

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации О.Н. Прудникова «Поляризационные аспекты охлаждения и локализации атомов в лазерных полях» представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 «Лазерная физика».**

Диссертационная работа Прудникова О.Н. посвящена теоретическому исследованию кинетики нейтральных атомов в резонансных световых полях. По сути, эти исследования направлены на создание новых методов лазерного охлаждения и управления поступательными степенями свободы атомов, которые в настоящее время находят применение в различных областях физики. В их числе: управления атомными пучками, включая их фокусировку и коллимацию; спектроскопию сверхвысокого разрешения; исследования динамики атомов в оптических решетках; работы по Бозе-Эйнштейновской конденсации атомов; атомная литография, и т.д. Отдельно следует выделить работы по созданию оптических стандартов частоты на основе холодных атомов проводимые в институтах СО РАН.

В диссертации Прудникова О.Н. затрагивается ряд актуальных вопросов, касательно кинетики атомов с вырожденными по проекции углового момента уровнями в световом поле с неоднородной поляризацией. Рассматриваются конфигурации световых полей образованных волнами с эллиптической поляризацией, где имеются не только градиенты интенсивности и фазы светового поля (как для полей с однородной пространственной поляризацией), но также градиенты ориентации и параметра эллиптичности вектора электромагнитного поля. Прудниковым О.Н. впервые было показано, что для таких конфигураций световых полей в кинетике атомов появляется ряд особенностей, не встречающихся в ранее исследованных конфигурациях, образованных встречными волнами с линейными, либо круговыми поляризациями. В диссертации показано, что при использовании волн с эллиптической поляризацией в выражениях для силы и коэффициентах диффузии, описывающих кинетику атомов в квазиклассическом приближении, возникают новые, дополнительные вклады. В частности, было продемонстрировано появление «аномальной» силы трения, а также новой магнитооптической силы, имеющих иные зависимости от отстройки светового поля. Обнаруженные новые вклады влияют на характер кинетики атомов и могут быть использованы для оптимизации и достижения глубокого лазерного охлаждения атомов в магнитооптических ловушках, образованных волнами с эллиптической поляризацией, что

было продемонстрировано на примере атомов магния с использованием оптического P-D перехода.

Следует отметить, что для исследования поляризационных эффектов использовались два взаимно дополняющих подхода: квазиклассический подход, который позволил получить явные аналитические выражения для силы трения и коэффициента диффузии в приближении медленных атомов, и оригинальный квантовый подход, который позволил учесть квантовые эффекты при взаимодействии атомов с фотонами поля. Особенность предложенного квантового подхода состоит в том, что он дает возможность выйти за рамки рассматриваемых ранее ограничений при описании кинетики нейтральных атомов, в том числе и за рамки развитых ранее квантовых подходов. Оказалось, что наряду с такими параметрами системы как отстройка от резонанса атомного перехода, интенсивность и поляризационная конфигурация поля, еще очень важно значение «параметра квазиклассичности», который характеризует инертность атома по отношению к эффектам отдачи при взаимодействии с фотонами поля. В квазиклассическом подходе данный параметр считается бесконечно малым и выпадает из рассмотрения. Развитый Прудниковым О.Н. квантовый подход позволил выйти за рамки этого ограничения. Также было показано, что использование редуцированного квантового кинетического уравнения для описания кинетики холодных атомов в полях с малой интенсивностью, которое являлось основой развитых ранее квантовых подходов, применимо лишь в условиях предельной малости параметра квазиклассичности. В диссертации Прудникова О.Н. было убедительно показано, что параметр квазиклассичности является исключительно важной характеристикой, определяющей не только скорость кинетических процессов, но и стационарное состояние атомов в световом поле. При этом, поляризационные эффекты, приводящие к субдоплеровскому охлаждению атомов в полях с линейной и круговой поляризацией, а также обнаруженные ранее Прудниковым О.Н. поляризационные «аномальные» вклады в силу трения, имеющие четную зависимость от отстройки поля и приводящие к охлаждению даже в условиях точного резонанса, оказывают существенное влияние на кинетику лишь для атомов с малым значением параметром квазиклассичности. В условиях недостаточной малости этого параметра (что выходит за рамки квазиклассического описания) поляризационные вклады менее эффективны, что может приводить к невозможности субдоплеровского охлаждения.

Стоит отметить уникальность развитого Прудниковым О.Н. квантового подхода для анализа кинетики атомов с вырожденными по проекции углового момента уровнями в



полях произвольной одномерной конфигурации. Предложенный подход позволяет найти стационарное решение для атомной матрицы плотности с полным учетом эффектов отдачи, возникающих при взаимодействии атомов с фотонами поля, и произвольной поляризационной конфигурации световых полей. Универсальность предложенного подхода определяется тем, что он позволяет описывать как кинетику локализованных в оптическом потенциале атомов, так и атомов, совершающих надбарьерное движение. При этом, получаемое решение для атомной матрицы плотности содержит полную информацию как о внешних, так и о внутренних степенях свободы, включая информацию об оптических и пространственных когерентностях.

Развитые в работе квантовые и квазиклассические подходы позволили расширить круг доступных задач и провести исследование кинетики атомов в бихроматическом поле. Особое внимание уделяется исследованию кинетики атомов в далеко отстроенных оптических решетках в присутствии диссипативного поля накачки. При этом, развитая Прудниковым О.Н. теория позволяет учесть влияние на кинетику атомов как далеко отстроенного недиссипативного поля решетки, так и диссипативного поля накачки. Прудниковым О.Н. был обнаружен ряд новых эффектов, к которым приводит отличная от линейной и круговой поляризация поля. Проведенный на основе квантового подхода анализ кинетики атомов с учетом квантовых эффектов отдачи при взаимодействии атомов с фотонами поля показывает возможность глубокого субдоплеровского охлаждения атомов в оптической решетке и значительной локализации атомов в оптическом потенциале.

В целом, диссертационная работа «Поляризационные аспекты охлаждения и локализации атомов в лазерных полях» выполнена на высоком теоретическом уровне. Полученные результаты являются актуальными и имеют высокую научную ценность. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК, а ее автор Прудников Олег Николаевич заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 «Лазерная физика».

Доктор физико-математических наук,  
главный научный сотрудник ИФ СО РАН

13.09.2016

Подпись *Коловский А.Р.*  
Ученый секретарь  
ФИЦ КНЦ СО РАН Обособленное подразделение  
Институт физики им. Л.В. Киренского  
Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ СО РАН)  
«    »    20    г.

А.Р. Коловский

