

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИАиЭ СО РАН)

УДК 535.33/34: 621.373.826  
№ гос. Регистрации  
АААА-А17-117052210003-4  
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ  
Директор Института  
чл.-корр. РАН

\_\_\_\_\_ С.А. Бабин  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

По программе П.10.2.

*Фундаментальные проблемы взаимодействия лазерного излучения с однородными и структурированными средами*

**ПРОЕКТ П.10.2.2**

**Нелинейные и когерентные оптические явления в атомах и их конденсатах при внешнем воздействии (статические поля, межатомные столкновения, взаимодействие с поверхностью)**

(промежуточный, 2019 г.)

Номер проекта 0319-2018-0002

Руководитель темы академик \_\_\_\_\_

А.М. Шалагин

Протокол Ученого совета ИАиЭ СО РАН  
№ 19-17 от «03» декабря 2019 г.

Новосибирск, 2019

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель работы,  
академик

\_\_\_\_\_

А.М. Шалагин  
(реферат, введение,  
заключение, раздел 2)

Ответственный  
исполнитель,  
д.ф.-м.н., в.н.с.

\_\_\_\_\_

Л.В. Ильичев  
(раздел 1)

Ответственный  
исполнитель,  
д.ф.-м.н., в.н.с.

\_\_\_\_\_

А.И. Пархоменко  
(раздел 2)

Ответственный  
исполнитель,  
д.ф.-м.н., в.н.с.

\_\_\_\_\_

К.А. Насыров  
(раздел 3)

Ответственный  
исполнитель,  
д.ф.-м.н., г.н.с.

\_\_\_\_\_

П.Л. Чаповский  
(раздел 1)

Ответственный  
исполнитель,  
к.ф.-м.н., в.н.с.

\_\_\_\_\_

Э.Г. Сапрыкин  
(раздел 4)

Исполнители:  
к.ф.-м.н., м.н.с.

\_\_\_\_\_

В.А. Томилин  
(раздел 1)

Старший  
инженер-программист

\_\_\_\_\_

Е.В. Ильичева  
(оформление)

## РЕФЕРАТ

Всего 16 с., 7 рисунков, 10 источников.

Ключевые слова: *нелинейные и когерентные явления, зацепленность, квантовые корреляции, геометрическая фаза, магнитооптические резонансы, спектральная линия, столкновительная релаксация, антирелаксационное покрытие, бозе-эйнштейновский конденсат*

Операционное определение геометрической фазы в открытых квантовых системах обобщено на квантовую физику с симметрией прошлого и будущего. Использована модификация квантового формализма применительно к системам с пред- и пост-селекцией состояний. Для рассмотрения используется интерферометр Маха-Цандера с селекцией входного и выходного состояний и измерением в одном из плеч. В другом плече вносится контролируемый фазовый сдвиг. Показано, что в условиях пост-селекции возникает интерференция исходов измерений. В сдвиге этой интерференционной картины проявляется инвариантный геометрический фактор – геометрическая фаза. Аналогичный эффект имеет место без интерферометра Маха-Цандера, но с парой кубитов в зацепленном состоянии. Работа сделана в контексте задуманного исследования возможных путей воздействия на атомарный бозе-эйнштейновский конденсат через оптическую геометрическую фазу.

Разработана автономная оптическая система дипольной ловушки для ультрахолодных атомов. Система использует длиннофокусный объектив (фокусное расстояние 60 мм) и обеспечивает фокусировку лазерного излучения с радиусом пучка в перетяжке менее 4.7 микрона (по уровню  $1/e^2$ ).

Исследован эффект сужения линии поглощения легких атомов щелочных металлов  $^7\text{Li}$  и  $^{23}\text{Na}$ , находящихся в атмосфере тяжелого инертного газа  $\text{Xe}$ , при росте интенсивности внешнего излучения. Для атомов  $^7\text{Li}$  при температуре  $T = 300$  К и давлении буферного газа ксенона  $p_{\text{Xe}} = 0.002$  Тогг ширина линии на полувысоте уменьшается в 1.20 раза при росте интенсивности излучения от  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  до  $2.5 \text{mW}/\text{cm}^2$ . Для атомов  $^{23}\text{Na}$  при  $T = 600$  К и  $p_{\text{Xe}} = 0.01$  Тогг ширина линии на полувысоте уменьшается в 1.29 раза при росте интенсивности излучения от  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  до  $6 \text{mW}/\text{cm}^2$ .

