

Отзыв на диссертацию Самсонова Александра Сергеевича «Влияние реакции излучения и генерации электрон-позитронных пар на взаимодействие лазерного излучения и потоков заряженных частиц с веществом»

Автором диссертации получены новые оригинальные результаты в областях квантовой электродинамики и взаимодействия сверхмощного лазерного излучения и потока ультрарелятивистских заряженных частиц с веществом, в которых важны эффекты реакции излучения и генерации электрон-позитронных пар. Тема диссертации актуальна в связи с бурным развитием в последнее время лазерной техники, приведшим к появлению сверхмощных (мультипетаваттных) лазерных импульсов, с помощью которых возможно проводить эксперименты в области квантовой электродинамики и генерации интенсивных потоков вторичных излучений и частиц.

Полученные автором результаты важны как с фундаментальной точки зрения, для развития теории движения частиц в экстремальных электромагнитных полях, взаимодействия ультрарелятивистских частиц друг с другом и с плазмой, взаимодействия с веществом сверхсильных лазерных полей, так и для планирования будущих экспериментов в этих областях.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне. Положения, выносимые на защиту, являются новыми, хорошо обоснованными как с точки зрения аналитической теории, так и с точки зрения численного эксперимента, и достоверными. Основные полученные автором результаты прошли апробацию на 15 международных и всероссийских симпозиумах и конференциях и опубликованы в 10 высокорейтинговых ведущих мировых рецензируемых научных журналах, в том числе в таких как *Matter and Radiation at Extremes*, *New Journal of Physics*, *Physical Review A*, *JETP letters*, что подтверждает их достоверность.

Диссертация полностью отвечает «Положению о порядке присуждения ученых степеней» и представляет собой правильно оформленное и завершенное научное исследование. Автор лично получил все представленные в диссертации результаты. При этом его вклад в опубликованные совместно с соавторами статьи в ведущих мировых научных журналах был определяющим.

Некоторыми недостатками диссертации являются

1) В 1 главе автору стоило бы более четко оговорить необходимость применения неравенства $\gamma \ll a_0$, особенно имея в виду, что судя по Рис. 1.1 b, данное неравенство далеко не всегда выполнялось в рассматриваемых автором случаях, а также текст на стр 52, в котором говорится о необязательности данного неравенства. В этом же контексте непонятно утверждение на стр. 33 текста диссертации «энергия электрона предполагается неограниченно большой, хотя при этом и много меньшей безразмерной амплитуды ЭМ поля» (неограниченно большой по сравнению с чем?). В конце главы 1 автор делает важный вывод о том, что «пандеромоторное приближение становится неприменимым в режиме преобладания излучения и должно быть заменено асимптотическим описанием». Однако границы режима преобладания излучения указаны недостаточно четко. Так, из результатов главы 1 можно было бы сделать вывод, что такие границы определяются неравенством $a_0 > 10^3$, однако неясно, насколько ситуация зависит от геометрии задачи.

2) На рисунках 1.5 и 1.6 виден рост энергии электрона в монохроматических плоских волнах большой амплитуды с учетом реакции излучения. Однако не обсуждается возможность насыщения такого роста, которое можно было бы ожидать при дальнейшем увеличении фазы волны ϕ в связи с уменьшением квантово-электродинамического параметра χ .

3) Вторая глава называется «Взаимодействие экстремально интенсивного лазерного излучения с твердотельной мишенью». Однако, во-первых, не обсуждается возможность экспериментальной ситуации, которая позволила бы реализовать предлагаемый режим взаимодействия интенсивной плоской лазерной волны с фольгой, ускоряемой в режиме «светового паруса» до скоростей, близких к скорости света, с пренебрежимо малым отражением

излучения от фольги. А во вторых, не обсуждается какой-либо специфики, связанной именно с твердотельной мишенью (как это делается, например, в 3 главе). Твердотельная мишень в данном случае играет роль затравки для генерации КЭД каскада, влияние материала мишени не обсуждается.

