

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
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 121021800168-4

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института

чл.-корр. РАН

_____ С.А. Бабин
« ____ » _____ 2021 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

КОГЕРЕНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ И ЭФФЕКТЫ СТОЛКНОВЕНИЙ ДЛЯ АТОМОВ И
ИХ КОНДЕНСАТОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ.

(промежуточный)

Направления ПФНИ: 1.3.5.1. Взаимодействие лазерного излучения с веществом, в том числе в сверхсильных полях; создание лазеров сверхкоротких сверхмощных импульсов излучения

1.3.5.2. Перспективные методы оптических квантовых вычислений и квантовых коммуникаций

1.3.5.5. Физика лазеров и лазерных материалов; нелинейные оптические явления

Протокол Ученого совета ИАиЭ СО РАН
№ 21-16 от «21» декабря 2021 г.

Руководитель НИР
научный руководитель
Института, академик

(подпись)

А.М. Шалагин

Новосибирск 2021

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель работы,
академик

(подпись)

А.М. Шалагин
(реферат, введение,
заключение, приложение,
раздел 3)

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

(подпись)

П.Л. Чаповский
(раздел 1)

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

(подпись)

Л.В. Ильичев (раздел 2)

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

(подпись)

К.А. Насыров (раздел 4)

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

(подпись)

А.И. Пархоменко
(раздел 3)

Исполнители:

Н.с., к.ф.-м.н.

(подпись)

В.А. Томилин (раздел 2)

Инженер

(подпись)

А.М. Ростом (раздел 2)

Старший инженер-
программист

(подпись)

Е.В. Ильичева (оформление)

РЕФЕРАТ

Всего 16 с., 9 рисунков, 9 источников.

Ключевые слова: *ультрахолодные атомы, квантовые корреляции, геометрическая фаза, причинные петли, конденсат Бозе-Эйнштейна, пост-селекция, лазерная генерация, спектральная линия, столкновительная релаксация,*

Проведена подготовительная работа по экспериментальному исследованию свойств ультрахолодных атомов рубидия в магнитной ловушке. Измерение распределения атомов рубидия по скоростям будет осуществлено с помощью нелинейно-оптических резонансов, индуцированных эффектом отдачи. Созданы необходимые для этого мощные лазерные поля с высокой взаимной когерентностью, на уровне 10^{-5} Гц.

Предложена новая модель описания эволюции квантовых систем в присутствии причинных петель. В основе этой модели, названной S-СТС, лежит эпистемологическая трактовка понятия квантового состояния исключительно как особой формы знания наблюдателя о процедуре приготовления системы.

Предложена и исследована “гибридная” атомарно-оптическая схема интерферометра-гироскопа. Её основой служит кольцевая конфигурация атомарного конденсата Бозе–Эйнштейна (БЭК), нарушенная в некотором участке дополнительным потенциальным барьером или ямой. Этот дефект кольцевой конфигурации создается пучком нерезонансного излучения, дисперсионно взаимодействующего с попадающими в его область атомами.

Показано, что пост-селекция состояния квантовой системы выявляет картину интерференции, скрытую в массиве данных измерения. Изучение интерференционной картины даёт возможность измерить параметры очень слабых эффектов.

Теоретически показано, что возможна эффективная лазерная генерация двухуровневыми частицами газа в “красном” крыле их спектральных линий при резонансной накачке лазерными диодами. Эффект обусловлен тем, что при выравнивании заселенностей (резонансным излучением накачки) в «красном» крыле спектральной линии вероятность вынужденного испускания превышает вероятность поглощения, если однородное уширение из-за взаимодействия частиц с буферным газом существенно превышает естественное (при больших давлениях буферного газа).

Развита теория для описания взаимодействия излучения с атомом при резонансе с переходом на второй возбуждаемый уровень с учетом тонкого и сверхтонкого расщепления уровней, а также спонтанных переходов через промежуточные уровни в присутствии магнитного поля. На основе развитой теории была создана численная программа для расчета взаимодействия излучения с такими многоуровневыми системами.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1. Исследование свойств атомов рубидия в магнитной ловушке: Эффективная загрузка магнитной ловушки атомами из магнитооптической ловушки, ВЧ испарительное охлаждение атомов в магнитной ловушке, фазовая плотность атомов и их распределение по скоростям.....	6
2. Новая модель вероятностей исходов измерения над кубитом, эволюционирующим по замкнутой мировой линии. Сопоставление с предсказаниями известной модели Д. Дойча.....	8
3. Теоретическое исследование возможности усиления и генерации излучения двухуровневой системой в "красном" крыле ее спектральной линии при резонансной накачке лазерными диодами.....	10
4. Теоретическое описание магнитооптических явлений при поглощении монохроматического излучения атомами щелочных металлов резонансно с переходом на второй возбужденный уровень с учетом тонкого и сверхтонкого расщеплений.....	13
Заключение.....	13
Список использованных источников.....	15
Приложение (план исследований в 2022 году по проекту).....	16