На примере  $\text{Rb}$  была экспериментально и теоретически изучена деформация спектра линии  $D_1$  в ячейке с антирелаксирующим покрытием в зависимости от скорости сканирования частоты лазера. Выяснилось, что при высоких скоростях сканирования деформация пиков спектра обусловлена тем, что после прямого прохода сканирования заселенности уровней  $\text{Rb}$  не успевает прийти к равновесию ко времени обратного хода сканирования. При низких частотах сканирования деформация пиков спектра обусловлена

релаксационными процессами во время прохождения частоты лазера внутри самих пиков D1 линии. При этом нет взаимного влияния прямого и обратного направлений сканирования.

Исследованы результаты экспериментов по выявлению парного эффекта Дике при наличии магнитного поля, изменяющего частоты изотопических атомов коррелирующей пары. Выяснено, что в зависимости от расстояния между изотопами они образуют когерентную суперпозиционную пару, которая может находиться в сверхизлучательном или субизлучательном состояниях.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1. Теоретическое и экспериментальное исследование состояний бозе-эйнштейновских конденсатов в оптических потенциалах сложной контролируемой формы.....	7
2. Теоретическое исследование формы линии поглощения легких атомов щелочных металлов, находящихся в атмосфере тяжелых инертных буферных газов.....	9
3. Исследование влияния скорости сканирования частоты лазера на спектр щелочных металлов в ячейках с антирелаксирующим покрытием.....	11
4. Экспериментальное исследование специфики проявления парного эффекта Дике в опытах с магнитным полем, изменяющим частоты атомов коррелирующей пары...	12
Заключение.....	13
Список использованных источников.....	14
Приложение (план исследований в 2020 году по проекту).....	16

## Введение

Общее понятие геометрической (топологической) фазы для квантовых систем сформировалось в работах Панчаратнама и Берри. Это чисто кинематический эффект, определяемый формой траектории в пространстве состояний при эволюции квантовой системы и обнаруженный к настоящему времени в различных системах квантовой оптики, молекулярной физики и физики конденсированного состояния. Сравнительно недавно, сформулированное изначально для чистых состояний, понятие геометрической фазы было обобщено на случай смешанных состояний квантовых систем. При этом возникло так называемое операционное определение геометрической фазы в рамках интерферометрической схемы как сдвиг картины интерференции. В литературе были поставлена, но не решена проблема вычисления операционной геометрической фазы как функции истории контактов квантовой системы с окружением. Нашей целью был поиск решения этой проблемы для простейшей квантовой системы – кубита. Далее, желание распространить понятие геометрической фазы на более общую ситуацию, чем просто открытая квантовая система, привело нас к рассмотрению систем с пред- и пост-селекцией квантовых состояний. Такой контекст исследования геометрической фазы ранее не встречался в литературе.

Необычное поведение формы спектральных линий в специфических условиях постоянно привлекает внимание специалистов по нелинейной спектроскопии. Нами выявлены условия, при которых спектральная линия (в отличие от обычного поведения) сужается с ростом интенсивности возбуждающего излучения.

Долгоживущие поляризации атомов в основном состоянии в ячейках с атомными парами являются основой для развития физики атомных часов, магнитометров, квантовой памяти и т.д. Современные антирелаксирующие покрытия сохраняют спин атома при очень большом числе столкновений со стенкой. В ячейках с антирелаксационным покрытием проявляются новые физические явления, которые были недоступны к наблюдению в обычных ячейках без покрытия. В таких ячейках время релаксации атома к своему равновесному распределению по внутренним степеням свободы становится большим и сравнимым со временем сканирования частоты лазера, что сказывается на форме регистрируемого спектра. В нашем случае экспериментально и теоретически исследуется форма спектра флуоресценции  $85\text{Rb}$  при сканировании частоты лазера вокруг  $D1$  линии в ячейке, стенки которой покрыты парафином. Детально рассматриваются физические причины, влияющие на искажения формы спектра в зависимости от скорости сканирования.

В ИАиЭ СО РАН ряд лет назад обнаружены и до настоящего времени исследуются когерентные явления в спонтанном излучении пространственно разнесенных, изотопически разных атомов в условиях газового разряда. Это явление совершенно необычное и имеет российский приоритет (ИАиЭ СО РАН). Ранее предлагались разные модели для объяснения обнаруженных оптикомагнитных резонансов пересечения частот (ОМРПЧ) зеемановских компонент переходов разных изотопов. Однако окончательной ясности в существе явления пока не достигнуто. Поскольку эффект довольно яркий и проявляется отчетливо, продолжение исследований представляется целесообразным. Нужны дополнительные экспериментальные данные и новые плодотворные гипотезы.

# 1. Теоретическое и экспериментальное исследование состояний бозе-эйнштейновских конденсатов в оптических потенциалах сложной контролируемой формы.

