

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук

Андреева Николая Евгеньевича

на диссертацию Вайс Ольги Евгеньевны «Теоретическое исследование эффектов прямого лазерного ускорения частиц для целей диагностики интенсивных лазерных импульсов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

Диссертационная работа Вайс О.Е. посвящена исследованию эффектов лазерного ускорения частиц из разреженного газа или ультратонких нанофольг с целью диагностики параметров высокоинтенсивных лазерных импульсов. Данное направление исследований представляет практический интерес и имеет высокую практическую значимость для лазерных систем петаваттного уровня мощности, интенсивность которых при фокусировке лазерного импульса в пятно диаметром в несколько длин волн может достигать рекордных значений в 10^{22} Вт/см². Такие высокие значения не могут быть измерены напрямую традиционными методами, поэтому создание новых методов и подходов оказывается важной задачей. Теоретическому обоснованию одного из таких методов посвящена диссертационная работа Вайс О.Е., что обеспечивает актуальность проведенного в рамках диссертации исследования.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 145 страниц, включая 45 рисунков и 4 таблицы. Список литературы содержит 133 наименования.

Во **введении** сформулированы актуальность исследований, цели работы и решенные задачи; обозначена новизна и практическая значимость полученных результатов. Приводятся положения, выносимые на защиту, а также информация о личном вкладе автора, перечислены всероссийские и международные конференции, на которых проходила апробация работы, а также представлен список публикация по материалам диссертации.

Первая глава посвящена постановке задачи, методам, используемым в численных расчетах и теоретических исследованиях для описания компонент лазерного импульса вблизи фокуса пучка и описания динамики электронов и протонов при взаимодействии с лазерным импульсом, а также границам применимости этих методов.

Во **второй главе** исследуется зависимость угловых и энергетических характеристик распределений частиц от параметров лазерного импульса. В данной главе рассматривается влияние следующих параметров лазерного импульса: пиковой интенсивности, диаметра фокального пятна, пространственно-временной формы и начальной фазы лазерного импульса, его длительности. Исследована устойчивость предлагаемого метода диагностики относительно случайных флуктуаций параметров эксперимента. Кроме того представлены результаты численного моделирования, проведенного в рамках экспериментальной апробации данного метода. Во второй главе показана немонотонная зависимость энергетических характеристик частиц от диаметра фокального пятна лазерного импульса при фиксированной его мощности, когда диаметр пятна увеличивается, начиная с одной длины волны. Показана анизотропия

энергетических распределений электронов при острой фокусировке и связь угла вылета высокоэнергетичных частиц с диаметром фокального пятна лазерного импульса в условиях острой фокусировки.

Третья глава посвящена исследованию нелинейного томсоновского рассеяния острогофокусированного лазерного импульса на одиночных электронах и на ансамбле частиц. Проведен анализ временных и спектральных характеристик вторичного излучения для случая генерации излучения одиночными электронами. Исследовано влияние пиковой интенсивности и диаметра фокального пятна лазерного импульса на спектрально-угловые распределения вторичного излучения, генерированного при рассеянии лазерного импульса на ансамбле электронов. В третьей главе показано, что направление, в котором детектируются наиболее широкие спектры вторичного излучения, определяется диаметром фокального пятна лазерного импульса.

В **четвертой главе** исследуется связь характеристик распределений пондермоторно ускоренных протонов с параметрами лазерного импульса. В диссертации приводится оценка пиковой интенсивности лазерного импульса на основе полуаналитической формулы. Исследуется влияние пространственно-временной формы лазерного импульса на распределения частиц. В четвертой главе показано, что угловая ширина энергетических спектров протонов определяется диаметром фокального пятна острогофокусированного лазерного импульса. Предложена методика одновременного измерения пиковой интенсивности лазерного импульса и его длительности на основе взаимодополняющей диагностики при помощи двух сортов частиц: электронов и протонов.

В **заключении** приведены выводы и основные результаты работы.

Защищаемые положения, выводы и рекомендации по проведению диагностики являются обоснованными. Основные результаты исследований имеют высокую степень новизны. Так было впервые проведено комплексное исследование влияния различных пространственно-временных параметров лазерного импульса, сфокусированного внеосевым параболическим зеркалом в пятно диаметром вплоть до дифракционного предела, на спектрально-угловые распределения частиц: электронов, протонов и фотонов вторичного излучения. Было впервые предложено использовать протоны для диагностики лазерных импульсов, а также предложена методика диагностики лазерного импульса на основе двух сортов частиц.