Введение

Современные методы лазерного охлаждения на основе магнитооптических ловушек позволяют создавать макроскопические ансамбли атомов с температурой на уровне 100 микроК. Такие физические объекты дают возможность по-новому решать задачи линейной и нелинейной лазерной спектроскопии без доплеровского уширения. Еще более низкие температуры (на уровне 100 наноК) можно достигнуть с использованием охлаждения в магнитных ловушках и с помощью бозе-эйнштейновской конденсации нейтральных атомов. Важное современное направление исследований связано с применением ультрахолодных атомов в задачах квантовой информатики.

В начале 90-х годов прошлого века в теоретической квантовой физике появилось новое направление – исследование эволюции простейших систем в присутствии замкнутых причинных петель (СТС – Closed Time-like Curves). Внимание к такого рода задачам привлекла работа Д. Дойча – одного из основателей квантовой компьютерики. Несмотря на некоторую экзотичность постановки была быстро понята важность этого направления, что стимулировало поток публикаций. С одной стороны, оно оказывается пограничным для двух основ современной физики – квантовой механики и общей теории относительности, и проливает свет на их взаимоотношение. С другой – это направление в исходной постановке Дойча оказалось ценным для выяснения природы квантовой информации и способов её обработки.

Новые квантовые технологии должны становятся основой методики сверхчувствительных измерений. В частности, актуальным является создание систем автономной инерционной навигации. Есть все основания ожидать появления новых поколений квантовых гиromетров, функционирующих на основе известного эффекта Саньяка, но использующих вместо света волновые свойства материи – атомарного конденсата Бозе-Эйнштейна.

Лазеры на парах щелочных металлов с диодной накачкой показали свою эффективность и в настоящее время они являются основой лазерных систем высокой мощности. В модель этих лазеров заложена трехуровневая V- система с близкими верхними уровнями, между которыми происходит активное столкновительное перемешивание. Как было показано нами ранее, в двухуровневой системе также можно получить лазерную генерацию при резонансном оптическом возбуждении. Она возможна вследствие столкновений, когда в крыле спектральной линии вероятности поглощения и вынужденного испускания перестают быть равными друг другу. В данном проекте мы

намерены исследовать возможность реализации генерации в красном крыле спектральной линии при резонансной диодной накачке.

1. Исследование свойств атомов рубидия в магнитной ловушке: Эффективная загрузка магнитной ловушки атомами из магнитооптической ловушки, ВЧ испарительное охлаждение атомов в магнитной ловушке, фазовая плотность атомов и их распределение по скоростям.

Продолжена работа по экспериментальному исследованию свойств ультрахолодных атомов рубидия в магнитной ловушке. Осуществлено ВЧ испарительное охлаждение в новой магнитной ловушке типа QUIC атомов ^{87}Rb , находящихся на сверхтонком уровне $F=2$. Магнитная ловушка QUIC представлена на рис.1. Ловушка состоит из двух квадрупольных катушек и дополнительной катушки, которая превращает квадрупольное магнитное поле в поле ловушки QUIC.

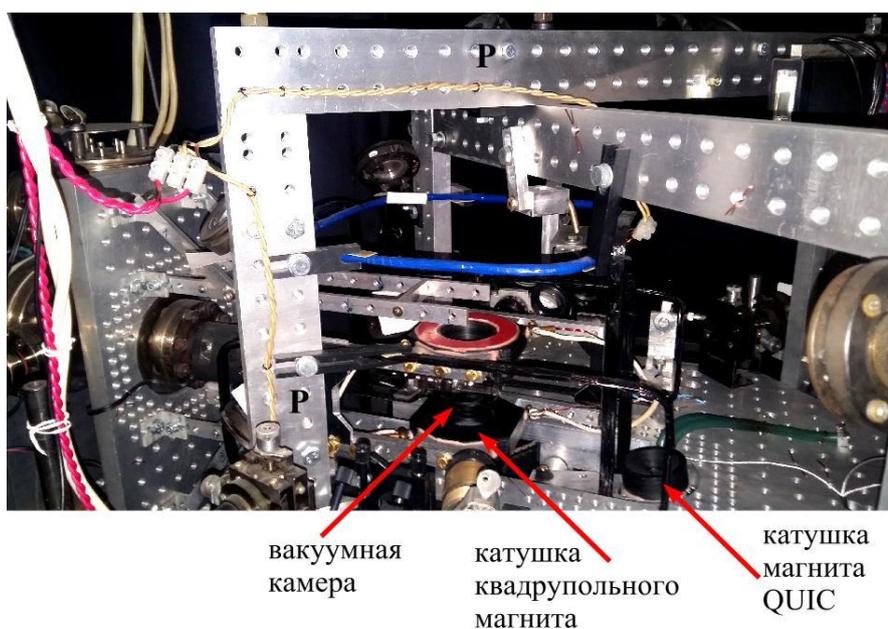


Рис. 1. Внешний вид установки для охлаждения атомов в магнитной ловушке QUIC.