## Геометрическая фаза как функция истории открытой квантовой системы

Нами решена поставленная ранее другими авторами проблема описания геометрической фазы открытой квантовой системы как функции истории её энерго-информационных контактов с окружением [1]. Рассмотрен эшелон интерферометров Маха-Цандера, в одном из плеч каждого из которых происходит измерение некоторой наблюдаемой во внутреннем состоянии распространяющегося в эшелоне кубита. Результаты измерения фиксируются в окружении (см. рисунок) и составляют историю.

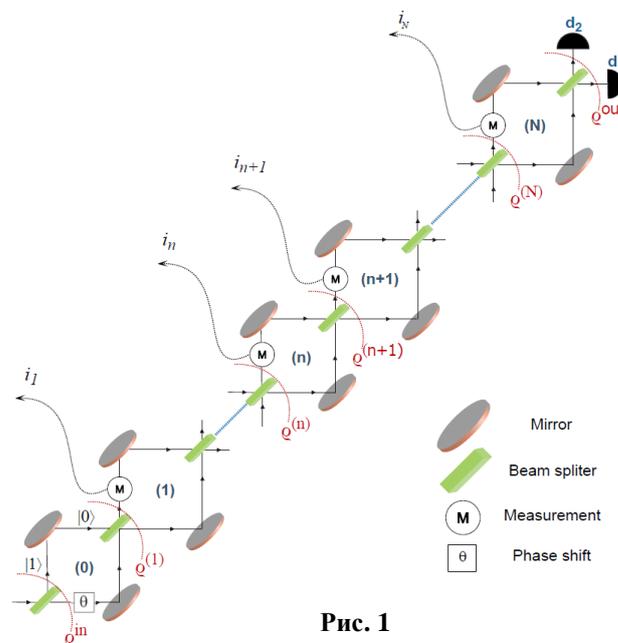


Рис. 1

Получено общее выражение для модификации состояния системы в зависимости от содержания истории. Это позволило рассчитать геометрическую фазу в рамках известного операционного подхода (см. Рис.1). Для вывода соответствующей формулы потребовалась догадка, верность которой проверяется методом математической индукции. На Рис.2 представлены результаты расчета геометрической фазы для  $N=6$  в схеме Рис.1, а измерению кубита из окружения предшествует его взаимодействие с кубитом, распространяющимся в интерферометре. Взаимодействие выбрано в виде контролируемого фазового сдвига  $\varphi$  при  $\varphi = \pi/4$ ,  $\varphi = \pi/3$ ,  $\varphi = \pi/2$ ,  $\varphi = \pi$  соответственно. Все истории (их 64) пронумерованы целыми числами, сопоставляемыми историям как двоичным записям.

Геометрическая фаза в условиях пред- и пост-селекции

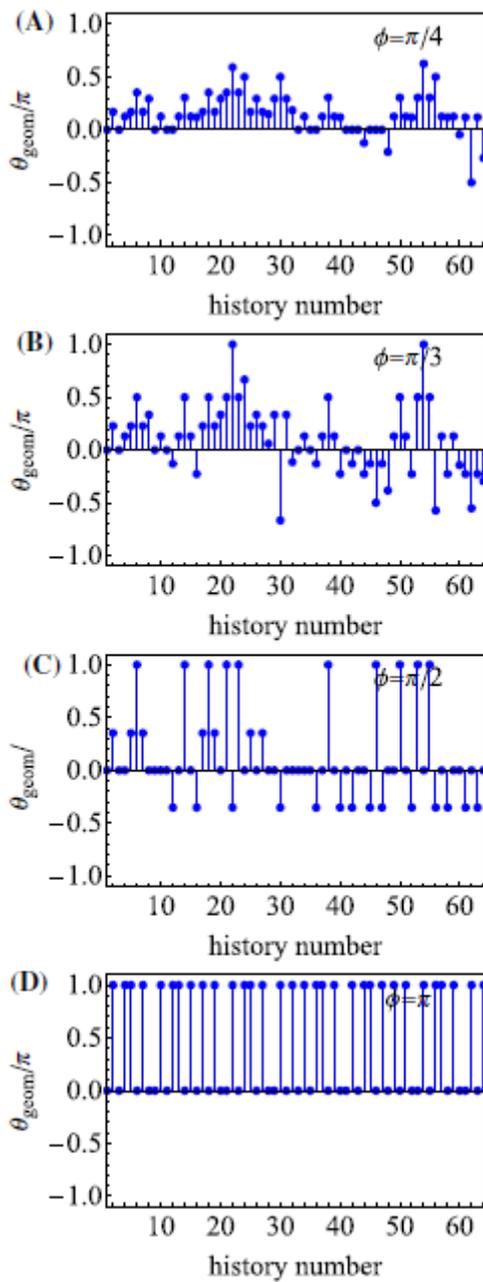


Рис. 2

этой интерференционной картины проявляется инвариантный геометрический фактор – геометрическая фаза.

