

ОТЗЫВ

на диссертацию Винцкевича Степана Викторовича

Лоренц-инвариантная масса классических импульсов излучения и перепутанных состояний бифотонов,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 — Лазерная физика.

Автор отзыва

ФИО: Андреев Владимир Андреевич

Ученая степень: кандидат физико-математических наук

Год присуждения ученой степени и научная специальность, по которой присуждена
ученая степень: 1977, по специальности 01.04.02 –теоретическая физика

Место работы: ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Должность: высоко квалифицированный старший научный сотрудник

Контактная информация: 67-65, +7(916) 983-70-49 e-mail:andreevva@lebedev.ru

Понятие фотона является одним из наиболее фундаментальных понятий физики. Оно используется при описании как классических, так и квантовых электромагнитных явлений. Но, несмотря на широкое употребление данного понятия, не существует четкого и общепринятого определения данного понятия. С одной стороны, оно используется при описании ряда физических явлений, как некоторое эмпирическое понятие. С другой стороны, в рамках теоретических моделей термин «фотон» ассоциируется с конкретными математическими объектами. И согласование между этими двумя подходами зачастую вызывает трудности. Связаны они ещё и с тем, что, согласно общепринятой точке зрения, фотон имеет нулевую массу и движется в вакууме со скоростью света. Эта точка зрения также время от времени подвергается критике и вокруг неё возникают дискуссии. Возникают попытки приписать фотону некоторую ненулевую массу. Сюда же следует отнести и проблему пространственной локализации фотона. Однако до сих пор не удалось построить последовательную и непротиворечивую теорию, которая включала бы в себя все эти понятия.

В диссертации Винцкевича С.В. намечен систематический подход к анализу этих вопросов. Этот подход развит в рамках стандартного формализма Специальной теории относительности. Подробно изучен вопрос применения релятивистской концепции лоренц-инвариантной массы к различным типам классических импульсов, в том числе обладающим сложной пространственно-временной структурой. Показано, что с такими импульсами можно сопоставить понятие массы. Также в диссертации рассмотрены некоторые типы квантовых состояний, в частности, бифотоны, которые рождаются в процессе спонтанного параметрического рассеяния света (СПРС). Показано, что с такими квантовыми состояниями также можно ассоциировать некоторое понятие массы.

Вопрос о том, насколько такая «масса» совпадает с обычной массой и обладает ли она гравитационными и инерционными свойствами, требует дальнейшего изучения. Как

теоретического, так и экспериментального. Но и те результаты, которые уже получены в диссертации Винцкевича С.В. очень важны и свидетельствуют о её актуальности.

В первой главе автор рассматривает гауссов импульс света и получает для него выражение для лоренц-инвариантной массы. При этом используется как классический подход к описанию таких импульсов, так и их квантовое описание поля через многомодовые когерентные состояния света.

Проведено сравнение классического и квантовомеханического описания гауссового электромагнитного импульса и дан расчёт лоренц-инвариантной массы.

Показано, что наличие лоренц-инвариантной массы у светового импульса тесно связано с его дифракцией. Рассмотрены некоторые предельные случаи, в том числе переход к бесконечно широкому пучку, масса которого в этом случае существенно зависит от энергии и длительности импульса и в зависимости от этого может принимать любые значения. Основным результатом данной главы является выражение для эффекта замедления средней скорости распространения электромагнитного импульса, которая оказывается меньше, чем скорости света. Данный результат согласуется с независимо проведенным экспериментом, что свидетельствует об адекватности предложенного подхода и достоверности результатов данной работы. Автор подробно раскрывает физический смысл полученного результата, в частности, указывает на существование системы отсчета покоя у любого импульса с ненулевой массой. В завершении главы предложена схема эксперимента, в котором эффект замедления средней скорости распространения электромагнитного импульса доступен наблюдению. Помимо этого рассмотрена концепция инвариантной плотности массы. Здесь автор указывает на отсутствие прямого соответствия между плотностью массы и массой в связи с неинвариантностью интеграла по объему.

Во второй главе гауссов электромагнитный импульс рассмотрен как совокупность лучей, распространяющихся в различных направлениях. Приводится сравнение средней скорости распространения гауссова импульса, полученной с помощью лоренц-инвариантной массы, со скоростью распространения Гауссова импульса, полученной согласно кинематическому описанию. Суммируя вклады каждого луча в скорость распространения импульса как целого, автор получает выражение для эффекта замедления импульса, в точности соответствующее выражению, полученному в первой главе. Этот факт дополнительно подтверждает непротиворечивость работы автора.

Дан вывод общей формулы лоренц-инвариантной массы для классических электромагнитных импульсов.