Магнитный потенциал ловушки QUIC имеет сигарообразную форму, представленную на рис.2. Важной особенностью магнитного потенциала ловушки QUIC является то, что в минимуме потенциала ловушки магнитное поле не равно нулю. Это позволяет устранить потери холодных атомов в магнитной ловушке из-за эффекта Майораны.

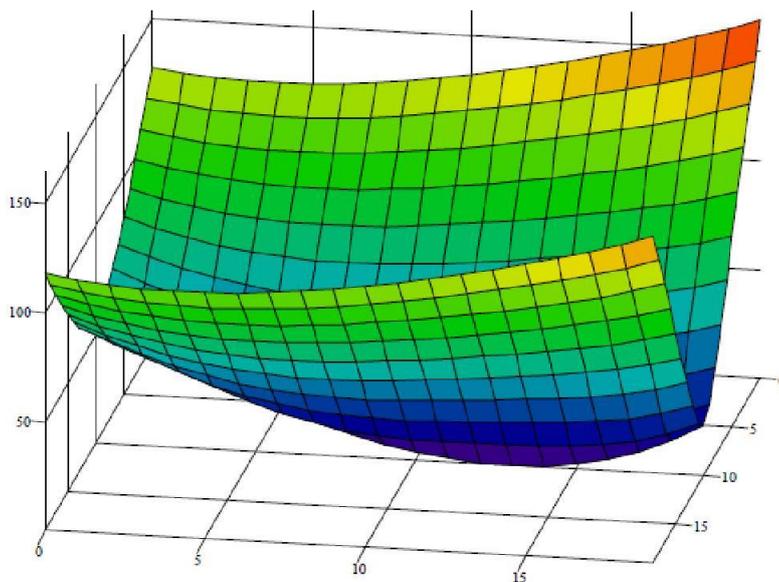
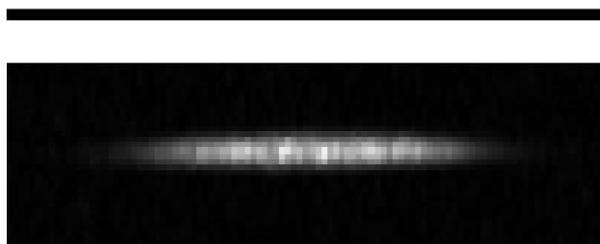


Рисунок 2. Распределение магнитного поля в магнитной ловушке QUIC. По вертикальной оси указан модуль магнитного поля в Гс, расстояния в горизонтальной плоскости указаны в миллиметрах.

Для эффективной загрузки атомов ^{87}Rb из магнитооптической ловушки в магнитную ловушку создана система оптической накачки атомов рубидия на зеemanовский подуровень $F=2, M=2$ резонансным излучением с круговой поляризацией. Атомы ^{87}Rb в состоянии $F=2, M=2$ имеют минимум потенциала в минимуме магнитного поля ловушки QUIC и поэтому удерживаются в ловушке QUIC.

1 mm



B0a-1-0.65

Рис. 3. Изображение облака холодных атомов рубидия в магнитной ловушке QUIC.

Построена простая модель испарительного охлаждения атомов рубидия в магнитной ловушке. Модель позволяет оптимизировать скорость изменения частоты ВЧ поля для достижения максимальной фазовой плотности атомов в конце испарительного охлаждения.

Измерение распределения атомов рубидия по скоростям будет осуществлено в наших экспериментах с помощью нелинейно-оптических резонансов, индуцированных

эффектом отдачи. Созданы необходимые для этого мощные лазерные поля с высокой взаимной когерентностью, на уровне 10^{-5} Гц. Для создания когерентных световых полей использованы акустооптические модуляторы, управляемые цифровыми синтезаторами радиочастот.

2. Новая модель вероятностей исходов измерения над кубитом, эволюционирующим по замкнутой мировой линии. Сопоставление с предсказаниями известной модели Д. Дойча.