Аналогичный эффект имеет место без интерферометра Маха-Цандера, но с парой кубитов в зацепленном состоянии (см. Рис.4). Фазовый сдвиг одного кубита выявляет картину интерференции исходов измерения второго. При этом регистрация исходов измерений, из которых пост-селекцией выбирается множество с картиной интерференции может осуществляться до выбора величины контролируемого фазового сдвига.

Работа сделана в контексте задуманного исследования возможных путей воздействия на атомарный конденсат через оптическую геометрическую фазу. Более

Операционное определение геометрической фазы в открытых квантовых системах обобщено на квантовую физику с симметрией прошлого и будущего [2]. Использована модификация квантового формализма применительно к системам с пред- и пост-селекцией состояний. Для рассмотрения используется интерферометр Маха-Цандера с селекцией входного и

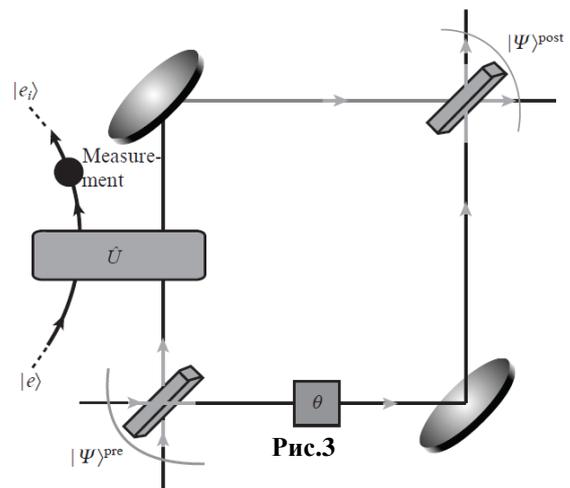


Рис.3

выходного состояний и измерением в одном из плеч (см. Рис.3). В другом плече вносится контролируемый фазовый сдвиг. Показано, что в условиях пост-селекции возникает интерференция исходов измерений. В сдвиге

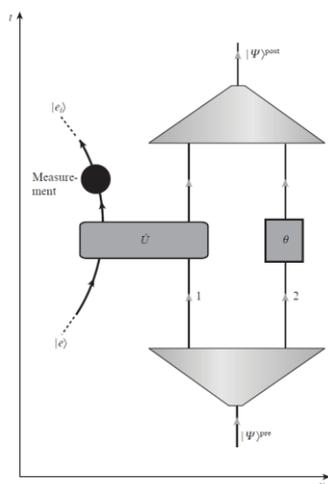


Рис. 4

зацепленной паре.

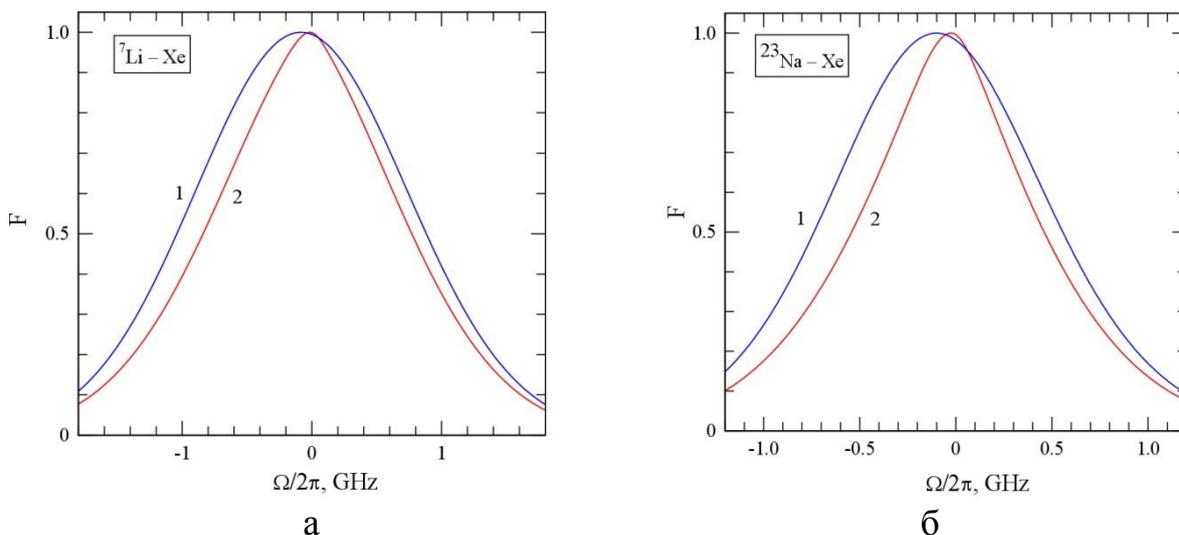
Разработана автономная оптическая система дипольной ловушки для ультрахолодных атомов. Система использует длиннофокусный объектив (фокусное расстояние 60 мм) и обеспечивает фокусировку лазерного излучения с радиусом пучка в перетяжке менее 4.7 микрона (по уровню  $1/e^2$ ). Поляризация излучения – линейная. Для ловушки используется стабилизированный по частоте лазер с полупроводниковым усилителем. Мощность лазерной системы 0.5 Вт, длина волны излучения 960 нм. Реализована прецизионная диагностика распределения интенсивности и фазы оптических полей дипольной ловушки.