4) Вызывает вопросы роль затравки для развития КЭД каскада, упоминаемая в главе 2 диссертации. Так, фраза на стр. 89 главы 2 «финальная стадия развития каскада КЭД в одиночном лазерном импульсе практически не зависит от затравки» вызывает недоумение в связи с ранее (стр 59) сделанным утверждением о том, что концентрация электронов в мишени близка к концентрации электронов в твердотельных веществах (что означает важность параметров затравки), а также утверждением на стр 94 «для наблюдения такого эффекта требуется достаточно плотная затравка». Также в самом начале стр. 91 говорится о том, что режим развития каскада может зависеть от гамма сгустка («Первый режим (см. Рис. 2.13) реализуется, когда значение a_0 лазерного импульса недостаточно велико или гамма-сгусток недостаточно плотный»), что противоречит утверждению стр 89 о слабой зависимости от затравки. Далее на стр. 95 делается утверждение о том, что «возникновение волны пробоя вакуума и последующее поглощение лазерного излучения может рассматриваться как ещё одно из фундаментальных ограничений на достижимую интенсивность лазерного излучения», которое непонятно в контексте обсуждения роли затравки и параметров такой затравки.

5) При получении результатов в параграфе 3.3 в качестве основного фактора, определяющего уменьшение энергии сильноточного пучка релятивистских электронов в плотной плазме, в аналитической модели (следующие из (3.12) и (3.13) формулы (3.68)–(3.72), из которых следуют выражения (3.88), (3.89)) учтены потери энергии пучка на излучение фотонов. В тоже время, для рассмотренного пучка электронов относительные потери энергии на излучение за период бетатронных колебаний невелики, и теоретически, конкурирующим механизмом потерь могут являться затраты энергии пучка на генерацию кильветерного поля вследствие создания в плазме бабла. Однако соответствующие оценки (незначительности данных или других возможных потерь) не приведены в диссертации.

6) неточности и (или) не очевидные утверждения, не влияющие на общую безусловно-положительную оценку проведенной работы, но затрудняющие восприятие текста диссертации, например:

На стр. 18 формула (1.4) не следует из упомянутой выше в тексте оценки $\lambda_{W \sim c} / W_{rad}$ и формулы (1.3) для W_{rad} .

На стр. 19 ниже утверждение о том, что уравнения (1.6) –(1.7) описывают нулевой момент функции распределения электронов непонятно в контексте того, что указанные уравнения – для импульса (1 момент по скорости) и энергии (2 момент по скорости). На стр. 20 в оценке отношения сил Лоренца и Штерна-Герлаха видимо допущена опечатка: имелось в виду F_{SG}/F_L .

Утверждение на стр. 31 «Поля (1.35)–(1.40) являются решениями уравнения Максвелла не только внутри волновода, но и в вакууме» является неточным, т.к. граничные условия для полей в вакууме отличны от граничных условий для полей в волноводе. На той же стр. 31 утверждение о том, что квазипериодическая асимптотическая траектория «достаточно хорошо согласуется с траекторией реального электрона при $a_0 = 4 \times 10^3$, который долгое время остаётся в области сильного поля» мало понятно без сопоставления с аналогичной реальной траекторией электрона, вычисленной без учета радиационных потерь.

На стр. 33 не указаны условия, согласно которым при вычислении силы F_1 (формула (1.61)) опущена составляющая, связанная с реакцией излучения (F_{rr}) по сравнению с малыми членами, учтенными в формуле (1.61)

На стр 55 в качестве условия развития КЭД каскада приводится неравенство $\chi > 1$, непонятное без дополнительных объяснений (например, относительно

системы отсчета), имея в виду, что вероятность рождения электрон-позитронных пар пропорциональна $\exp(-E/E_{sh})$, где E_{sh} - Швингеровское поле. При этом выражение (2.1) для χ приводится для фотона, но ниже уже говорится про электроны.

На стр. 61 говорится, что к снижению эффективности ускорения ионов приводит образование электрон-позитронной плазмы. Однако из Рис. 2.2 выше следует, что большую роль может играть конверсия энергии лазерного излучения в энергию гамма-квантов.

На стр. 62 утверждается, что скорость фронта каскада слабо зависит от толщины мишени, но не разъясняется, к какому диапазону толщин относится это утверждение. В то время как ясно, что с дальнейшим увеличением толщины мишени начнут играть роль такие процессы, как отражение излучения от мишени, смена режима ускорения ионов, тормозное излучение вторичных ускоренных частиц в поле ядер вещества.

На стр. 71 сказано, что «отражение, возникающее на начальном этапе лазерного взаимодействия с тонкой твердой мишенью, согласно теории относительности, быстро истощается по мере ускорения частиц в направлении распространения лазерного импульса», однако не пояснено, по сравнению с какими временами предполагается малость времени истощения.