Эволюция квантовой системы в условиях нарушенной структуры причинных связей

В работе [1] предложена новая модель описания эволюции квантовых систем в присутствии причинных петель. В основе этой модели, названной S-СТС, лежит эпистемологическая трактовка понятия квантового состояния исключительно как особой формы знания наблюдателя о процедуре приготовления системы. Эта новая модель радикально отличается от модели Д. Дойча, известной как D-СТС, в которой используется явная онтологическая трактовка квантового состояния как особого рода физической реальности. Проведено сравнение S-СТС с D-СТС и другой известной моделью P-СТС, основанной на пост-селекции квантовых состояний. В схемах с взаимодействием между

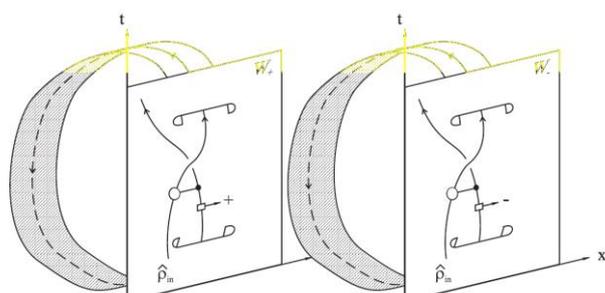


Рис. 4

системой и её более старой версией, вернувшейся из будущего, модель S-СТС демонстрирует формальное сходство с моделью P-СТС. Напротив, при вычислении вероятности исхода измерения в интервале времени между выходом и входом в петлю СТС, сходство обнаруживается между S-СТС и D-СТС. Обе эти модели при своём последовательном применении к ситуации с измерением требуют рассмотрения альтернативных реальностей (миров), отвечающих различным возможным исходам, и альтернативных способов соединения этих реальностей через СТС (см. Рис.4 и Рис.5). Это необходимо для возможности непротиворечивого введения понятия вероятностей исходов измерения. При исследовании совместного распределения вероятностей исходов измерения, проводимого над

системой и её более старой версией, вернувшейся из будущего, модель S-СТС демонстрирует формальное сходство с моделью P-СТС. Напротив, при вычислении вероятности исхода измерения

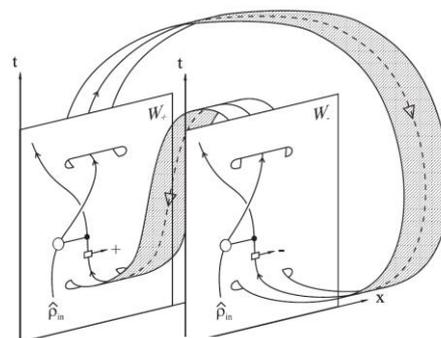


Рис. 5

системой в зацепленном состоянии учёт различных топологий соединения миров необходим для избавления от нефизического явления «сверхсветового телеграфа».

Гибридная атомарно-оптическая квантовая гироскопия

В работах [2, 5] предложена и исследована “гибридная” атомарно-оптическая схема интерферометра-гироскопа. Её основой служит кольцевая конфигурация атомарного конденсата Бозе–Эйнштейна (БЭК), нарушенная в некотором участке дополнительным потенциальным барьером или ямой. Этот дефект кольцевой конфигурации создается пучком нерезонансного излучения, дисперсионно взаимодействующего с попадающими в его область атомами. Пучок распространяется по одному из путей интерферометра Маха–Цандера (см. Рис.6). Вращение системы отсчета гироскопа из-за наличия дефекта кольцевой структуры модифицирует состояние

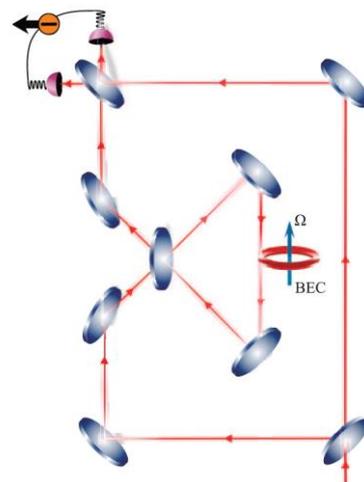


Рис. 6

конденсата, а тот, в свою очередь, меняет условия интерференции излучения, взаимодействующего с атомами. В отличие от известных нам идей использования БЭК в гироскопии, предусматривающих разрушение конденсата для непосредственного наблюдения его интерференции, предлагаемая схема в идеале функционирует без потери атомов конденсатом. Для реалистичных условий сделаны оценки эффективности схемы.

Квантовая метрология на основе пост-селекции состояний

Для описания квантовых ансамблей до и после селекции состояний обычно используется комплексная величина, называемая слабым значением оператора, не ограниченная возможными собственными значениями соответствующей наблюдаемой.