(Публикации [1 – 3]).

## 2. Теоретическое исследование формы линии поглощения легких атомов щелочных металлов, находящихся в атмосфере тяжелых инертных буферных газов

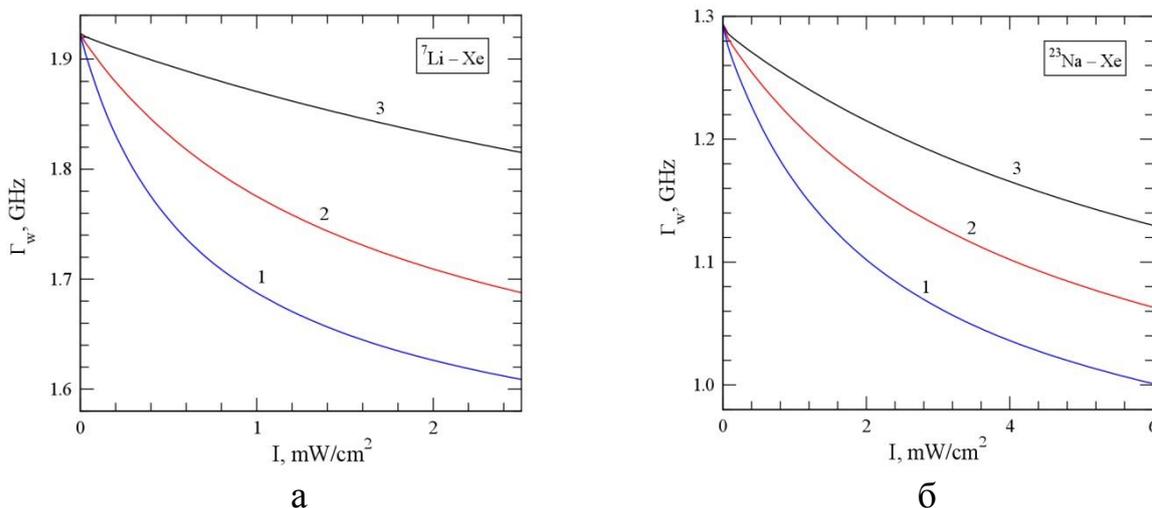
Исследован эффект сужения линии поглощения легких атомов щелочных металлов  ${}^7\text{Li}$  и  ${}^{23}\text{Na}$ , находящихся в атмосфере тяжелого инертного газа Xe, при росте интенсивности внешнего излучения. Для атомов  ${}^7\text{Li}$  при температуре  $T = 300\text{ K}$  и давлении буферного газа ксенона  $p_{\text{Xe}} = 0.002\text{ Torr}$  ширина линии на полувысоте уменьшается в 1.20 раза при росте интенсивности излучения от  $1\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$  до  $2.5\ \text{mW}/\text{cm}^2$  (рис. 5, а). Для атомов  ${}^{23}\text{Na}$  при  $T = 600\text{ K}$  и  $p_{\text{Xe}} = 0.01\text{ Torr}$  ширина линии на полувысоте уменьшается в 1.29 раза при росте интенсивности излучения от  $1\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$  до  $6\ \text{mW}/\text{cm}^2$  (рис. 5, б). Сужение наиболее сильно проявляется при доплеровском уширении линии поглощения (низкое давление буферного газа). В случае однородного уширения (высокое давление буферного газа) эффект сужения линии отсутствует. Величина эффекта сужения также зависит от температуры. Для атомов  ${}^7\text{Li}$  сужение проявляется сильнее при

низких температурах ( $T \approx 300$  К), а для атомов  $^{23}\text{Na}$ , наоборот, при повышенных температурах ( $T \approx 600$  К).