Результаты работы являются достоверными. Для всех моделей, используемых в численных расчетах и теоретических исследованиях, обозначены диапазоны их применимости, а также произведена проверка выполнения данных условий. Численные коды, используемые в ходе выполнения диссертации, были проверены на известных задачах. Предложенный метод диагностики лазерных импульсов прошел экспериментальную апробацию на лазерной установке в МЛЦ МГУ. Результаты работы были представлены на многочисленных всероссийских и международных конференциях, а также опубликованы в 8 статьях в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

Тем не менее, по диссертационной работе имеются замечания:

Не достаточно полно рассмотрен вопрос о поляризации томсоновского рассеяния в условиях острой фокусировки лазерного импульса. При рассеянии линейно поляризованной электромагнитной волны за счет колебаний электрона вдоль вектора поляризации лазерного импульса вторичное излучение оказывается также поляризованным. В случае острой фокусировки излучения, при более сложной структуре поля, поляризация вторичного излучения требует дополнительного анализа.

Несомненный интерес представляла бы возможность использования для диагностики лазерных импульсов других типов ионов (кроме ионов водорода), особенно имея в виду взрывоопасность водородного газа. Информация о возможности использования для диагностики лазерных импульсов с интенсивностями до 10^{24} Вт/см² более тяжелых ионов существенно расширила бы применимость полученных результатов.

Сделанные замечания не снижают научной значимости результатов, представленных в диссертации, и общей положительной оценки работы.

Диссертационная работа подтверждает научную квалификацию Вайс О.Е.. Автореферат достоверно отражает структуру и содержание диссертационной работы. Диссертация Вайс О.Е. «Теоретическое исследование эффектов прямого лазерного ускорения частиц для целей диагностики интенсивных лазерных импульсов» полностью удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации (№ 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор, Вайс Ольга Евгеньевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

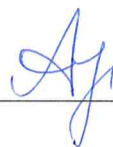
Официальный оппонент:

Заведующий лабораторией теории лазерной плазмы

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН),

доктор физико-математических наук, профессор

 Андреев Николай Евгеньевич
«27» октября 2021 г.

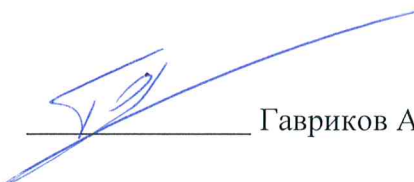
Почтовый адрес: 125412, Россия, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2

Телефон: +7(495) 485-97-22

E-mail: andreev@ras.ru

Подпись Н.Е. Андреева удостоверяю:
заместитель директора ОИВТ РАН,
доктор физико-математических наук



 Гавриков Андрей Владимирович

Список основных публикаций оппонента Н.Е. Андреева по теме диссертации Вайс О.Е. в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. High-current laser-driven beams of relativistic electrons for high energy density research, O.N. Rosmej, M. Gyrzymov, M.M. Günther, N.E. Andreev et al., Plasma Phys. Control. Fusion **62**, 115024 (2020)
2. Interaction of relativistically intense laser pulses with long-scale near critical plasmas for optimization of laser based sources of MeV electrons and gamma-rays, O.N. Rosmej, N.E. Andreev et al., New J. Phys. **21**, 043044 (2019)
3. Ускорение электронов при взаимодействии субтераваттного лазерного импульса с неоднородной плазмой, В.С. Попов, Н.Е. Андреев, Квантовая электроника, **49**:4 (2019), 307–313 [Quantum Electron., **49**:4 (2019), 307–313]
4. Влияние синхротронного излучения на динамику прецессии спина электрона в процессе лазерно-плазменного ускорения, Д.В. Пугачёва, Н.Е. Андреев, Квантовая электроника, **48**:4 (2018), 291–294 [Quantum Electron., **48**:4 (2018), 291–294]
5. Trapping and acceleration of short electron bunches in the laser wakefields, N.E. Andreev, V.E. Baranov, H.H. Matevosyan, Laser and Particle Beams **35**(4), 569–573 (2017)
6. Electron acceleration at grazing incidence of a subpicosecond intense laser pulse onto a plane solid target, N.E. Andreev, L.P. Pugachev, M.E. Povarnitsyn, P.R. Levashov, Laser and Particle Beams, **34**(1), 115–122 (2016)
7. Acceleration of electrons under the action of petawatt-class laser pulses onto foam targets, L.P. Pugachev, N.E. Andreev, P.R. Levashov, O.N. Rosmej, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **829**, 88–93 (2016)