novikova, D. F. Phillips, A. S. Zibrov, R. L. Walsworth, A. V. Taichenachev, and V. I. Yudin, "Comparison of ^{87}Rb N-resonances for D_1 and D_2 transitions," Opt. Lett. 31, 2353–2355 (2006).

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. R. K. Mirzoyan, "Study of optical narrow-band N-resonance formed in the vapor of isotope ^{87}Rb atoms in an external magnetic field" Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), Volume 48, p 26, 2013.
2. A. Sargsyan, R. Mirzoyan, A. Papoyan, D. Sarkisyan, "N-type resonances formation in micrometric-thin cells filled with Rb and buffer gas: splitting in strong magnetic field", Vol. 37, p 4871 Optics Letters, 2012.
3. A. Sargsyan, R. Mirzoyan, D. Sarkisyan, "Splitting of the electromagnetically induced transparency resonance on ^{85}Rb atoms in strong magnetic fields up to the Paschen-Back regime" JETP Letters, Volume 96, p 303, 2012
4. A. Sargsyan, R. Mirzoyan, D. Sarkisyan, "Narrow-Band N Resonance Formed in Thin Rubidium Atomic Layers", Journal of Experimental and Theoretical Physics, Volume 115, p 769, 2012
5. A. Sargsyan, G. Hakhumyan, R. Mirzoyan, A. Papoyan, D. Sarkisyan, C. Leroy, Y. Pashayan-Leroy, "Selective Amplification of Narrow Resonance Formed in Transmission Spectrum of Rb Nano-Cell in Magnetic Field" Intern. Journ. of Modern Physics: Conference Series Vol. 15, p 9, 2012.
6. A. Sargsyan, R. Mirzoyan, D. Sarkisyan, "A study of dark resonance splitting for the D_1 line of ^{87}Rb in strong magnetic fields", Optics and Spectroscopy, Volume 113, p 456, 2012.
7. G. Hakhumyan, C. Leroy, R. Mirzoyan, Y. Pashayan-Leroy and D. Sarkisyan, Study of "forbidden" atomic transitions on D_2 line using Rb nano-celle placed in external magnetic field, European Journal of Physics D, V.66, 5, 119, 2012.
8. A. Sargsyan, R. Mirzoyan, S. Cartaleva, D. Sarkisyan, "Simultaneous Observation of N- and EIT- Resonances in 40-micron Thin Cell Filled with Rb and Buffer gas", Proc. SPIE 8770, 17th International School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications, 87700K (March 2013); doi: 10.1117/12.2010673.
9. A. Sargsyan, Y. Pashayan-Leroy, C. Leroy, R. Mirzoyan, A. Papoyan, D. Sarkisyan "High contrast D_1 line electromagnetically induced transparency in nanometric-thin rubidium vapor cell" Applied Physics B: Lasers and Optics, V.105, p 767, (2011)
10. D. Sarkisyan, G. Hakhumyan, A. Sargsyan, R. Mirzoyan, C. Leroy, Y. Pashayan-Leroy "Laser Spectroscopy with Nanometric Cells Containing Atomic Vapor of Metal: Influence of Buffer Gas", Invited Paper, Proceedings of SPIE, Vol. 7747, 77470C (15 pages)(2011).
11. D. Sarkisyan, G. Hakhumyan, R. Mirzoyan, A. Papoyan, A. Atvars, M. Auzinsh, "Use of nanocell with the thickness $L = \lambda$ for study atomic transition of Rb D_2 -line in magnetic field", Proceedings of conference "Laser Physics - 2007", pp. 87-90, Ashtarak, Armenia (2008).
12. R. Mirzoyan, A. Sargsyan, A. S. Sarkisyan, D. Sarkisyan, "Study of the splitting of electromagnetically induced transparency resonance in strong magnetic field using Rb nano-thin cell", Journal of Physics: Conference Series 350, 012008 (2012).