**Рис. 5.** Нормированные на максимальное значение контуры линий поглощения атомов  $^7\text{Li}$  (а) и  $^{23}\text{Na}$  (б) в буферном газе Хе; (а) -  $T = 300$  К,  $p_{\text{Xe}} = 0.002$  Torr, 1 -  $I = 1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , 2 -  $I = 2.5 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ; (б) -  $T = 600$  К,  $p_{\text{Xe}} = 0.01$  Torr, 1 -  $I = 1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , 2 -  $I = 6 \text{ mW}/\text{cm}^2$ .

На рис. 5 показаны рассчитанные ширины линии поглощения на полувысоте  $\Gamma_w$  для атомов  $^7\text{Li}$  и  $^{23}\text{Na}$  в зависимости от интенсивности излучения при различных значениях давления буферного газа Хе. Из рисунка видно, что ширина линии монотонно уменьшается



**Рис.6.** Зависимость ширины линии поглощения атомов  $^7\text{Li}$  (а) и  $^{23}\text{Na}$  (б) от интенсивности излучения при различных значениях давления буферного газа Хе; (а) -  $T = 300$  К;  $p_{\text{Xe}} = 0.002$  (1),  $p_{\text{Xe}} = 0.005$  (2),  $p_{\text{Xe}} = 0.02$  Torr (3); (б) -  $T = 600$  К;  $p_{\text{Xe}} = 0.01$  (1),  $p_{\text{Xe}} = 0.02$  (2),  $p_{\text{Xe}} = 0.04$  Torr (3).

с ростом интенсивности излучения. При одном и том же значении интенсивности излучения ширина линии поглощения тем меньше, чем меньше давление буферного газа.

Эффект полевого сужения линии поглощения обусловлен сильным различием скоростей столкновительной релаксации по направлению и по величине скорости легких резонансных частиц в атмосфере тяжелых буферных частиц и отсутствием столкновительных переходов между сверхтонкими компонентами основного состояния.

(Публикации [4 – 6]).

### 3. Исследование влияния скорости сканирования частоты лазера на спектр щелочных металлов в ячейках с антирелаксирующим покрытием

На Рис. 1а,в показаны экспериментальные записи спектров поглощения излучения смеси изотопов  $^{85}\text{Rb}$  и  $^{87}\text{Rb}$  при частоте сканирования 60 Гц (быстрое сканирование) и 1.5 Гц (медленное сканирование) в окрестности D1- линии. Эти рисунки наглядно демонстрируют изменение асимметрии пиков спектра при быстром сканировании по сравнению с медленным.

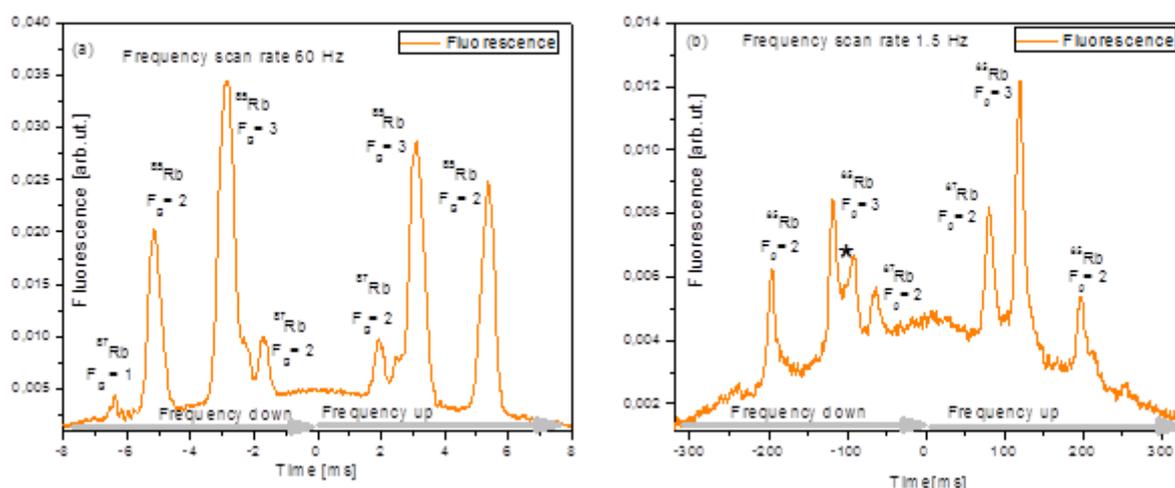


Рис.7. Экспериментальные спектры обоих изотопов записанные с помощью сканирования лазерной частоты в двух противоположных направлениях в области D<sub>1</sub> линии Rb (в последовательно уменьшения и увеличения), для частот сканирования: (а) 60Hz и (b) 1.5 Hz.

