

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации МОРОЗ Надежды Николаевны «Рассеяние ультракоротких лазерных импульсов на атомах и ионах в широком спектральном диапазоне», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 «Лазерная физика»

### Актуальность

После изобретения генераторов аттосекундных импульсов в далеком ультрафиолетовом и мягком рентгеновском спектре, возникла необходимость систематического исследования их взаимодействия с веществом. В первую очередь надо знать сечения упругого и резонансного рассеяния на атомах и ионах, вероятности фотоионизации и комптоновского рассеяния для импульсов, длительность которых сравнима или даже меньше периода электромагнитного поля. Именно эти вероятности и рассчитаны в диссертационной работе Н.Н. Мороз, поэтому актуальность темы не вызывает сомнений.

### Новизна

В работе впервые рассчитана полная вероятность упругого рассеяния ультракоротких импульсов на атомах водорода, отрицательных ионах водорода, атомах ксенона и криптона. Найденны вероятности рассеяния импульсов с гауссовой огибающей на водородоподобных ионах в плазме, на атомах натрия и лития. Исследовано также комптоновское рассеяние на атомах водорода, аргона, криптона и натрия в зависимости от частоты и угла рассеяния.

Научная новизна подтверждается 3 статьями в журналах Web of Science: *Physics Letters A*, *ЖЭТФ*, *Письма в ЖЭТФ*, 4 публикациями в других научных журналах: *Известия высших учебных заведений: физика*, *Труды МФТИ*, а также докладами на представительных конференциях. Все журналы входят в Перечень ВАК.

### Достоверность и обоснованность

Общие выводы диссертационной работы основаны на многочисленных расчетах для конкретных объектов, поэтому их можно признать *обоснованными*. В свою очередь, конкретные расчеты выполнены на основе проверенных многочисленными

экспериментами законов квантовой механики. Использование надежных квантово-механических формул свидетельствует о *достоверности* полученных результатов. Достоверность подтверждается также согласием с результатами других авторов в известных предельных случаях.

## Содержание

Диссертация состоит из Введения, 3 глав и Заключения, содержит 100 страниц и 58 ссылок на литературу. Во Введении обоснована актуальность и практическая важность работы. Приведены цель и основные задачи исследования, раскрыта научная новизна и перечислены защищаемые положения.

Глава 1 посвящена упругому рассеянию. Расчеты приведены для импульсов с несущей частотой и без несущей частоты: для скорректированного гауссовского импульса, синусоидального или косинусоидального вэйвлет-импульса. В §1.1 рассмотрено рассеяние ультракоротких импульсов на атомах водорода в основном состоянии. Показано, что полная вероятность рассеяния определяется виртуальными переходами в дискретном спектре. В §1.2 найдена вероятность рассеяния при взаимодействии импульса с отрицательным ионом водорода. Показано, что когда частота поля больше энергии фотоотрыва электрона, вероятность монотонно растет с длительностью импульса. Если же частота ниже, у кривой на рис. 1.2.6 имеется максимум. В случае импульса без несущей частоты кривая имеет колоколообразную форму.

В §1.3 вычислена вероятность рассеяния на многоэлектронных мишенях — атомах инертных газов в широком диапазоне энергии фотонов 40 – 2000 эВ. При таких энергиях рассеяние обеспечивается виртуальными переходами в непрерывный спектр. Проведено сравнение динамической поляризации ксенона, рассчитанной по простым формулам, с более детальным расчетом с помощью релятивистского локального функционала электронной плотности. Показано, что отклонение по величине не превосходит 20%, а положение гигантского максимума в сечении практически совпадает (рис. 1.3.3). Показано, что полная вероятность рассеяния как функция длительности импульса с несущей частотой демонстрирует немонотонное поведение: имеет максимум и минимум (рис. 1.3.4). Для вэйвлет-импульсов получается колоколообразная кривая. В случае ксенона появляется второй максимум при длительности 10 аттосекунд, что соответствует второму максимуму в спектре поляризационного заряда (720 эВ).

