

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
Санкт-Петербургского
государственного университета


С. В. Аплонов

2016 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Крачкова Петра Александровича «Исследование процессов квантовой электродинамики в сильных атомных полях при высоких энергиях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

В диссертационной работе П. А. Крачкова исследуются различные процессы рассеяния ультрарелятивистских электронов и мюонов (а также их античастиц) на тяжелых атомах. А именно, исследуются процессы тормозного излучения, двойного тормозного излучения, фоторождения пар, сопровождаемое тормозным излучением, а также процесс упругого рассеяния. Данные процессы являются фоновыми во многих высокоточных экспериментах, направленных на поиск новой физики за рамками Стандартной Модели. Поэтому, точное вычисление их сечений представляет большой интерес для современной науки, что объясняет **актуальность** тематики выбранного исследования, а также **научную и практическую значимость** защищаемой диссертации. В качестве инструмента исследования выступает метод квазиклассической функции Грина. Этот метод позволяет вычислять

функцию Грина для произвольного атомного поля $V(r)$ и дает возможность проводить расчеты с учетом первой квазиклассической поправки. Использование квазиклассического метода позволило диссертанту значительно повысить точность расчетов фундаментальных процессов квантовой электродинамики (тормозное излучение и фоторождение пар) и предсказать качественно новые эффекты при учете первой квазиклассической поправки. Дополнительно, П.А. Крачковым были проведены сравнения полученных результатов с результатами, представленными в литературе, а также рассмотрены различные предельные случаи. Все это однозначно свидетельствует в пользу **новизны** и **достоверности** выводов и заключений. **Личный вклад** П.А. Крачкова в представленные в диссертации результаты является определяющим.

Сочетание тематики проведенных в диссертации исследований, используемых методов и полученных результатов показывает, что данная диссертация **соответствует специальности 01.04.02. - теоретическая физика**. Все основные результаты диссертации опубликованы в четырех статьях в международных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых в Web of Science и Scopus. Результаты также были представлены диссертантом на нескольких международных конференциях.

Структура и содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, двух приложений и списка используемой литературы. Общий объем составляет 91 страницу с 22 рисунками. Список литературы содержит 49 наименований и достаточно полно отражает основные научные публикации по обсуждаемым вопросам.

В первой главе диссертации приведено описание квазиклассического приближения и обсуждаются границы его применимости. Представлен подробный вывод квазиклассической функции Грина и волновой функции для уравнения Дирака в произвольном потенциале с учетом первой

квазиклассической поправки. Дополнительно приведены явные выражения для случая кулоновского потенциала.

Во второй главе диссертации исследуется процесс тормозного излучения высокоэнергетическими электронами и мюонами в поле атомных мишеней. Представлены результаты вычислений дифференциального и полного сечений с учетом первой квазиклассической поправки. Показано, что ее учет вносит качественные изменения в результаты. Так в процессе тормозного излучения появляется азимутальная и зарядовая асимметрии, отсутствующие в ведущем порядке. Зарядовая асимметрия заключается в отличие сечения для рассеяния частиц и античастиц на атомном потенциале. Дополнительно, в этой главе было проведено изучение влияния атомной экранировки. При рассеянии мюонов, помимо экранировки учитывался протяженный размер ядра. Также во второй главе проводится сравнение полученных результатов с результатами, полученными в рамках борновского приближения.

Третья глава посвящена процессу двойного тормозного излучения при рассеянии электронов на тяжелых атомах. Данный процесс является фоновым во многих высокоточных экспериментах, направленных на поиски новой физики. Поэтому точное вычисление этого процесса представляет интерес для современных экспериментальных исследований. Расчеты сечения двойного тормозного излучения, приведенные в третьей главе, являются точными по взаимодействию с атомной мишенью. Представленное сравнение этих сечений с сечениями, полученными в рамках борновского приближения, наглядно демонстрирует значимость кулоновских поправок в таком процессе. Дополнительно, в третьей главе приводится простой способ построения дифференциального сечения многократного тормозного излучения.

