

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию Александра Ивана Александровича на тему: «Рождение электрон-позитронных пар в сильных электромагнитных полях, зависящих от координат и времени», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика

Основной целью исследований, которые проводились диссертантом была разработка эффективных численных методов, которые были бы применимы для решения с высокой степенью точности различных задач, возникающих в моделях процессов рождения электрон-позитронных пар при воздействии на вакуум квантовой электродинамики сильных внешних электромагнитных полей.

Особое внимание уделялось возможностям их применения для проведения детального анализа влияния пространственно-временных неоднородностей полей на наиболее важные динамические механизмы, проявляющиеся в наблюдаемых физических эффектах. В качестве общей для всех проведенных исследований задачи рассматривалось решение в рамках картины Фарри уравнения Дирака в заданном внешнем электромагнитном поле, вектор потенциал которого имеет одну пространственную компоненту и зависит от времени и пространственной координаты.

Это дает возможность изучить специфику механизмов рождения частиц из вакуума внешним полем для широкого класса различных физических ситуаций. Среди них в диссертации особое внимание уделяется рождению электрон-позитронных пар при столкновении встречных импульсов электромагнитного излучения двух лазеров, а также при совместном воздействии на вакуум медленно меняющегося сильного поля и высокочастотного слабого, создающее «динамическое усиление» эффекта Швингера.

Следует отметить, что для решения этих задач стандартные методы теории возмущений квантовой электродинамики неприменимы, и надежды получить надежный аналитический результат оказываются неоправданными. Поэтому разработка численных подходов в этой области теоретических исследований имеет исключительно важное значение.

Диссертация И.А. Александра состоит из Введения, пяти Глав, Заключение, двух Приложений А и В, а также Списка литературы.

Во введении формулируются цели и задачи проделанных диссертантом исследований, проводится анализ новизны и степени разработанности данной тематики, обосновывается ее актуальность, теоретическая и практическая значимость, обсуждаются основы и возможности общей методологии и применяемых в этой области конкретных методов исследований, формулируются положения, выносимые на защиту, приводятся сведения об апробации полученных результатов.

В Главе 1 дается краткое изложение основ теоретических подходов в описании рождения частиц из вакуума сильным квазистационарным полем (эффект Швингера) и слабым однородным в пространстве быстро осциллирующим полем. Здесь обсуждаются также имеющиеся в настоящее время представления о возможности использования быстро осциллирующего поля для усиления эффекта Швингера.

В Главе 2 приводится описание формализма квантования в картине Фарри дираковского спинорного поля, взаимодействующего с классическим внешним электромагнитным полем при нестабильности вакуума. Он используется для проведения исследований, представленных в диссертации, которые реализуются в рамках разработанного автором численного подхода. Наиболее существенные особенности этого подхода и используемых в нем конкретных численных методов кратко обсуждаются во второй главе.

В Главе 3 приводятся результаты исследований, которые проводились для пространственно однородного внешнего поля. В ней проводится анализ зависимости

характеристик процесса рождения частиц в осциллирующем электрическом поле от формы его импульса.

Глава 4 посвящена численным исследованиям, в которых внешние поля выбирались зависящими как от времени, так и от положения в пространстве. Здесь приводятся результаты, полученные для ряда простых конфигураций поля, а также для процесса рождения пар в поле столкновения импульсов встречных излучений двух лазеров, а также в случае усиления быстро осциллирующим полем эффекта Швингера, возникающего в сильном поле. Проведенные исследования показали, что использовать дипольное приближение и приближение стоячей волны при численных исследованиях эффекта Швингера в поле встречных лазерных импульсов может дать результаты, существенно отличающиеся от результатов более точных расчетов. Поэтому пользоваться ими при проектировании экспериментов по наблюдению эффекта Швингера нужно с осторожностью. Проведенные вне рамок дипольного приближения расчеты характеристик динамического усиления эффекта Швингера оказались при учете пространственной неоднородности быстро осциллирующего поля в хорошем соответствии с результатами более точных расчетов.

Следует обратить внимание на то, что многими авторами уже делались попытки разработки эффективных численных методов для решения задач, которым посвящена Глава 4. Однако достичь необходимой точности этих методов к настоящему времени удалось только в рамках подхода, предложенного автором диссертации.

В Главе 5 диссертации проводится сравнение результатов, полученных в приближении локально-постоянного поля, с результатами более точных численных расчетов. На основе проведенного анализа сформулированы условия возможности использования приближения локально-постоянного поля для численных расчетов характеристик процессов рождения электрон-позитронных пар как для постоянных однородных, так и для нестационарных и пространственно-неоднородных электромагнитных полей.

В Заключение обсуждаются основные результаты проведенных по теме диссертации исследований, возможности их использования как для планирования и постановки экспериментов по рождению частиц из вакуума, так и для разработки еще более эффективных теоретических методов численных расчетов наиболее важных характеристик этих процессов.

В Приложениях А и В приводятся краткие сведения технического характера об уравнении Дирака и осцилляциях Раби, которые позволяют лучше понять специфику разработанного и использованного И.А. Александровым численного подхода к решению поставленных задач.

Оценивая диссертационную работу в целом, следует отметить, что она выполнена на высоком научном уровне. Ее автор провел добросовестный анализ результатов, полученных в исследуемой им области квантовой физики его предшественниками, наиболее значимые работы которых представлены в обширном списке литературы в конце текста диссертации. Он владеет в должной мере методами квантовой электродинамики, для проведения численных исследований построенных в ее рамках моделей умеет эффективно использовать современную компьютерную технику. Полученные результаты опубликованы в шести статьях в весьма авторитетном международном физическом журнале *Physical Review D*, что дает серьезные основания для высокой оценки их научной значимости.

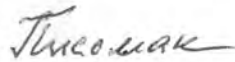
Что касается самого текста диссертации, то по этому поводу, к сожалению, не обойтись без критического замечания. Читать диссертацию было бы существенно проще, если бы диссертант уделял больше внимание объяснению используемых им терминов и обозначений. Так, например, среди представленных в (52) соотношений лишь первое равенство определяет калибровку, а остальные представляют собой описание выбранного поля. В (54) было бы хорошо объяснить, как связаны между собой индексы n , r , s , t , u полей, которые входят в эти равенства. Это, однако, не является столь важным, чтобы повлиять на общую высокую оценку диссертационной работы.

Диссертация Александрова Ивана Александровича на тему: «Рождение электрон-

позитронных пар в сильных электромагнитных полях, зависящих от координат и времени» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Александров Иван Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Председатель диссертационного совета

Доктор физико-математических наук,
профессор, профессор кафедры
физики высоких энергий и элементарных
частиц физического факультета
Санкт-Петербургского
государственного университета



(Письмак Юрий Михайлович)

Дата 19 января 2020 г.