В главе 2 изучается резонансное рассеяние на водородоподобных ионах в плазме и на атомах в парах щелочных металлов. Для водородоподобных ионов с малым зарядом в резонансе полная вероятность ионизации растет с длительностью импульса, тогда как для  $Z > 20$  вероятность проходит через локальный максимум и затем убывает. Для  $Z = 17$  кривая имеет пик, затем минимум, а при  $\tau > 2$  фс переходит в режим линейного роста. В парах щелочных металлов сечение рассеяния имеет один или два максимума в зависимости от давления. При большом давлении два пика сливаются вследствие ударного уширения. В зависимости от длительности импульса также наблюдается выход на линейный рост при  $\tau > 3$  фс.

Глава 3 содержит решение задачи о комптоновском рассеянии. Найдена зависимость сечения рассеяния скорректированного гауссового импульса на атоме водорода от частоты рассеянного излучения при различных углах рассеяния. Найдены также дифференциальные сечения рассеяния на атомах аргона, ксенона и натрия в зависимости от частоты и длительности импульса. В Заключении приведены основные результаты работы.

## Замечания

1) В диссертации отсутствует сравнение с экспериментом. Следовало бы найти в литературе результаты измерений и выполнить отдельные расчеты для экспериментальных условий. Если бы теория совпала с экспериментом, степень достоверности работы была бы гораздо выше. Если измерений в литературе нет, надо по крайней мере привести соображения по возможному эксперименту. Нужен ответ на вопрос: какие из предсказанных эффектов проще всего проверить?

2) Часть расчетов в главе 2 выполнено для больших давлений паров щелочного металла. При высоком давлении велика вероятность соединения атомов в молекулу димера типа  $\text{Na}_2$ . Следовало бы привести оценки вероятности такого процесса при использованном для расчета давлении.

3) В подписи к рис. 1.1.2 не указано, что изображено на подрисунке (а). В тексте имеются неудачные (или жаргонные) выражения типа «имеет нелинейный вид» перед рис. 1.3.4 или «наклонный максимум» перед рис. 2.1.6. Пояснения к формулам, расположенным в отдельной строке, следует располагать с начала следующей строки, без абзацного отступа. На рис. 2.1.1 трудно отличить пунктир от штриховой линии. Ссылки на собственные работы соискателя собраны во Введении и повторяются в начале каждой главы. Достаточно было бы сослаться один раз в списке

литературы в конце текста.

Приведенные замечания носят частный характер, относятся скорее к отбору материала и оформлению рукописи, а не к содержанию диссертации, и не влияют на общую положительную оценку работы.

## Выводы

Оценивая работу в целом, можно сделать вывод, что диссертационная работа Н.Н. Мороз представляет собой научно-квалификационную работу, в которой теоретически найдены вероятности рассеяния ультракоротких электромагнитных импульсов на связанных электронах. Работа написана ясным языком и на высоком научном уровне. Основные результаты опубликованы в рецензируемых научных журналах и известны специалистам. Автореферат правильно и полно отражает основные идеи и выводы диссертации.

Учитывая актуальность темы, научную новизну результатов и достоверность выводов, можно заключить, что работа Н.Н. Мороз безусловно удовлетворяет всем требованиям п. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденных постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 — «Лазерная физика».

Доктор физ.-мат.наук, профессор

Шапиро Давид Абрамович

Заведующий лабораторией фотоники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматизации и электрометрии Сибирского отделения РАН.

Проспект академика Коптюга, д. 1, 630090, Новосибирск, ИАиЭ СО РАН, тел. +7-383-3309021, e-mail: shapiro@iae.nsk.su

Заведующий кафедрой теоретической физики Новосибирского государственного университета, ул. Пирогова, д. 2, 630090 Новосибирск

Подпись д.ф.-м.н. Д.А. Шапиро **з а в е р я ю:**

И.о. ученого секретаря ИАиЭ СО РАН

к.ф.-м.н.



Е.И. Донцова