

Отзыв официального оппонента

О диссертационной работе Давыдова Андрея Семёновича «Непертурбативные эффекты поляризации вакуума в условиях кулоновской закритичности», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «теоретическая физика».

Вычисление различных эффектов квантовой электродинамики во внешних полях точно по параметрам этих полей является важной и интересной задачей, так как точный по параметру поля результат может радикально отличаться от полученного в низшем порядке теории возмущений. Одним из таких эффектов является рождение электрон-позитронных пар в сильном кулоновском поле, которое создаётся зарядом $Q=Z|e|$ при $170 < Z < 190$. Поскольку ядер с таким зарядом не существует, то экспериментальное исследование эффекта проводилось при рождении электрон-позитронных пар в столкновениях медленных тяжёлых ядер с суммарным зарядом в указанном диапазоне. Однако ответить однозначно на вопрос, связан ли механизм рождения пар в этих экспериментах с туннельным эффектом за счёт сильного поля или с многофотонным переходом электрона из состояния с отрицательной энергией («море Дирака») в состояние с положительной энергией, не удалось. Теоретическое исследование этого вопроса продолжается и в настоящее время (смотри, например, работу группы В.М. Шабаева: I.A. Maltsev et al., Phys. Rev. A **91**, 032708 (2015)). Проблема связана с тем, что относительная скорость ядер не может быть очень маленькой, так как ядра из-за отталкивания просто не приблизятся на малые расстояния. Ситуация изменилась после создания графена – двумерной системы с эффективной константой связи $e^2/\hbar v_F \sim 1$. В этом случае критический Z_c становится порядка единицы. Поэтому исследование эффекта поляризации вакуума в кулоновском поле и в суперпозиции кулоновского и магнитного полей в одномерном и двумерном случаях при $Z > Z_c$, проведённое в диссертации, является актуальной задачей.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и приложений. Первая глава диссертации посвящена изучению вакуумной плотности заряда и плотности энергии в пространстве 1+1D в поле двух модельных потенциалов при $Z > Z_c$, детально рассмотрены методы вычислений этих величин, регуляризация и перенормировка.

Вторая глава диссертации посвящена детальному исследованию плотности индуцированного заряда и плотности энергии в пространстве 2+1D при $Z > Z_c$. Вычисления проведены также для определённого вида внешнего поля.

Третья глава диссертации посвящена эффектам поляризации вакуума в пространстве 2+1D в суперпозиции кулоновского поля с $Z > Z_c$ и однородного магнитного поля конечного радиуса, что позволяет исследовать влияние эффектов типа Бома-Ааронова на индуцированную плотность заряда и влияние кулоновского поля на плотность индуцированного тока.

Научная новизна результатов, представленных в диссертации А.С. Давыдова, не вызывает сомнений. Их достоверность основана на использовании современных методов вычислений квантовой электродинамики и проверке полученных аналитических результатов численными вычислениями. Результаты согласуются с соответствующими результатами, полученными другими авторами. Результаты диссертации опубликованы в авторитетных научных журналах и докладывались на многочисленных конференциях и семинарах, что подтверждает их значимость.

Результаты, полученные в диссертации, представляют **практический интерес** как с точки зрения развитых методов вычислений непертурбативных эффектов поляризации вакуума, так и точки зрения описания проявлений этих эффектов в закритической области $Z > Z_c$.

Главное моё замечание к диссертации состоит в следующем.

Рождение пар частица-дырка в графене приводит к сильной экранировке заряда примеси за счёт обсуждаемой в диссертации поляризации вакуума. Этот эффект надо, как минимум, учитывать методом самосогласованного поля (методом Хартри), как это в деталях описано в работе I.S.Terekhov et al., "Screening of Coulomb Impurities in Graphene", Phys. Rev. Lett. **100**, 076803 (2008). В этой работе, которая хорошо известна специалистам, изучающим поляризацию вакуума в графене, показано, что, например, для $Z=1$ сверхкритический режим не наступает ни при каком значении e^2/hv_F . Поэтому возможность применения результатов, полученных в диссертации для случая модельных потенциалов, к реальным экспериментам требует дальнейшего исследования. Не очень ясно, как полученные в диссертации результаты могут помочь решить проблему разделения туннельного и многофотонного механизмов рождения пар при столкновении тяжёлых ядер. Кроме того, было бы полезно привести оценки величин параметров, при которых можно наблюдать рассмотренные в диссертации эффекты и обсудить возможность проведения соответствующих экспериментов. Иначе работа выглядит как исследование свойств некоторых моделей, хотя и исследование этих моделей представляет несомненный интерес.

Отмеченные недостатки являются скорее пожеланиями к проведению дальнейших исследований, не носят принципиального характера и не влияют на достоверность и значимость полученных результатов и выводов.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

Вывод: диссертационная работа Давыдова Андрея Семёновича «Непертурбативные эффекты поляризации вакуума в условиях кулоновской закритичности» полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук в соответствии с Пунктом 9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., ред. От 11.09.2021), а сам автор, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «теоретическая физика».

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт ядерной физики
им. Г. И. Будкера Сибирского отделения Российской
академии наук (ИЯФ СО РАН),
заведующий теоретическим отделом
Мильштейн Александр Ильич,
e-mail: a.i.milstein@inp.nsk.su
т. (383) 3394700

Отзыв заверен Учёным секретарём ИЯФ СО РАН
к.ф.-м.н. Резниченко Алексеем Викторовичем
e-mail: A.V.Reznichenko@inp.nsk.su , т. (383) 329-47-99
11 ноября 2021 г.

