

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Цымбалова Ивана Николаевича

на тему: «Нелинейные плазменные волны и ускорение электронов при воздействии лазерного излучения релятивистской интенсивности на плотную плазму»

Диссертация посвящена исследованию параметрических неустойчивостей и ускорения электронов в сильно неоднородной лазерной плазме.

Актуальность тематики исследования связана с разработкой новых методов лазерного ускорения заряженных частиц. Достоверность и новизна полученных в диссертационной работе выводов подтверждается публикациями результатов исследований, представленных в диссертационной работе. Результаты работы также представлены на ряде конференций.

Работа состоит из трех глав, введения, заключения и списка литературы. В первой главе приведено описание постановки экспериментов, методов регистрации оптического излучения плазмы и генерируемых в ней электронных пучков. Приведено описание методики измерения заряда электронного пучка. Также в этой главе описаны используемые подходы к описанию плазмы и ее моделированию методом крупных частиц (PIC - моделирование). Во второй главе рассмотрены процессы возбуждения параметрических неустойчивостей при наклонном падении фемтосекундного лазерного излучения на плазму с масштабом неоднородности порядка длины волны греющего импульса. Из приведенных результатов численного моделирования следует, что основным механизмом возбуждения плазменных волн является гибридная неустойчивость вынужденное комбинационное рассеяние – двухплазмонный распад. Достоверность результатов моделирования подтверждается полученными экспериментально характеристиками оптического излучения на частоте полуторной гармоники. В третьей главе показана возможность генерации коллимированного пучка электронов в плазменном канале, который формируется отраженным от плотной плазмы лазерным импульсом. Установлено, что возникающие после распада плазменных

волн параметрических неустойчивостей горячие электроны могут быть эффективно инжектированы в канал и ускорены.

Важным достоинством диссертационной работы является то, что экспериментальные исследования дополнены численным моделированием предполагаемых процессов. Это обстоятельство дает дополнительный аргумент в пользу достоверности результатов и понимания нелинейных физических механизмов, приводящих к наблюдаемым параметрам генерируемых электронных пучков и рассеянного излучения, включая генерацию гармоник в сильно неоднородной плазме с характерным размером порядка длины волны лазерного излучения. Полученные в рамках данной работы результаты могут применяться для лучшего понимания физики взаимодействия лазерного излучения с плазмой. Также они дают новые инструменты для диагностики плазмы и позволяют создать источники ускоренных электронов и тормозного излучения.

Несмотря на положительную в целом оценку диссертационной работы, считаю необходимым сделать некоторые замечания, а именно:

1. Вряд ли целесообразно приводить и даже обосновывать общую систему уравнений Максвелла-Власова (1.1)-(1.5), повсеместно и во все времена применяемую для теоретического описания плазмы. Полезнее было бы привести уравнения для решаемой диссертантом задачи – для конкретной системы координат, для конкретной поляризации лазерного излучения и т.д. Недостатком является и то, что в работе ничего не говорится о математической постановке задачи (помимо уравнений необходимы еще начальные и граничные условия). Получается, что математическая сторона проблемы полностью передоверяется использованному автором компьютерному коду.

2. В диссертации упоминается о порогах рассматриваемых параметрических неустойчивостей. При этом не говорится о том, чем эти пороги обусловлены – диссипативными процессами в плазме, или ее пространственной неоднородностью, или еще чем-то.

3. Инкременты (2.4) и (2.7) являются инкрементами параметрических неустойчивостей, называемых в физике плазмы простыми (коллективными, рамановскими) распадами. Условием применимости теории простого распада

является малость инкремента по сравнению с ленгмюровской частотой. Поскольку осцилляторная скорость электрона в поле интенсивной лазерной накачки близка к скорости света, указанное выше условие не выполняется. Поэтому неустойчивости переходят в режим, называемый в физике плазмы модифицированным (одночастичным, комптоновским) распадом. В работе это интересное обстоятельство не обсуждается.

4. Как и любые другие неустойчивости, распадные неустойчивости имеют какой-то механизм насыщения, например, обеднение волны накачки, нелинейный сдвиг частоты, разрушение ленгмюровской волны (опрокидывание, или самозахват). А может быть просто малая длительность лазерного импульса? Было бы интересно узнать какие механизмы насыщения действуют в условиях натуральных и компьютерных экспериментов, выполненных диссертантом.

5. Автор диссертации совсем в работе не упоминает о поверхностной плазменной волне – так называемом поляритоне. В условиях резко неоднородной плазмы, когда толщина плазменной границы сопоставима с длиной волны поверхностные волны плазмы могут оказаться существенными. Известно, что падающей на границу плазма-вакуум электромагнитной волной поверхностную волну возбудить нельзя из-за невыполнимости условий резонанса. Однако при наличии рассеянной волны резонанс возможен и становится возможным возбуждение поверхностной волны, что целесообразно было обсудить в диссертации.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.21 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1- 2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Таким образом, соискатель Цымбалов Иван

Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
профессор
Кузелев Михаил Викторович

10.06.2019

Контактные данные:

e-mail: kuzelev@mail.ru, рабочий телефон: 8(495)939-25-47

Кафедра физической электроники, физический факультет МГУ им. М.В.
Ломоносова.

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.04.08 – «Физика плазмы»

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва Ленинские горы, дом 1, строение 2, Физический Факультет

Подпись М. В. Кузелева заверяю

Ученый секретарь

Ученого Совета

физического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова

профессор

В.А.Караваев