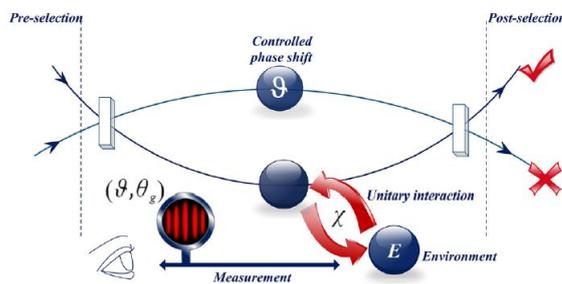


Рис. 7

Получение аномального слабого значения считается мощным методом квантовой метрологии. В работе [3] показано, что пост-селекция состояния квантовой системы выявляет картину интерференции, скрытую в массиве данных измерения (см. Рис.7). Изучение интерференционной картины даёт возможность измерить параметры очень слабых эффектов. Это также доказывает, что слабые значения не являются элементами

реальности. Используя одиночные фотоны, исследуется, как пост-селекция может дать сдвиг фазы, равный π , при их слабом взаимодействии в нелинейно-оптической среде. Увеличение степени запутанности лежит в основе эффективности пост-селекции при оценке параметров. В частности, организация пост-селекции на чистых запутанных состояниях может оптимизировать отношение сигнал / шум, позволяющее проводить высокочувствительные измерения с использованием низкой входной мощности.

(Публикации [1 – 5]).

3. Теоретическое исследование возможности усиления и генерации излучения двухуровневой системой в "красном" крыле ее спектральной линии при резонансной накачке лазерными диодами.

Теоретически исследован новый тип газового лазера — двухуровневый газовый лазер с поперечной диодной накачкой. Лазерное излучение генерируется без инверсии населенностей в «красном» крыле спектральной линии системы двухуровневых атомов при резонансном поглощении широкополосного излучения диодов накачки активными частицами, находящимися в атмосфере буферного газа при высоком его давлении. Причиной возникновения этого эффекта является то обстоятельство, что при больших давлениях буферного газа (когда однородное уширение из-за взаимодействия частиц с буферным газом существенно превышает естественное) в «красном» крыле спектральной линии вероятность вынужденного испускания превышает вероятность поглощения (спектральные плотности коэффициентов Эйнштейна для поглощения и вынужденного испускания вследствие столкновений перестают быть равными друг другу).

Использование поперечной диодной накачки активной среды, помещенной в оптический резонатор, позволяет получить лазерную генерацию с повышенной мощностью и перестройкой частоты и тем самым решить задачу эффективного преобразования некогерентного широкополосного излучения в когерентное лазерное в газе двухуровневых активных частиц.

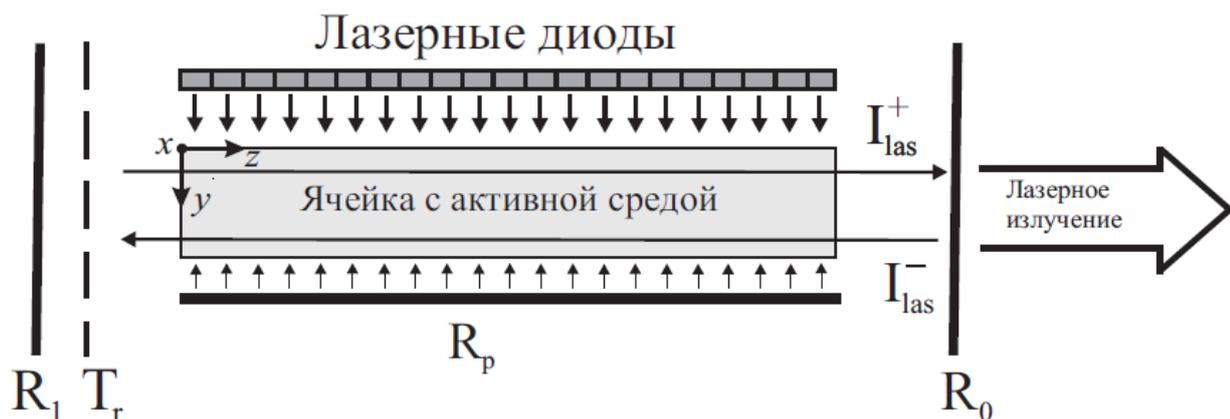


Рис. 8. Схема двухуровневого газового лазера с поперечной диодной накачкой.

Работа двухуровневого лазера описывается сложной системой дифференциальных уравнений, которая в общем случае поддается решению только численными методами. При не слишком малом коэффициенте отражения выходного зеркала R_0 населенности уровней атомов активной среды практически не зависят от координаты z вдоль оси ячейки. В этом приближении система дифференциальных уравнений сильно упрощается и допускает аналитическое решение, которое позволяет исчерпывающе определить любые энергетические характеристики лазера. Расчеты по аналитическим формулам показывают, что эффективность преобразования излучения накачки в лазерное излучение P_{las}^{out}/P_{op} тем больше, чем длиннее активная среда, чем выше давление буферного газа и интенсивность излучения накачки и чем меньше ширина спектра излучения накачки. Существуют оптимальные значения параметра Ny_0 (число активных атомов в ячейке в столбе газа шириной y_0 с единичным поперечным сечением) и коэффициента отражения выходного зеркала R_0 , при которых максимум P_{las}^{out}/P_{op} как функции отстройки частоты генерируемого лазером излучения Ω_{las} имеет наибольшее значение.

При реалистичных параметрах рабочей среды и излучения накачки в достаточно длинной активной среде (при отношении длины к ширине ячейки $z_0/y_0 = 50$) эффективность преобразования достигает 44% при давлении буферного газа 5 атм, интенсивности излучения диодов накачки 3 кВт/см² и полуширине спектра излучения накачки 1 см⁻¹. При этом средний удельный съем мощности лазерного излучения с активной среды P_{las}^{out}/V составляет примерно 1 кВт/см³. Примеры зависимости эффективности преобразования излучения накачки в лазерное показаны на Рис. 9.

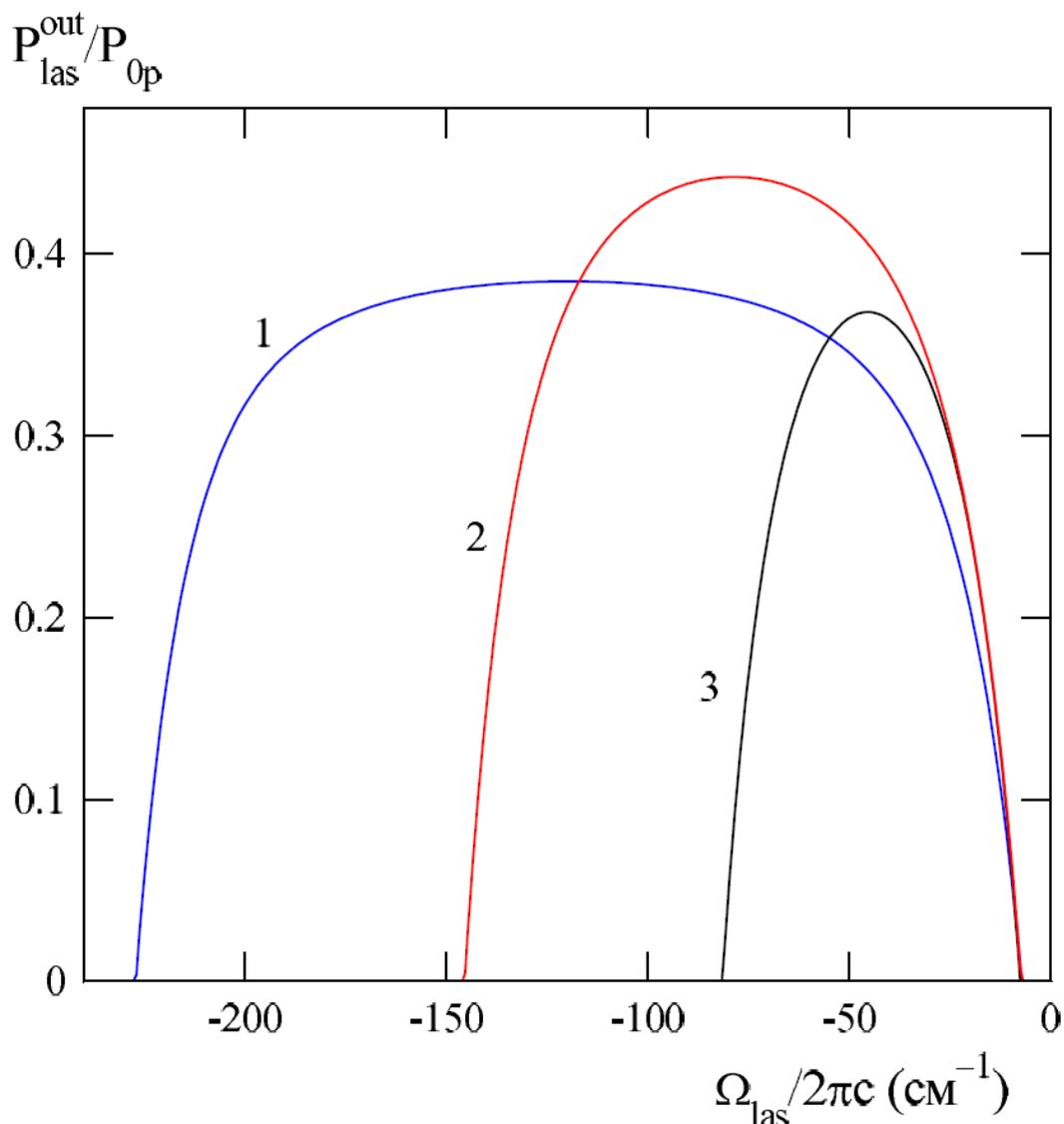


Рис. 9. Влияние коэффициента отражения выходного зеркала R_0 на эффективность преобразования излучения накачки в лазерное излучение.

