

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Мохненко Сергея Николаевича «Межатомные и радиационные эффекты на ультрахолодных атомах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «Теоретическая физика».

Диссертация С. Н. Мохненко посвящена теоретическому исследованию эффектов межатомного взаимодействия и радиационных процессов в ридберговских атомах. В работе получены характеристики ван-дер-ваальсова взаимодействия и условия появления в нем резонанса Ферстера. Изучено взаимодействие циркулярных состояний с полем теплового излучения. Исследованы эффекты высших порядков во взаимодействии атомов магния с полем оптической решетки.

Актуальность темы диссертации.

Современные методы лазерного охлаждения и удержания нейтральных атомов предоставляют уникальные возможности для изучения квантовых свойств отдельных атомных частиц, а также ансамблей идентичных атомов. Для практического использования таких объектов необходимы детальные знания межатомных взаимодействий, а также взаимодействия с внешними электромагнитными полями атомов в нормальных и возбужденных состояниях. Значительное внимание в диссертации уделяется одному из важнейших свойств ридберговских атомов, которым является многократно усиленное по сравнению с нормальными и низковозбужденными атомами бинарное дальнедействующее взаимодействие, которое может быть использовано для сверхбыстрой передачи и обработки информации. Кроме того, ридберговские атомы, обладая высокими электромагнитными восприимчивостями, могут служить чувствительными сенсорами слабых остаточных полей лабораторной аппаратуры, а также теплового излучения окружающей среды. В этой связи вычисление энергий межатомного взаимодействия ридберговских атомов, предпринятое в диссертации, представляет собой актуальную задачу. Выполненные в

диссертации расчеты вероятностей радиационных переходов из ридберговских состояний предоставляют новую информацию о процессах взаимодействия с внешними полями и могут быть полезными, в частности, для оценки влияния излучения черного тела на сдвиг и уширение высоковозбужденных уровней энергии. Возможным применением результатов данных расчетов может служить и решение обратной задачи – определения температуры теплового излучения по сдвигу и уширению энергетических уровней.

Вторая область применения ультрахолодных атомов – создание стандартов частоты на атомах в оптических решетках. В диссертации рассмотрен конкретный пример такого стандарта на атомах магния. Для оценки точности стандарта необходимо определить влияние всех внешних полей на частоту сильно запрещенного перехода между основным и метастабильным состояниями атома. В диссертации рассчитаны вклады в сдвиг стандартной частоты нелинейных и мультипольных эффектов взаимодействия атомов магния с наиболее важным внешним полем – с полем оптической решетки. На основании выполненных расчетов предложены методы оптимизации параметров оптической решетки, необходимые для достижения наивысшей точности частотного стандарта. Результаты выполненных в диссертации расчетов представляются вполне актуальными, поскольку могут быть полезны для дальнейших разработок стандартов частоты на нейтральных атомах.

Структура и объем диссертационной работы.

Диссертация изложена на 100 страницах, состоит из четырех глав, введения, заключения и списка литературы из 88 наименований.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость исследования, обсуждаются личный вклад автора и степень достоверности полученных результатов, излагаются основные научные положения, выносимые на защиту, а также приводится информация об апробации диссертационной работы и публикациях по теме исследования.

В первой главе описано асимптотическое взаимодействие между ридберговскими атомами в рамках теории возмущений для изолированных состояний. Результаты численных расчетов неприводимых компонент тензора Ван-дер-Ваальса, позволяющих определить зависимость энергии межатомного взаимодействия от ориентации межатомной оси относительно оси квантования проекций орбитальных моментов, представлены в виде асимптотических аппроксимаций для больших значений главного квантового числа.

Вторая глава посвящена определению условий появления резонанса Ферстера в дисперсионном взаимодействии ридберговских атомов. В частности, с помощью теории возмущений для вырожденных состояний определены межатомные расстояния, на которых энергия ван-дер-ваальсова взаимодействия с зависимостью от расстояния вида C_6/R^6 превращается в энергию диполь-дипольного взаимодействия вида C_3/R^3 . Установлена зависимость постоянной C_3 от магнитного квантового числа M и угла ориентации оси квантования относительно межатомной оси.

В третьей главе аналитически получены асимптотики для вероятностей связанно-связанных радиационных переходов из циркулярных ридберговских состояний атомов, а также зависимости сечений фотоионизации циркулярных состояний от главного квантового числа.

В четвертой главе определены диапазоны интенсивности поля и операционная магическая длина волны оптической решетки, обеспечивающие минимальный вклад в неопределенности стандарта частоты на атомах магния, обусловленный нелинейными, недипольными и ангармоническими эффектами взаимодействия атома с полем оптической решетки.

В заключении сформулированы основные результаты проведенных исследований, кратко обсуждаются возможные применения полученных в диссертации аппроксимаций, характеристик и асимптотик.

Степень обоснованности научных положений, выводов и результатов, представленных в диссертации.

Изложенные в диссертационной работе научные положения получены при использовании современных методов теоретической физики и представляются вполне обоснованными. Апробация диссертационной работы проводилась на международных научных конференциях, основные результаты диссертации достаточно полно изложены в 14 публикациях по теме исследования, 5 из которых включены в перечень, рекомендованный ВАК РФ. Достоверность полученных результатов подтверждается согласием с имеющимися в литературе теоретическими и экспериментальными данными.

Новизна научных положений и результатов.

К наиболее значимым новым результатам, представленным в диссертационной работе, можно отнести следующие:

1) количественные критерии проявления резонанса Ферстера в дисперсионном взаимодействии ридберговских атомов,

2) численные результаты расчетов энергии ван-дер-ваальсова взаимодействия атомов рубидия в ридберговских состояниях справедливые для произвольных главных квантовых чисел и произвольных ориентаций оси квантования относительно межатомной оси,

3) аналитические асимптотики для сечений фотоионизации атомов из циркулярных состояний,

4) количественные оценки вкладов в неопределенности частоты оптического стандарта на атомах магния, индуцируемых взаимодействием атомов с оптической решеткой магической частоты.

Замечания к диссертационной работе

1) Следует указать, возможно ли применение квазиклассического метода квантового дефекта (Давыдкин В.А., Зон Б.А. Оптика и спектроскопия 1981. Т.51. С.25) для расчетов взаимодействия ридберговских атомов.

2) Следовало бы обсудить правила квазиотбора при переходах с увеличением и уменьшением орбитального момента (формулы (3.8,9)).

