

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Александрова 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.

Диссертация Александрова И.А. посвящена теоретическому изучению одного из фундаментальных процессов квантовой электродинамики - рождению электрон-позитронных пар в сильных электромагнитных полях, зависящих от координат и времени. Отметим, что реалистичные конфигурации сильных электромагнитных полей включают в себя многомерные неоднородности, то есть зависят не только от времени, но и от пространственных координат. Физика процессов, протекающих в сильных электромагнитных полях, близких к критическому полю чрезвычайно важна, так как может кардинально поменять наши установившиеся представления в квантовой электродинамике. Подчеркнем также, что в данном исследовании особое внимание уделяется эффекту Швингера с динамическим усилением, а также процессу рождения частиц в комбинации двух встречных лазерных импульсов конечного размера. В связи с этим, изучение процесса рождения электрон-позитронных пар в таких полях безусловно актуально.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, двух приложений и списка литературы из 134 источников. При этом, оригинальными являются, в основном, 2-4 главы.

Во второй главе обсуждается общая процедура квантования в картине Фарри, а также дано описание численного подхода, разработанного и применяемого в диссертации.

В третьей главе проведено численное моделирование процесса рождения электрон-позитронный пар при наличии пространственно-однородного поля, осциллирующего во времени. Из полученных результатов можно отметить следующие:

- резонансная структура распределения частиц по импульсам различна для форм огибающей 1-го и 2-го типов. Однако, если внешний импульс содержит большое количество периодов несущей частоты, то распределение слабо зависит от конкретной формы, огибающей 1-го типа и импульса 2-го типа. Однако в случае небольшого числа периодов все параметры, определяющие форму лазерного импульса (включая CEP), оказывают большое влияние на спектр частиц;
- полное число рождаемых пар сильно зависит от формы огибающей. Для импульсов 1-го типа оно оказывается намного больше, чем для огибающих 2-го типа. Профили с быстрым включением оказываются более выгодными, чем медленно изменяющиеся огибающие.

В четвертой главе исследуются внешние поля с пространственно-временной зависимостью. При этом, основной анализ проводится для процесса рождения пар в комбинации двух встречных лазерных импульсов и в суперпозиции сильного и быстро осциллирующего полей. К основным наиболее интересным результатам можно отнести следующие:

- структура спектров рождаемых частиц существенно отличается от той, которая предсказывается в дипольном приближении. Число резонансных пиков может удваиваться, а распределения по импульсам вдоль направлений x , y и z становятся совершенно разными.

В рамках дипольного приближения распределение по поперечному импульсу никогда не содержит резонансов, соответствующих четному числу поглощенных фотонов. Однако за пределами ДП такие пики возникают, если импульс p_z вдоль направления распространения не обращается в нуль.

- динамическое усиление числа частиц, являющееся сутью рассматриваемого процесса, в дипольном приближении оказывается завышенным. Более точные расчеты предсказывают коэффициент усиления, который в несколько раз меньше, а также на порядок меньшее число частиц.

Важно также подчеркнуть, что численный подход был использован для анализа применимости приближения локально постоянного поля (locally-constant field approximation, LCFA). Поскольку LCFA может значительно сократить время вычислений, то в диссертации были изучены границы применимости этого приближения. Данный вопрос был исследован в случае нескольких различных полей, зависящих от времени, и ряда конфигураций, изменяющихся как во времени, так и в пространстве. Было показано, что параметр Келдыша сам по себе не позволяет судить, обосновано ли LCFA и может ли оно использоваться при исследовании данного сценария. В действительности параметры внешнего поля должны удовлетворять менее тривиальным соотношениям, вид которых зависит от его конфигурации. Ожидается, что закономерности, установленные в рамках настоящей работы, могут быть применены к широкому классу различных сценариев рождения пар.

Полученные в диссертации результаты являются новыми и расширяют наши представления в области нелинейных процессов квантовой электродинамики сильных электромагнитных полей. Достоверность полученных результатов обусловлена использованием строгого формализма квантовой электродинамики, а также проверкой и тестированием численных методов, разработанных в диссертации. Результаты опубликованы в ведущих рецензируемых журналах и обсуждались на нескольких международных конференциях.

Тем не менее, хотелось бы высказать некоторые замечания:

1. В диссертации проведен достаточно полный обзор литературы по изучаемой теме. Однако можно было бы несколько расширить данный обзор по близким процессам, которые могут иметь место в процессе рождения электрон-позитронных пар в сильных электромагнитных полях. Например, процесс рождения электронных пар при столкновении первичных электрона (позитрона) с тем же самым лазерным импульсом (см. статью F. Mackenroth, and A. Di Piazza. Nonlinear trident pair production in an arbitrary plane wave: A focus on the properties of the transition amplitude, PHYSICAL REVIEW D 98, 116002 (2018)).
2. Имеет смысл рассмотреть также резонансный процесс рождения электрон-позитронных пар при столкновении первичных электрона (позитрона) с лазерным импульсом. В условиях резонанса промежуточный фотон становится реальным и исходный процесс второго порядка по постоянной тонкой структуры эффективно распадается на два процесса первого порядка: стимулированный лазерным полем Комптон-эффект на первичном электроне (позитроне) и стимулированный лазерными полем эффект Брейта-Уиллера. Вероятность данного резонансного

процесса может быть одного порядка или даже превышать вероятность исходного процесса рождения пар в сильном поле. В результате этого существенно увеличить суммарный выход электрон-позитронных пар.

Данные замечания нисколько не умаляют высокий научный уровень представленной диссертации.

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.

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук, профессор,
профессор «Высшей инженерно-физической школы»
Санкт-Петербургского политехнического университета
Петра Великого

17 января 2020 г

С.П. Рощупкин
подпись **С.П. Рощупкин**
УДОСТОВЕРЯЮ
Ведущий специалист
по кадрам. *Васильева*
«17.01»