В рамках описания классического света рассматриваются более сложные модификации гауссова импульса с нетривиальной пространственно-временной конфигурацией. Для их описания используются пучки Лагерра-Гаусса, Эрмита-Гаусса, Бессель-Гаусса и Эйри-Гаусса. Для таких пучков численно получены величины лоренц-инвариантной массы и замедления скорости распространения. На графиках видно, что в случае сильного расплывания импульса, лоренц-инвариантная масса замедление распространения весьма велики. Особо отмечено, что рассматриваются строго ограниченные во времени и пространстве импульсы, для лучшего соответствия реальным физическим системам. Данный подход делает работу автора существенно более значимой в экспериментальной практике. Показано, что скорость распространения строго локализованных импульсов полностью определяется его внутренней структурой и не зависит явно от энергии и длительности. Этот факт вполне согласуется с рассуждениями о физическом смысле инвариантной массы света, приведенными в первой главе.

Третья глава диссертации посвящена связи лоренц-инвариантной массы бифотонов в СПРС и их перепутывания.

Фотоны, рождённые в различных режимах СПРС, находятся в перепутанном состоянии, где степень их перепутывания можно определить с помощью параметра Шмидта или с помощью параметра Фёдорова, который легко измеряется в эксперименте.

Перепутывание и лоренц-инвариантная масса напрямую зависят от того, какой вид имеет волновая функция бифотонов в зависимости от волновых векторов частиц. Таким образом, очень важно рассмотреть задачу о нахождении связи между этими двумя понятиями. Целью данной главы является установление связи между лоренц-инвариантной массой и перепутыванием состояний бифотонов, а также определить режимы СПРС, для которых данная связь проявляется наиболее существенно.

Здесь автор, опираясь на рассуждения предыдущих глав, последовательно выводит выражение для зависимости инвариантной массы бифотона от числа Шмидта. Рассмотрены несколько предельных случаев сильного перепутывания с различными соотношениями между параметрами накачки и шириной кристалла. В случае тонкого кристалла и широкой накачки автором получена линейная зависимость между массой и числом Шмидта.

Приведенный анализ позволяет заключить, что существуют такие режимы СПРС, при которых система двух фотонов обладает большим перепутыванием и большой лоренц-инвариантной массой, и эти величины прямо пропорциональны друг другу. Важность этого результата состоит в том, что он даёт возможность экспериментального измерения массы с помощью хорошо развитых методов измерения перепутывания. Показано, что хотя прямые измерения лоренц-инвариантной массы для бифотонов весьма сложны, но они могут быть проведены косвенно, например, посредством измерения средней скорости распространения, основанной на квантовой интерферометрии. Таким образом, предложенная взаимосвязь формирует альтернативную возможность измерения лоренц-инвариантной массы системы двух фотонов и эффекта замедления.

В четвёртой главе диссертации обсуждаются различные режимы спонтанного параметрического рассеяния света и квантово-интерферционные свойства бифотонов, рожденных в схеме эксперимента Хонга-У-Мандела. Показаны способы того, как можно подобрать специальный режим СПРС, в котором возникают осцилляции, приводящие к подавлению эффекта Хонга-У-Мандела. Рассмотрены режимы СПРС, управляемые параметрами невырожденности и неколлинеарности. Показано, что селекция с использованием четырёх щелей вместо двух на противоположных концах диаметров конусов распространения фотонов в СПРС приводит к возникновению осцилляций в схеме эксперимента Хонга-У-Мандела, за частоту которых отвечает параметр невырожденности. Важность такого рассмотрения состоит в том, что косвенные измерения лоренц-инвариантной массы и средней скорости распространения бифотонов, основанные на эффекте квантовой интерференции, требуют знания режимов процесса СПРС для максимальной эффективности и точности измерений.

Таким образом, диссертационная работа представляет собой достаточно полное и последовательное изложение концепции лоренц-инвариантной массы, применительно к импульсам света. Большинство рассуждений автора базируются на основополагающих представлениях современной физики, что придает работе требуемую для заявленной темы общность и делает её непротиворечивой. В первую очередь результаты представляют собой фундаментальный значимость, а также дают задел для реализации новых экспериментов, что подчёркивает актуальность, практическую значимость и новизну.

Результаты работы представлены на международных конференциях и представляют интерес для научного сообщества.

По тексту диссертации есть следующие замечания:

1. Глава 4 недостаточно органично согласована с остальным текстом диссертации.
2. Описания к рисункам не обладают должной ясности и содержат неточности. Стр. 60 рисунок очень сложен для восприятия. Стр. 93 число значений параметров невырожденность 3 вместо 5 .
3. Автор приводит аналитические выражения для фурье-образов рассматриваемых электромагнитных импульсов стр. 58, которые нигде далее не используются.
4. В тексте присутствуют орфографические опечатки.

Приведенные замечания не умаляют достоинств диссертации и не влияют на итоговую положительную оценку работы. Положения, выносимые на защиту, обоснованы. Автореферат в достаточной мере отражает содержание диссертационной работы.

Работа «Лоренц-инвариантная масса классических импульсов излучения и перепутанных состояний бифотонов» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям и её автор Винцкевич С. В. заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 — Лазерная физика.

Дата “14” ноября 2019 г.



/B.A. Андреев/

Подпись В.А. Андреева заверяю

/A.B. Колобов/

Ученый секретарь

ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН



Сотрудник однокомнат С. В. Винцкевич
14.11.2019 