На стр 72 указано, что КЭД процессы более высокого порядка значительно менее вероятны, чем нелинейное комптоновское рассеяние и процесс Брейта-Уилера, учитываемые в работе автора. Данное утверждение, сделанное в общей форме, сомнительно без указания соответствующего диапазона параметров энергий электронов и гамма квантов. На этой же стр. 72 сказано, что «активные гамма-кванты излучаются парами в процессе их движения по винтовым траекториям в плазменной области» - данная фраза непонятна: если имеются в виду электрон-позитронные пары, то электроны и позитроны двигаются по разным винтовым траекториям.

На стр. 74 в подписи к Рис. 2.8 говорится о «малой окрестности координаты x ». Однако на рисунке присутствует ось абсцисс x -ст, но не сказано, о каком именно значении x идет речь.

Утверждение на стр. 75 «в вакуумной области по определению нет коллективных эффектов и в ней не развивается КЭД каскад» неточно в контексте Рис. 2.6 выше, на котором показана генерация фотоном электрон-позитронной пары именно в вакуумной области.

На стр 81 утверждение «в лабораторной системе отсчета электрическое и магнитное поля нестрого перпендикулярны» дано без соответствующих пояснений. Аналогично, пояснение желательно и к предположению модели на стр. 86: «электроны и позитроны излучают гамма-кванты строго против оси x »

На стр. 99 в формуле (3.2) вместо величины T_D видимо должна стоять величина τ_D , а на стр. 128 вместо величины Γ в формулах (3.88), (3.89) видимо должна стоять величина γ (при этом также требуется ссылка на формулы (3.68)-(3.72), из которых следуют выражения (3.88), (3.89), с указанием на приближение длинных пучков, используемое в этом случае).

На стр. 112 непонятно, почему условие большого числа бетатронных колебаний на длине ультрарелятивистского пучка заряженных частиц и малости радиационных потерь на периоде колебаний связывается с большей плотностью энергии в одном из сталкивающихся пучков, по сравнению с плотностью энергии (или массой, лоренц-фактором, концентрацией частиц) в другом пучке. Там же говорится, что «вводятся переменные» a и ϕ , (3.65), (3.66), в то время как речь идет о решении уравнений (3.12) и (3.13) (по видимому, методом ВКБ).

Отмеченные недостатки не влияют на общую, безусловно высокую, оценку диссертации, обусловленную качеством проведенной научной работы, с упором на аналитические методы исследования, подкрепленные численным моделированием, а

также количеством и качеством полученных научных результатов, достоверность которых подтверждена публикациями в ведущих международных высокорейтинговых научных журналах.

Официальный оппонент:

Вейсман Михаил Ефимович, кандидат физ.-мат. наук., старший научный сотрудник отдела теории лазерной плазмы Объединенного Института Высоких Температур РАН. Специальность: Физика плазмы.

Почтовый адрес: 125412, Москва, улица Ижорская, дом 13, строение 2, ОИВТ РАН.

Телефон: 8 917 141 54 18

e-mail: bme@ihed.ras.ru

Выражаю согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации А. С. Самсонова

Вейсман Михаил Ефимович

«27» ноября 2023 г.

Подпись М.Е. Вейсмана удостоверяю.

Ученый секретарь ОИВТ РАН

доктор физико-математических наук



Киверин Алексей Дмитриевич

Приложение: список научных трудов за последние 5 лет Вейсмана М.Е.:

1. Veysman, M.E.; Ropke, G; Reinholz, H, High frequency dielectric function of metals taking into account Umklapp processes, J. of Phys.: Conf. Series, 1147, 1, 012071 (2019)
2. Veysman, M.; Ropke, G.; Reinholz, H., Application of the Non-Equilibrium Statistical Operator Method to the Dynamical Conductivity of Metallic and Classical Plasmas, Particles, 2, 2, 242-260 (2019)
3. Veisman, M.E.; Andreev, N.E., Dependence of emittance on the length of an electron bunch during laser-plasma acceleration in guiding structures, Quantum Electronics, 50, 4, 392 (2020)
4. Veysman, M., On Peculiarities of Betatron Oscillations of Accelerated Electron Bunches in Capillary Waveguides, Laser and Particle Beams, 2021, 1-10 (2021)
5. Veysman, M; Ropke, G; Reinholz, H, Dynamical conductivity of warm dense matter from correlation functions with account for interband transitions, Physics of Plasmas, 28, 10 (2021)

Veisman, M.E.; Umarov, I.R.; Pugacheva, D.V.; Andreev, N.E., Multistage laser-plasma acceleration of ultrashort electron and positron bunches, Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 50