Объяснение того, почему при быстром сканировании (60 Гц) получается такое соотношение величин пиков, состоит в следующем. При уменьшении частоты лазера (левая часть графика, рис.7а), сначала атомы возбуждаются с исходно равновесно заселенного уровня  $F_g=2$  и оптически накачивают уровень  $F_g=3$ , поэтому, когда частота излучения при сканировании подходит к резонансу с переходом, стартующего с уровня  $F_g=3$ , для пика  $F_g=3$  получается избыточная флуоресценция. Когда же частота лазера растет (обратный проход, правая часть графика, рис.7а), то пик  $F_g=3$  оказывается меньше

потому, что заселенность уровня оказывается несколько меньше из-за оптической выкачки во время первого прохождения частоты лазера через него, а равновесная заселенность не успевает восстановиться. В режиме быстрого сканирования время релаксации атомов в ячейке себя никак не проявляет.

При медленном сканировании (рис.7 б), наоборот, время релаксации атомов в ячейке играет определяющую роль в формировании пиков. При частоте сканирования 1.5 Гц релаксации существенна не только при прохождении частоты лазера от пика  $F_g=2$  до пика  $F_g=3$ , но во время прохождения внутри пиков. Зато прямое и обратное движения частоты лазера никак не влияют друг на друга и могут рассматриваться независимо. Здесь существенное значение приобретает последовательность прохождения переходов  $F_g=2,3 \Rightarrow F_g=2,3$  из-за разницы силы осцилляторов этих переходов. А порядок последовательности входа этих переходов в резонанс с излучением меняется на обратный при смене направления сканирования частоты лазера. Все эти причины формируют наблюдаемую форму спектра.

(Публикации [7 – 9])

#### **4. Экспериментальное исследование специфики проявления парного эффекта Дике в опытах с магнитным полем, изменяющим частоты атомов коррелирующей пары**

Исследованы результаты экспериментов по выявлению парного эффекта Дике при наличии магнитного поля, изменяющего частоты изотопических атомов коррелирующей пары. Выяснено, что в зависимости от расстояния между изотопами они образуют когерентную суперпозиционную пару, которая может находиться в сверхизлучательном или субизлучательном состояниях. То есть в опытах с магнитным полем эффект Дике может проявляться не только в синфазной, но и в противофазной форме. Показано, что при уменьшении концентрации одного из изотопов, оптикомагнитные резонансы пересечения частот (ОМРПЧ) приобретают квадратурную форму, с амплитудой намного превышающей относительную концентрацию примесного изотопа. В опытах с поглощением лазерного излучения в смеси изотопов выяснено, что эффект обусловлен «оптической накачкой» примесного изотопа.

(Публикации [10]).

## Заключение

В процессе исследований за отчетный период выявлены следующие закономерности и особенности.

Операционное определение геометрической фазы в квантовых системах распространено на открытые системы, обменивающиеся с окружением информацией и энергией. Удалось найти явное выражение фазы как функции истории контактов кубита с окружением. Это первый результат подобного рода. Геометрическая фаза определена также для системы с пред- и пост-селекцией её квантового состояния, т.е. для наиболее общего понятия квантового состояния, известного на сегодняшний день. Формирование геометрической фазы в этих условиях происходит в определённой степени не только под влиянием информации из прошлого, но и из будущего. При этом не происходит никакого нарушения принципа причинности.

Обнаружен эффект сужения линии поглощения легких атомов щелочных металлов в атмосфере тяжелых инертных газов при росте интенсивности излучения. Этот эффект обусловлен сильным различием скоростей столкновительной релаксации по направлению и по величине скорости легких резонансных частиц в атмосфере тяжелых буферных частиц и отсутствием столкновительных переходов между сверхтонкими компонентами основного состояния.

Найдены и описаны физические причины различия деформации и асимметрии спектра линии D1 атомов Rb в ячейке с антирелаксирующим покрытием в зависимости от скорости сканирования частоты лазерного излучения.

Представлены результаты опытов по наблюдению изотопических резонансов, в которых эффект Дике проявляется в виде чисто синфазных оптикомагнитных резонансов пересечения частот (ОМРПЧ) и в комбинации с квадратурными ОМРПЧ.

Полученные за отчетный период научные результаты согласуются с ожиданиями, так что продолжение исследований в рамках проекта представляется целесообразным.