13. R. Mirzoyan, G. Hakhumyan, C. Leroy, Y. Pashayan-Leroy and D. Sarkisyan "Modification of Initially Forbidden Atomic Transitions of Rb D_2 line in Magnetic Field" 44rd Conf. of the European Group for Atomic Systems (EGAS), Book of Abstracts P-156, University of Gothenburg, Sweden (2012)
14. A. Sargsyan, R. Mirzoyan, C. Leroy, Y. Pashayan-Leroy and D. Sarkisyan "N-Resonance Formation in Micrometric-Thin Cell Filled with Rubidium and Buffer Gas" 44rd Conf. of the European Group for Atomic Systems (EGAS), Book of Abstracts P-161, University of Gothenburg, Sweden (2012)
15. R. Mirzoyan, A. Sargsyan, D. Sarkisyan, "Study of the Rb Dark-line atomic resonance splitting in a Strong Magnetic Field", Book of Abstract Laser Physics P3-7, p.60, (2011)
16. D. Sarkisyan, A. Sargsyan, R. Mirzoyan, Y. Pashayan-Leroy, and C. Leroy "High contrast subnatural resonance of increased absorption formed in cell filled with Rb and buffer gas" 43rd Conf. of the European Group for Atomic Systems (EGAS), Book of Abstracts P-46, University of Fribourg, Switzerland (2011)
17. Y. Pashayan-Leroy, C. Leroy, A. Sargsyan, R. Mirzoyan, and D. Sarkisyan "High-contrast dark line atomic resonance of D_1 excitation in nanometric-thin cell filled with rubidium" 43rd Conf. of the European Group for Atomic Systems (EGAS), Book of Abstracts P-177, University of Fribourg, Switzerland (2011)
18. A. Sargsyan, R. Mirzoyan, A. Papoyan, D. Sarkisyan, Y. Pashayan-Leroy, and C. Leroy "Study of electromagnetically induced transparency in strong magnetic field using Rb nanometric-thin cell" 43rd Conf. of the European Group for Atomic Systems (EGAS), Book of Abstracts P-180, University of Fribourg, Switzerland (2011)
19. A. Sargsyan, H. Hakhumyan, R. Mirzoyan, Y. Pashayan-Leroy, C. Leroy, D. Sarkisyan "Atom-Wall collisions influence on dark-line atomic resonances in submicron thin vapor cells" 10th European Conf. on Atoms, Molecules and Photons, ECAMP10, Book of Abstracts P-339, Salamanca, Spain (2010).

Կոհերենտ պրոցեսների՝ բնակեցվածության կոհերենտ գերման (ԲԿԳ) և էլեկտրամագնիսականորեն հարուցված թափանցելիության (ԷՀԹ) օգնությամբ նեղ օպտիկական ռեզոնանսների ստացումը մինչ այժմ առաջացնում է մեծ հետաքրքրություն իր պոտենցյալ կիրառությունների շնորհիվ: Այս ռեզոնանսները կարող են կիրառվել քվանտային ինֆորմացիայի ոլորտում, մետրոլոգիայում, մագնիսաչափությունում, լույսի արագության ղեկավարման մեջ, ինֆորմացիայի օպտիկական գոանցման համար, քվանտային կոմունիկացիայի ոլորտում, ատոմական ժամացույցների մեջ և այլն:

2002 թ.-ին տպագրվել է աշխատանք, որում ցույց է տրվել, որ օգտագործելով ԷՀԹ և ԲԿԳ երևույթների ստացման համար օգտագործվող լազերային կոնֆիգուրացիային շատ մոտիկ կոնֆիգուրացիա հնարավոր է ստանալ N-տիպի ռեզոնանս: Բնչպես ԷՀԹ-ի դեպքում, այստեղ էլ պրակտիկ կիրառության համար կարևոր է N-տիպի ռեզոնանսի ձևաորման միջավայրի չափերի փոքրացումը:

Նախնական հետազոտությունները ցույց էին տվել, որ հնարավոր է ստանալ լավ պարամետրերով ԷՀԹ և N-տիպի ռեզոնանսներ ռուբիդիումով լցված նեղ և գերնեղ բջիջների օգնությամբ:

Նկատենք, որ մինչ այս աշխատանքի սկիզբը, գոյություն ուներ նեղ միջավայրում ԷՀԹ-ի ուսումնասիրությունների մասին 2 աշխատանք, իսկ նմանատիպ միջավայրերում N-տիպի ռեզոնանսի ուսումնասիրությունների մասին աշխատանքները ընդհանրապես բացակայում էին: Այդ իսկ պատճառով շատ կարևոր էր իրագործել այս ուսումնասիրությունները:

Աշխատանքի նպատակն էրկու նեղ գծով անընդհատ դիողային լազերների ազդեցության ներքո գերբարակ (20-1000 նմ) և բարակ (10-700 մկմ) ռուբիդիումի ատոմական գոլորշիներով լցված բջիջներում ԷՀԹ և N-տիպի ռեզոնանսների մանրակրկիտ ուսումնասիրությունը: Մասնավորապես, կարևոր է ուսումնասիրել այդ երևույթների կախումը լազերների ինտենսիվությունից, ջերմաստճանից, ատոմական խտությունից և ատոմների՝ բջջի պատի հետ բախումներից: Միաժամանակ պրակտիկ հետաքրքրություն է ներկայացնում այդ երևույթների վարքը ուսումնասիրությունը մագնիսական դաշտի ազդեցության ներքո:

Այս նպատակին հասնելու համար դրվել են հետևյալ խնդիրները:

1. Rb-ով լցված, 20նմ-2մմ տիրույթում հաստության փոփոխման հնարավորություն ունեցող, ապագողված բարակ և գերբարակ բջիջների պատրաստում :

2. $L = 20$ նմ-2 մմ հաստությունների դեպքում Rb-ի , $D_{1,2}$ գծերում տարբեր Λ -համակարգերի ուսումնասիրություն, ԷՀԹ և N-տիպի ռեզոնանսների ձևավորման համար:

3. Արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցության ուսումնասիրությունը ԷՀԹ և N-տիպի ռեզոնանսների վրա:

Պաշտպանության հիմնական դրույթներն են.

1. Երկու լազերային դաշտի ճառագայթման ներքո $L = \lambda = 795$ նմ հաստությամբ բջջի օգնությամբ Rb-ի D1-գծի վրա ձևավորվում է բարձր (40 %) կոնտրաստով ԷՀԹ ռեզոնանս: $L = \lambda / 2 = 397$ նմ ռեկորդային փոքր հաստությամբ բջջում նույնպես գրանցվում է ԷՀԹ ռեզոնանս: Փորձնական արդյունքները համընկնում են տեսական հաշվարկների հետ: Բջջում բուֆերային գազի ավելացումը թույլ է տալիս զգալիորեն մեծացնել ԷՀԹ-ռեզոնանսի հաճախային շեղման հնարավորությունը:

2. ^{85}Rb ատոմների համար 30մկմ հաստությամբ բջջում հզոր երկայնական մագնիսական դաշտի (ընդհուպ մինչև 1700 Գս) ազդեցության ներքո տեղի է ունենում ԷՀԹ-ռեզոնանսի 5 բաղադրիչի ձեռքբերում: 1000 Գս-ից մեծ մագնիսական դաշտի ժամանակ ^{85}Rb ի ատոմների գերնուրբ կառուցվածքում ի հայտ է գալիս Պաշեն-Բակի ռեժիմը:

3. Երկու լազերների շառագայթման դաշտի ազդեցության տակ ($L=40$ մկմ հաստությամբ սահմանափակված և բուֆերային գազի հավելումով բջջում) Rb-ի D1-գծի թողարկման սպեկտրում ձևավորվում է N-տիպի ռեզոնանս՝ 10% կոնտրաստով, որը ցույց է տալիս փորձող լազերի կլանման ավելացում:

4. ^{85}Rb ատոմների համար բուֆերային գազի հավելումով 40 մկմ հաստությամբ բջջում հզոր երկայնական մագնիսական դաշտի (ընդհուպ մինչև 2200 Գս) ազդեցության ներքո տեղի է ունենում N-տիպի ռեզոնանսի 5 բաղադրիչի ձեռքբերում: 1000 Գս-ից մեծ մագնիսական դաշտի օգտագործման ժամանակ ի հայտ է գալիս Պաշեն-Բակի ռեժիմը:

Աշխատանքի գիտական նորույթ է:

1. Առաջին անգամ $L = \lambda = 795$ նմ հաստությամբ բջջի օգնությամբ Rb-ի D1-գծի վրա ստացվել է բարձր (40%) կոնտրաստով ԷՀԹ ռեզոնանս: $L = \lambda / 2 = 397$ նմ ռեկորդային փոքր հաստությամբ բջջում նույնպես գրանցվել է ԷՀԹ ռեզոնանս:

2. Ցուցադրվել է, որ $L = \lambda = 795$ նմ հաստությամբ նանոբջջում բուֆերային գազի ավելացումը թույլ է տալիս էապես մեծացնել ԷՀԹ-ռեզոնանսի շեղման հաճախային տիրույթը:

3. Առաջին անգամ ցուցադրվել է, որ ^{85}Rb ատոմների համար հզոր երկայնական մագնիսական դաշտի (ընդհուպ մինչև 1700 Գս) ազդեցության ներքո տեղի է ունենում ԷՀԹ-ռեզոնանսի՝ 5 բաղադրիչի ձեռքբերում: 1000 Գս-ից մեծ մագնիսական դաշտի օգտագործման ժամանակ ի հայտ է գալիս Պաշեն-Բակի ռեժիմը:

4. $L=40$ մկմ հաստությամբ սահմանափակված՝ 100 Տորր բուֆերային գազի հավելումով բջջում ձևավորվում է 10% կոնտրաստով N-տիպի ռեզոնանս:

5. Առաջին անգամ կատարվել է ^{85}Rb ատոմների համար՝ բուֆերային գազի հավելումով 40 մկմ հաստությամբ բջջում հզոր երկայնական մագնիսական դաշտի (ընդհուպ մինչև 2200 Գս) ազդեցության ներքո N-տիպի ռեզոնանսի՝ 5 բաղադրիչի ձեռքբերման ուսումնասիրությունը: 1000 Գս-ից մեծ մագնիսական դաշտի օգտագործման ժամանակ ի հայտ է գալիս Պաշեն-Բակի ռեժիմը:

SUMMARY

Continuous interest to coherent population trapping (CPT) and related electromagnetically induced transparency (EIT) phenomena is stipulated by a number of important applications in a variety of fields such as laser cooling, information storage, magnetometry, spectroscopy, atomic frequency references, atomic clock etc.

EIT-resonance is usually formed in a Λ -system with two long-lived states and one excited state coupled by two CW diode laser fields and displays a strong reduction in absorption where a maximum is expected in the absence of the coupling laser field (EIT can occur also in ladder Ξ - and V-systems). From application point of view, it is important to reduce the dimensions of a cell containing atomic metal vapor where the EIT-resonance is formed, at the sometime keeping good resonance parameters, which will allow creation of compact devices based on coherent effects.

In 2002 it was reported about a new resonance (so-called N-type resonance) that can appear in Λ -system under the conditions similar to that for the EIT-resonance formation. A number of applications of this N-type resonance could be as wide as in the case of the EIT- and CPT-resonances. From application point of view, it is important to reduce the dimensions of the cell, where the N-resonance is formed.

The obtained preliminary results indicate, that a successful application of thin and ultra-thin cells containing vapors of metal atoms to form the EIT-resonances and N-type resonances with good parameters is necessary for their further use. Note, that there were only two publications concerning the formation of the EIT-resonances in submicron thick cells in the literature (before the beginning of the thesis), and no any publication for the formation of N-type resonances in thin cells of this thickness. Thus, the study of these problems was important from both the scientific point of view and for practical applications.

