

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Горловой Дианы Алексеевны на тему: «Ускорение электронов и вторичные процессы при взаимодействии лазерного импульса релятивистской интенсивности со слоем подкритической плазмы» по специальности 1.3.19 – лазерная физика**

Диссертационная работа Горловой Д.А. посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям лазер-плазменных методов ускорения заряженных частиц и генерации терагерцового излучения в относительно малоизученной области параметров, а именно, при плотности плазмы, которая ненамного меньше критической (не более чем в 10 раз). Обычно в задачах об ускорении частиц в плазме есть большой параметр – отношение лазерной частоты к плазменной – который позволяет ввести иерархию масштабов и, благодаря ее наличию, изучать физические эффекты отдельно друг от друга. В данном же случае все важные процессы происходят примерно на одних и тех же пространственных и временных масштабах. То есть объект исследования весьма сложен для изучения. Дополнительную сложность добавляет тот факт, что численное моделирование этой задачи находится на пределе имеющихся вычислительных возможностей, и нельзя ни повысить точность расчетов уменьшением пространственной сетки, ни организовать параметрический поиск перебором большого количества вариантов. При этом данная область параметров обладает большой практической важностью, поскольку при умеренной подкритичности плазмы возможно ускорять частицы лазерными импульсами относительно небольшой мощности и энергозапаса, а значит недорогими, широко распространенными и работающими с высокой частотой повторения. Таким образом, тема исследования весьма **актуальна** и имеет **перспективы практических применений**.

Результаты исследования ускорения электронов и вторичных процессов представлены в двух главах диссертации, второй и третьей. Первая глава посвящена подробному и весьма качественному описанию экспериментальной установки и методики исследования. При этом некоторые методики являются оригинальными и являются научными результатами сами по себе, например, метод анализа механизмов ускорения электронов при помощи разделения полей на потенциальные и вихревые.

Если характеризовать полученные результаты в целом, то сделано все возможное, чтобы разобраться в хитросплетении процессов, происходящих на конкретной установке при допускаемых этой установкой вариации параметров системы. Что возможно было зарегистрировать в эксперименте имеющимся набором диагностик – зарегистрировано и проанализировано. Что диагностики не позволяют зарегистрировать с требуемой определенностью, то извлечено из численного моделирования. Если какие-то эффекты оказываются за пределами возможностей численного моделирования, то для них строится упрощенная аналитическая модель. При этом и положения, выносимые на защиту, и научные выводы сформулированы очень аккуратно. В них вынесены не все сделанные в процессе исследования находки, а только заведомо **хорошо обоснованные и не вызывающие сомнений**. Все результаты диссертационной работы являются **новыми**. При этом перекрестное получение результатов разными методиками (комбинацией экспериментального, численного и аналитического подходов) обеспечивает их **достоверность**.

По диссертационной работе, однако, есть вопросы и замечания:

1. Из представленных рисунков не всегда очевидны утверждения, делаемые на их основе. Например, со ссылкой на Рис. 1.11 делается вывод, что «данные различия не приводят к значительным расхождениям в свойствах ускоренных электронов». Но рисунок показывает, что положение ускоренных электронов в сопутствующей системе координат заметно различается для двух численных схем, а энергию и фазовый портрет

ускоренных электронов не показывает, хотя для утверждения о незначительном расхождении свойств требуется показать именно близость энергий и фазовых объемов.

2. В разделе 1.2.6 показано, что при правильной постобработке энергия частиц лучше совпадает с результатами моделирования. Однако продемонстрированная на Рис. 1.14 степень согласия (с различием почти 1 МэВ для частиц, которые типично ускоряются на несколько МэВ), вызывает вопрос: почему даже при корректной постобработке ошибка такая большая и можно ли выбором параметров численного моделирования уменьшить эту ошибку, скажем, до уровня 5%.
3. Декларация о том, что обнаруженный эффект отклонения пучка электронов от оси распространения лазерного импульса градиентом плотности плазмы может найти применение при создании многостадийных схем лазерно-плазменного ускорения, кажется преждевременной. Во-первых, идеология многостадийного ускорения предполагает, что пучок движется по прямой. Если бы его разрешалось отклонять, то можно было бы запустить в кольцевой ускоритель. Во-вторых, многостадийные схемы ускорения предполагают, что электронный пучок имеет энергию в десятки-сотни ГэВ. Методы, обеспечивающие энергетически неселективное отклонение МэВных пучков, для мульти-ГэВных пучков могут не работать.
4. Вызывает вопрос удивительно хорошее совпадение энергетических спектров, полученных при разной поляризации лазерного импульса [Рис. 2.4(в) и 2.5(в)]. Казалось бы, при такой погрешности разные серии измерений даже при одинаковых параметрах эксперимента должны давать разные спектры, тем более при разных поляризациях. Но спектры совпадают с точностью до каждой извилины.
5. Утверждение, что температура спектра для линейной поляризации излучения совпадает с экспериментально измеренными значениями в пределах погрешности, не следует с очевидностью из Рис. 2.5 и нуждается в комментариях. Угол наклона рассчитанного спектра совпадает

с экспериментально полученным (2.1 МэВ) при энергиях более 4 МэВ, а при меньших энергиях (для которых была рассчитана температура в эксперименте) заметно различается.

- б. Утверждение, что «отличие в значении пространственной стабильности в 0.05 рад, может также быть вызвано вибрациями установки» (стр. 47) никак не обосновано. Наверно, могут быть и иные причины. Почему решили, что именно эта?

Также следует отметить, что качество изложения сильно неоднородно по тексту диссертации. Количество грамматических ошибок заметно возрастает при движении от безупречно написанного Введения к концу диссертации.

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 специальности 1.3.19 – лазерная физика (по физико-математическим наукам), а именно пункту 2 паспорта специальности: «Взаимодействие лазерного излучения с веществом; лазерная плазма; лазерные установки и в том числе со сверхсильными световыми полями; генерация и ускорение заряженных частиц; генерация наночастиц и модификация поверхности, создание на этой основе датчиков и устройств». Содержание диссертации также удовлетворяет критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертация оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Горлова Диана Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
главный научный сотрудник сектора 5-12 Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера  
Сибирского отделения Российской академии наук

Лотов Константин Владимирович

28.08.2023

Контактные данные:

тел.: \_\_\_\_\_, e-mail: [K.V.Lotov@inp.nsk.su](mailto:K.V.Lotov@inp.nsk.su)  
Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:  
01.04.08 – физика плазмы

Адрес места работы:

630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, д. 11,  
ИЯФ СО РАН  
Тел.: +7 (383) 329-47-60; e-mail: [inp@inp.nsk.su](mailto:inp@inp.nsk.su)

Подпись сотрудника  
ИЯФ СО РАН К.В.Лотова удостоверяю: