

ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ

диссертации Прудникова О.Н. “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 лазерного охлаждения атомов. Данная тема является актуальной, и холодные атомы находят применение в различных областях современных исследований, включая исследование конденсации Бозе-Эйнштейна нейтральных атомов, и ферми газа, создание сверхчувствительных атомных сенсоров – гироскопов и гравиметров, а также создание современных оптических стандартов частоты с беспрецедентно высокой стабильностью и воспроизводимостью частоты.

Несмотря на большое число теоретических работ в данной области, множество кинетических эффектов, возникающих при взаимодействии атомов с резонансным световым полем, оставалось не изучено. Теоретическое описание кинетики атомов в световых полях является сложной задачей, поскольку требует тщательного учета не только процессов переноса населенности, но и квантовых эффектов отдачи при взаимодействии с фотонами поля. Обычно для описания этих процессов использовались различные приближенные модели. Так, например, для описания кинетических эффектов использовалась модель двухуровневого атома, предсказывающая так называемый доплеровский предел лазерного охлаждения. Более сложные модели, учитывающие вырожденность атомных уровней по проекции углового момента показали возможность субдоплеровского лазерного охлаждения в полях с неоднородной пространственной поляризацией.

В диссертации Прудникова О.Н. затрагивается ряд актуальных вопросов, касающихся поляризационного аспекта задачи лазерного охлаждения атомов

с вырожденными по проекции углового момента уровнями в световом поле с неоднородной поляризацией. Такие поля в общем случае могут быть сформированы световыми волнами с эллиптическими поляризациями. Прудниковым О.Н. впервые было показано, что в полях, образованных волнами с эллиптической поляризацией, возникает ряд особенностей в кинетике атомов. Эти особенности отсутствуют в хорошо исследованных ранее $\text{lin} \perp \text{lin}$ и $\sigma_+ \text{-} \sigma_-$ конфигурациях, образованных встречными волнами с линейными, либо круговыми поляризациями. Появляются дополнительные вклады в силу трения, а также дополнительный вклад в магнитооптический потенциал, которые обладают иными зависимостями от отстройки светового поля. Обнаруженные вклады могут быть использованы при оптимизации процессов лазерного охлаждения в магнитооптических ловушках, образованных волнами с эллиптической поляризацией, что было продемонстрировано на примере лазерного охлаждения атомов магния с использованием оптического перехода $^3P_2 \rightarrow ^3D_3$.

Отдельно стоит отметить развитый Прудниковым О.Н. универсальный квантовый подход для поиска стационарного решения квантового кинетического уравнения для атомной матрицы плотности атомов. Данный подход позволяет исследовать лазерное охлаждение атомов с вырожденными по проекции углового момента энергетическими уровнями в полях, образованных встречными световыми волнами с произвольными поляризациями, с полным учетом квантовых эффектов отдачи при взаимодействии атомов с фотонами поля. Данный подход позволил исследовать кинетику атомов вне рамок развитых ранее квазиклассических, а также квантовых подходов.

Развитый Прудниковым О.Н. универсальный квантовый подход позволил обнаружить ряд новых поляризационных эффектов в кинетике, а также указать на принципиальную важность параметра квазиклассичности, характеризующего инертность атома по отношению к эффектам отдачи при взаимодействии с фотонами поля. Следует отметить, что в используемых

ранее квазиклассических подходах данный параметр считался бесконечно малым и выпадал из рассмотрения. Было обнаружено, что ранее предложенные квантовые подходы, использующие модифицированное уравнение для атомной матрицы плотности для описания субдоплеровского лазерного охлаждения, корректно описывают кинетику атомов лишь в пределе бесконечно малого параметра квазиклассичности.

Прудниковым О.Н. показано, что в условиях недостаточной малости параметра квазиклассичности поляризационные вклады, приводящие к субдоплеровскому лазерному охлаждению, становятся менее эффективными. В частности, это может приводить к невозможности достижения сверхглубоких температур субдоплеровского охлаждения. Данный эффект был продемонстрирован на примере лазерного охлаждения атомов магния (переход $^3P_2 \rightarrow ^3D_3$) в поле $\sigma_+-\sigma_-$ конфигурации. Использование волн с эллиптической поляризацией в этом случае позволяет оптимизировать работу магнитооптической ловушки и достичь глубоких субдоплеровских температур лазерного охлаждения.

Кроме того, развитые Прудниковым О.Н. квантовые и квазиклассические подходы позволили провести исследование кинетики атомов в оптических решетках с большой отстройкой частоты в присутствии диссипативного поля накачки. Развитый универсальный квантовый подход позволил учесть влияние на кинетику атомов обоих полей: недиссипативного поля решетки и диссипативного поля накачки. Прудниковым О.Н. был обнаружен ряд новых эффектов, к которым приводит эллиптическая поляризация поля решетки. При эллиптической поляризации поля решетки с использованием $\text{lin}\perp\text{lin}$ поля накачки возникает глубокий оптический потенциал с периодом много большим длины волны. При этом охлаждение атомов в глобальных минимумах оптического потенциала наблюдается при синих отстройках поля решетки в независимости от знака отстройки диссипативного поля накачки. 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 научном уровне. Полученные результаты являются актуальными и имеют значительную 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,
член-корреспондент РАН


Колачевский Н.Н.

03.09.2016



Ученый секретарь ФИАИ


Цвентух М.М.