The aim of the work is a detailed study of the EIT-resonance and the N-type resonance formation in ultrathin (20-1000 nm) and thin (10-700 μ m) cells filled with vapors of Rb atoms under the radiation of two narrow-band CW lasers (couple, ν_c and probe, ν_p). Particularly, it was important to study the influence of laser intensity, temperature, density of atoms and atomic collisions with the walls of cells. Also of practical interest is to study the EIT-resonance and N-type resonance under the influence of external magnetic field.

Objectives of the thesis:

1. Development of thin and ultrathin sealed off cells containing vapors of Rb, with the possibility of thickness variation in the range of 20 nm - 2 mm.
2. Investigation of different Λ -systems in vapors of Rb atoms(D_1 and D_2 -lines) for the formation of narrow EIT- and N-type resonances depending on the thickness L in the range of 20 nm - 2 mm.
3. Investigation of the influence of an external magnetic field on the EIT-resonances in ^{85}Rb and ^{87}Rb .

The statements of the thesis:

1. In the absorption spectra of the D_1 -line of Rb atoms placed inside nanocell with thickness $L=\lambda = 795$ nm under the radiation of two lasers, the EIT-resonance with high 40%

contrast can be detected. EIT-resonance also can be recorded at extremely low thickness $L = \lambda/2 = 397$ nm, but its contrast is lower than that for the case of $L = \lambda$. The experimental results are in good agreement with theory. Compared to the nanocell with no buffer gas, addition of a buffer gas in the nanocell with rubidium vapor can significantly increase frequency tuning range of the EIT-resonance.

2. For the ^{85}Rb (in a $L = 30$ μm cell) under the influence of magnetic field up to 1700 G the EIT-resonance splits into five components. With the use of magnetic field higher than 1000 G the Paschen-Back regime for the hyperfine structure of ^{85}Rb starts.

3. In the absorption spectra of the D_1 -line of Rb atoms (with addition of 100 torr neon buffer gas) placed inside nanocell with thickness $L = 40$ μm under the radiation of two lasers, the N-type resonance with 10% contrast can be detected.

4. In a $L = 40$ μm cell, with addition of 100 torr neon buffer gas, for the ^{85}Rb under the influence of magnetic field up to 2100 G, the N-resonance splits into five components. With the use of magnetic field higher than 1000 G the Paschen-Back regime for the hyperfine structure of ^{85}Rb starts.

Scientific novelty:

1. For the first time the resonance of electromagnetically induced transparency is registered in a nanocell filled with the vapors of Rb atoms (vapor column thickness $L = \lambda = 795$ nm, Rb D_1 -line) with the high 40% contrast. EIT-resonance is registered at an extremely low thickness $L = \lambda/2 = 397$ nm, but with a lower contrast. The experimental results are in good agreement with theory.

2. It is demonstrated that the addition of a buffer gas in a nanocell with rubidium vapor can significantly increase (compared to the nanocell without buffer gas) frequency tuning range of the EIT-resonance in atomic vapor column of thickness $L = \lambda = 795$ nm.

3. For the ^{85}Rb atoms, for the first time, the splitting of EIT-resonance into five components in a thin cell is observed under influence of strong external magnetic field (< 1700 G). It is shown, that in the case of a magnetic field higher than 1000 G, the Paschen-Back regime for the hyperfine structure starts.

4. For the first time the N-resonance with $\sim 10\%$ contrast is detected in a 40 μm cell filled with Rb and neon buffer gas (~ 100 torr).

5. For the first time the splitting of N-resonance into five components is observed in a thin cell filled with atomic vapors of Rb and buffer gas under influence of external magnetic fields (< 2200 G), and for magnetic fields higher than 1000 G the hyperfine Paschen-Back regime is identified.