В четвертой главе исследуется процесс фоторождения электрон-позитронной пары, сопровождаемый тормозным излучением. Теоретический интерес к данному процессу обусловлен тем, что фоторождение электрон-позитронной пары, сопровождаемое тормозным излучением, относится к

нелинейным эффектам теории возмущения. Расчет этого процесса был проведен за рамками борновского приближения. Было показано, что учет кулоновских поправок ведет к возникновению асимметрии относительно циркулярной поляризации налетающего фотона. Дополнительно, было изучено влияние экранировки на сечение рассматриваемого процесса.

В пятой главе обсуждаются пределы применимости квазиклассического приближения на примере упругого рассеяния электронов сферически-симметричным атомным потенциалом на малые углы. Для этого в рамках квазиклассического приближения были вычислены дифференциальное сечение процесса и функция Шермана. Полученные результаты были сопоставлены со значениями, полученными путем разложения точного моттовского выражения по степеням угла рассеяния. Такое сравнение наглядно продемонстрировало необходимость учета неквазиклассического вклада совместно с первой квазиклассической поправкой.

В приложениях содержатся технические подробности аналитических расчетов, выполненных в работе. Заключение содержит основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Оформление диссертации не вызывает нареканий. Диссертационная работа написана хорошим языком и в достаточной мере сопровождается иллюстративными материалами.

По диссертации можно сделать несколько **замечаний**.

- Во второй главе диссертации исследуется влияние экранировки и конечного размера ядра на сечение тормозного излучения, однако, ни явный вид экранирующего потенциала, ни модель, описывающая протяженное ядро, не приводятся.
- В четвертой главе на графиках 4.2 и 4.3 приведены дифференциальные сечения двойного тормозного излучения как функции одной из компонент импульса второго испущенного фотона. Они имеют

нетривиальную пиковую структуру, которая, к сожалению, никак не обсуждается в диссертации.

- На всех графиках приведены зависимости безразмерных величин от безразмерных параметров. Тем не менее, в практических целях полезно также иметь значения, выраженные в размерных единицах (в барнах, если речь идет о сечении).
- В диссертации также имеется ряд опечаток, так, например, в первом пункте, выносимом на защиту написано: «... в произвольном атом потенциале».

Перечисленные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общую очень высокую оценку диссертационной работы.

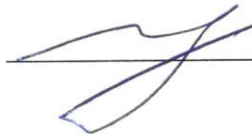
Полученные в диссертации результаты и развитые методы могут быть использованы в ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, Санкт-Петербургском государственном университете, НИЦ «Курчатовский институт», ОИЯИ, Санкт-Петербургском политехническом университете им. Петра Великого, а также в таких международных центрах как ЦЕРН и ФАИР.

Автореферат и опубликованные работы автора правильно и полно отражают содержание диссертационной работы.

В заключение, можно с уверенностью сказать, что диссертация П.А. Крачкова «Исследование процессов квантовой электродинамики в сильных атомных полях при высоких энергиях» представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, удовлетворяющую всем требованиям Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ N 842 от 24 сентября 2013 г., в части, касающейся диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Петр Александрович Крачков, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Отзыв составил доктор физико-математических наук, профессор В. М. Шабает. Отзыв заслушан и обсужден на заседании кафедры квантовой механики Санкт-Петербургского государственного университета от 11 ноября 2016 г., протокол № 8.

Заведующий кафедрой, доктор физико-математических наук,
профессор



В. М. Шабает

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»
Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. 7-9.

Тел. +7(812) 328-20-00, эл. почта spbu@spbu.ru, сайт <http://spbu.ru>

Кафедра квантовой механики СПбГУ, тел. +7(812) 428-45-52, эл. почта
qmech@spbu.ru, сайт <http://fock.phys.spbu.ru>