$I_{0p} = 3 \text{ кВт/см}^2$, $\omega = (2\pi c) = 1 \text{ см}^{-1}$, $T = 430 \text{ K}$, $N_{y_0} = 3,55 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$, $p_{\text{He}} = 5 \text{ атм}$, $\frac{z_0}{y_0} = 50$, $R_1 = R_p = 1$, $T_r = 0,995$, $\omega_p = \omega_{21}$; $R_0 = 0,985$ (1), $0,967$ (2), $0,930$ (3).

Необходимо отметить, что двухуровневый газовый лазер имеет достаточно широкую полосу усиления (несколько десятков обратных сантиметров). Поэтому в селективном резонаторе (при использовании оптических внутрирезонаторных частотно селективных элементов) можно получать лазерную генерацию с перестройкой частоты в довольно широких пределах. Двухуровневый газовый лазер с поперечной диодной накачкой способен генерировать непрерывное оптическое излучение с очень высокой (до сотни киловатт) мощностью.

(Публикации [6 – 8])

4. Теоретическое описание магнитооптических явлений при поглощении монохроматического излучения атомами щелочных металлов резонансно с переходом на второй возбужденный уровень с учетом тонкого и сверхтонкого расщеплений.

В нашей публикации [9] приведены экспериментальные результаты по изучению магнитооптического резонанса на оптическом переходе $4s^2S_{1/2} \rightarrow 5p^2P_{3/2}$ калия при возбуждении лазерным излучением второго резонансного уровня атома калия в оптических ячейках, содержащих горячие пары калия. При возбуждении второго резонансного уровня калия распад идет не прямо в основное состояние, а большей частью через промежуточные состояния $5s^2S_{1/2}$, $3d^2D_{3/2}$, $3d^2D_{5/2}$, $4p^2P_{1/2}$, $4p^2P_{3/2}$. При этом имеется несколько конкурирующих между собой путей распада возбужденного состояния. Это является основным отличием от хорошо известного резонансного возбуждения. Очевидно, что форма и ширина магнитооптического резонанса в данном случае также зависит от скорости распада на промежуточные уровни и их факторов Ланде. Для количественного сопоставления теоретических расчетов с экспериментальными результатами необходимо было разработать принципиально новую математическую модель для многокаскадных переходов в системе многоуровневых состояний и реализовать ее для численного моделирования. В этой связи была развита численная модель для описания взаимодействия излучения с атомом при резонансе с переходом на второй возбуждаемый уровень с учетом тонкого и сверхтонкого взаимодействия, а также спонтанных переходов через промежуточные уровни, и все это в присутствии магнитного поля. На основе этой модели была создана численная программа для расчета взаимодействия излучения с такими многоуровневыми системами. В настоящее время проводится отладка и тестирование программы.

(Публикации [9]).

Заключение

Обнаружены следующие аспекты сходства и различия моделей D-СТС, P-СТС и S-СТС. В отсутствие измерений, но при наличии взаимодействия между версиями квантовой системы, P-СТС и S-СТС предсказывают одинаковые конечные состояния при равных начальных. Несмотря на радикальное различие моделей, вероятности исходов измерения в D-СТС и S-СТС одинаковые. В обоих случаях для получения осмысленного результата оказалось необходимым совместно рассматривать реальности, в которых

получены альтернативные исходы. Вероятности, предсказываемые в модели P-СТС, отличны от результатов D-СТС и S-СТС. Конечные состояния различаются во всех трёх моделях.

Предложена схема оптико-атомарного гиromетра. Чувствительным к вращению элементом схемы служит тороидальная структура атомарного конденсата, нарушенная дополнительным оптическим потенциалом. Потенциал создается полем моды кольцевого резонатора, помещенного в интерферометр Маха–Цандера. Оценки показывают возможность обнаружения суточного вращения Земли при диаметре тороидальной структуры конденсата всего 0.4 см.

Развитие получила идея квантовой метрологии на основе пост-селекции состояний фотонных систем, альтернативная известному методу слабых измерений и слабых значений. Изучение интерференционной картины даёт возможность измерить параметры очень слабых эффектов.