### Список использованных источников

1. Yakovleva T.S., Rostom A.M., Tomilin V.A., Ilichov L.V. Geometric phase in open quantum system as a function of its history // *Quantum Stud.: Math. Found.*, 2019. V.6, P.217-224. DOI: 10.1007/s40509-018-00179-x
2. Yakovleva T.S., Rostom A.M., Tomilin V.A., Ilichov L.V. Quantum geometric phase under pre- and post-selection // *Quantum Electronics*, 2019. V.49 (5), P.439-442. DOI: 10.1070/QEL17014
3. Yakovleva T.S., Rostom A.M., Tomilin V.A., Ilichov L.V. Geometric phase transferred from photonic mode to atomic BEC // *Opt. Commun.*, 2019. V.436, P.52-56. DOI: 10.1016/j.optcom.2018.12.001
4. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Сужение линии поглощения легких атомов щелочных металлов в атмосфере тяжелых инертных газов при росте интенсивности излучения // *Оптика и спектроскопия*. 2019. Т. 127, вып. 5. С. 721–729. DOI 10.21883/OS.2019.11.48505.118-19.
5. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Влияние геометрии накачки на эффективность генерации лазера на парах щелочных металлов // *Квантовая электроника*. 2019. Т. 49, № 2. С. 103–110. DOI 10.1070/QEL16775.
6. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Повышение чувствительности эффекта светоиндуцированного дрейфа к потенциалам межатомного взаимодействия при использовании смеси двух буферных газов // *Квантовая электроника*. 2019. Т. 49, № 7. С. 683–688. DOI 10.1070/QEL16856.
7. Nasyrov K. A., Gateva S., Nasyrov R. K., Petrov N., Tsvetkov S., Krasteva A., Cartaleva S.. Asymmetric frequency-tuning behavior of the D1 line hyperfine spectrum of Rb vapor contained in high quality paraffin coated optical cell. // *Proceedings SPIE*, 2019. V. 110470U. <https://doi.org/10.1117/12.2516634>
8. Nasyrov K., Gateva S., Tsvetkov S., Nasyrov R., Cartaleva S. New behavior of the D1 line hyperfine spectrum of Rb vapor contained in an optical cell with high quality paraffin coating.// *AIP Conference Proceedings*, 2019. V. 2075, No 1. 030006. <https://doi.org/10.1063/1.5091150>.
9. Nasyrov K. A., Gateva S., Nasyrov R.K., Petrov N., Tsvetkov S., Andreeva C., Leonov N., Cartaleva S. Frequency-tuning behavior of the D1 line hyperfine spectrum of Rb vapor contained in a high-quality paraffin-coated optical cell.// *Book of Abstract*,

Twenty-first International Summer School VEIT 23 – 27 September 2019, Sozopol, Bulgaria, P.143.

Интернет страница: <http://www.veit.ie-bas.org/Book-VEIT-2019.pdf>

10. Сапрыкин Э. Г. Инверсия вклада изотопов малой относительной концентрации в суммарный коэффициент поглощения смеси изотопов неона на переходе  $3s^2-2p^4$ . // Опт. и спектр., 2019, том. 127, вып. 2, стр. 179-190.  
DOI: 10.21883/OS.2019.08.48027.122-18.

## *Приложение*

### **План исследований в 2020 году по проекту**

**Теоретическое исследование способа контроля делокализованного атомарного конденсата в комбинированной схеме когерентной обратной связи и обратной связи, основанной на измерениях. Теоретическое исследование схемы трансформирования состояния делокализованного атомарного конденсата однофотонным интерферометрическим зондированием с пост-селекцией.**

#### ***Ожидаемый результат:***

Предполагается определить параметры петли обратной связи, обеспечивающие наиболее эффективное преобразование состояния конденсата.

Предполагается найти множество распределений чисел атомов конденсата между его различными локализациями после трансформации и исследовать фазовые соотношения соответствующих состояний через величину потока атомов между фрагментами конденсата.

**Реализация оптической дипольной ловушки для холодных атомов рубидия.**

#### ***Ожидаемый результат:***

Будет создана оптическая дипольная ловушка на основе длиннофокусного объектива.

**Теоретическое исследование влияния столкновений на спектр резонансной флуоресценции возбуждаемых двумя монохроматическими полями трехуровневых атомов с V-конфигурацией уровней.**

#### ***Ожидаемый результат:***

Ожидается, что в определенных условиях ширина линии спонтанного испускания на одном из переходов будет полностью определяться релаксационными константами смежного перехода. В частности, ширина линии спонтанного испускания может быть многократно сужена при росте интенсивности излучения, резонансного смежному переходу.

**Исследование влияния направления и скорости сканирования частоты лазерного излучения на спектр резонансного поглощения паров щелочных металлов в ячейках с антирелаксационным покрытием в присутствии магнитного поля.**

#### ***Ожидаемый результат:***

На примере Rb будет теоретически исследовано влияние скорости и направления сканирования частоты лазера на форму пиков D1 (или D2) линии в присутствии лабораторного магнитного поля в ячейках с антирелаксирующим покрытием. Будет

показано заметное влияние магнитного поля на спектр поглощения. Результаты будут сопоставлены с данными проведенного эксперимента.