Теоретически исследована возможность усиления и генерации излучения двухуровневой системой без инверсии населенностей в «красном» крыле ее спектральной линии при резонансной диодной накачке. Двухуровневой системой моделируются атомы активного газа, при этом он находится в атмосфере буферного газа высокого давления. Показано, что интенсивности современных диодных лазеров накачки вполне достаточно, чтобы обеспечить усиление излучения в «красном» крыле спектральной линии. При поперечной диодной накачке возможно достичь высокого коэффициента преобразования (до 44%) излучения накачки в лазерное излучение. Особенно важно, что лазерное излучение может перестраиваться по частоте в широких пределах (в десятки обратных сантиметров). Обычным масштабированием можно добиться высокой мощности генерации (до 100 кВт).

Список использованных источников

1. A.V. Shepelin, A.M. Rostom, V.A. Tomilin, and L.V. Il'ichov, Multiworld motives by closed time-like curves // Journal of Physics: Conference Series, 2021. V.2081. P.012029
doi:10.1088/1742-6596/2081/1/012029
2. В.А.Томилин, Л.В.Ильичёв, Гибридная атомарно-оптическая квантовая гиromетрия // Письма в ЖЭТФ, 2021. Т.113. С.212.
doi:10.31857/S1234567821030101
3. A.M. Rostom, Optimal Settings for Amplification and Estimation Of Small Effects In Postselected Ensembles // Ann. Phys. (Berlin), 2021. P.2100434.
doi: 10.1002/andp.202100434
4. Il'ichov L.V., Rostom A.M., Shepelin A.V., Tomilin V.A. Multiworld Motives by Closed Time-like Curves. // XXII International Scientific Conference Physical Interpretations of Relativity Theory - 2021 (PIRT-2021). Moscow, 5-9 July, 2021. Abstracts, Bauman Moscow State Technical University, 2021. P.48-49. <http://www.pirt.info/files/blocks/PIRT-2021/documents/PIRT-2021%20Abstracts.pdf>
5. Томилин В. А., Ильичёв Л. В. Новая схема гибридной атомарно-оптической квантовой гироскопии: основной формализм и оценки величин. // Всероссийская конференция Физика ультрахолодных атомов – 20-22 декабря 2021 года. Новосибирск, устное выступление. ultracoldatoms2021.laser.nsc.ru (Программа)
6. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. О возможности безынервного усиления и генерации излучения двухуровневой системой в «красном» крыле ее спектральной линии при резонансной диодной накачке. // Квантовая электроника. 2021. Т. 51, № 10. С. 915–919.
doi: 10.1070/QEL17633.
7. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Двухуровневый газовый лазер с поперечной диодной накачкой // Квантовая электроника (в печати).
8. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Влияние столкновений на спектр резонансной флуоресценции трехуровневых атомов с V-конфигурацией уровней // Оптика и спектроскопия. 2021. Т. 129, вып. 9. С. 1099–1110.
doi: 10.21883/OS.2021.09.51333.201-21.
9. Gateva S., Tsvetkov S., Todorov G., Gozzini S., Nasyrov K., Andreeva C., Cartaleva S. Coherent magneto-optical resonances in hot potassium vapor // Journal of Physics: Conference Series. 2021.V.1859. P. 012022.
doi: 10.1088/1742-6596/1859/1/012022

Приложение (план исследований в 2022 году по проекту)

Блок 1. Исследования ультрахолодных атомов в двухъямных оптических потенциалах.

2022 г.: Исследование загрузки атомов рубидия из магнитной ловушки в одиночный и двухъямный оптический потенциалы, эффекты согласования фазовых плотностей атомов. Свойства атомов рубидия в оптических потенциалах.

Ожидаемый результат:

Будет осуществлена загрузка атомов рубидия из магнитной ловушки в одиночный и двухъямный оптический потенциалы.

Блок 2. Новые эффекты геометрической фазы как способ контроля когерентных свойств квантовых систем.

2022 г.: Исследование квантовой интерференции в присутствии причинных петель.

Ожидаемый результат:

Будут исследованы особенности квантовой интерференции в присутствии причинных петель.

Блок 3. Исследование новых способов генерации когерентного излучения, индуцированного столкновениями в газе, особенности спектра флуоресценции в многоуровневой газовой системе.

2022 г.: Теоретическое исследование работы лазера на метастабильных атомах инертных газов с поперечной диодной накачкой. Расчеты оптических спектров флуоресценции как с возбуждаемого уровня, так и с первого резонансного уровня при поглощении монохроматического излучения резонансно переходу на второй возбужденный уровень.

Ожидаемый результат:

Будут выяснены оптимальные условия лазерной генерации при диодной накачке на переходе атомов инертных газов из метастабильного состояния.

В условиях поглощения монохроматического излучения резонансно переходу на второй возбужденный уровень будут исследованы спектры флуоресценции с верхнего и нижнего комбинирующих уровней.