

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 20 июня 2022 г № 27

О присуждении Метельскому Игорю Игоревичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Релятивистски-нелинейное резонансное поглощение и генерация высших гармоник интенсивного лазерного излучения в неоднородной плазме» по специальности 1.3.19 — Лазерная физика принята к защите 4 апреля 2022 года, (протокол заседания № 22) диссертационным советом 24.1.262.01, созданным 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Метельский Игорь Игоревич, 28 октября 1987 года рождения, в 2012 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”», кафедру теоретической ядерной физики факультета экспериментальной и теоретической физики, по специальности «Прикладные математика и физика». С 2013 года обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) по направлению «Физика и астрономия» и закончил её в 2017 году. Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана ФИАН в 2022 году. С 2012

года является сотрудником ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова» (ВНИИА), Росатом. В настоящее время работает в должности старшего научного сотрудника в ФГУП «ВНИИА». С 2017 года также работает по совместительству в ФИАН, в настоящее время – в должности высококвалифицированного младшего научного сотрудника в Секторе лазерно-плазменной физики высоких энергий ФИАН.

Диссертационная работа И. И. Метельского выполнена в Секторе лазерно-плазменной физики высоких энергий Отделения квантовой радиофизики ФИАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Быченков Валерий Юрьевич, высококвалифицированный главный научный сотрудник и заведующий сектором лазерно-плазменной физики высоких энергий Отделения квантовой радиофизики ФИАН.

Научный консультант – Ковалев Владимир Федорович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного учреждения Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Андреев Александр Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ);
2. Ким Аркадий Валентинович, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией Экстремальной нелинейной оптики Федерального исследовательского центра «Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН) (г. Нижний Новгород)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера Сибирского

отделения Российской академии наук» (ИЯФ СО РАН), город Новосибирск, в своем положительном отзыве, подписанном заместителем директора по научной работе, заведующим лабораторией 9-1 ИЯФ СО РАН, доктором физико-математических наук Багрянским Петром Андреевичем и главным научным сотрудником лаборатории 9-1 ИЯФ СО РАН, доктором физико-математических наук Тимофеевым Игорем Валериевичем и утвержденном директором ИЯФ СО РАН, академиком РАН, доктором физико-математических наук Логачевым Павлом Владимировичем, указала, что соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 16 работ, их них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science, опубликовано 7 работ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем И. И. Метельским работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. И. И. Метельский, В. Ф. Ковалев, В. Ю. Быченков. Нелинейный плазменный резонанс в неоднородной релятивистской плазме // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2015. № 12. С. 68–73.
2. I. I. Metelskii, V. F. Kovalev, and V. Yu. Bychenkov. Renormgroup algorithm for the theory of the relativistic plasma resonance // Journal of Physics: Conference Series. 2016. v. 769, no. 1, art. no. 012083.
3. И. И. Метельский, В. Ф. Ковалев, В. Ю. Быченков. Нелинейный релятивистский плазменный резонанс: Ренормгрупповой подход // Физика плазмы. 2017. Т. 43, № 2. С. 175–190.
4. I. I. Metelskii, V. F. Kovalev, and V. Yu. Bychenkov. Harmonic Generation by Relativistic Plasma Resonance // Journal of Russian Laser Research. 2019. v. 40, no. 5. pp. 429–434.

5. I. I. Metelskii, V. F. Kovalev, and V. Yu. Bychenkov. Higher-order harmonic generation of laser radiation due to relativistic plasma resonance at nonrelativistic laser intensity // *Physics of Plasmas*. 2019. v.26, no. 11, article no. № 113113.
6. И. И. Метельский, В. Ф. Ковалев, В. Ю. Быченков. Нелинейное резонансное поглощение и генерация квазистатического электрического поля в неоднородной релятивистской плазме // *ЖЭТФ*. 2021. Т. 160, Т. 2, № 8. С. 283–301.
7. И. И. Метельский. Релятивистски-нелинейное резонансное поглощение при малых углах падения лазерного излучения на неоднородную плазму // *Краткие сообщения по физике ФИАН*. 2021. Т. 12, № 48. С. 49–57.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области взаимодействия интенсивного лазерного излучения с плазмой и физики плазмы, а ведущей организации – ее репутацией признанного научного центра, проводящего исследования в области взаимодействия мощных лазерных импульсов с плазмой и лазерно-плазменного ускорения частиц.

Диссертация Метельского И. И. посвящена построению аналитических теорий нелинейного резонансного поглощения и генерации высших гармоник интенсивного лазерного излучения в неоднородной плазме с учетом релятивистских эффектов движения электронов плазмы в окрестности критической плотности.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. В рамках гидродинамической модели релятивистской электронной плазмы построены аналитические теории резонансного поглощения и генерации высших гармоник лазерного излучения в неоднородной

плазме с учетом двух типов нелинейности движения электронов вблизи критической плотности – нерелятивистской и релятивистской. Получены выражения для коэффициента нелинейного резонансного поглощения и коэффициента преобразования в высшие гармоники, пригодные в диапазоне интенсивностей лазерного излучения до $I\lambda^2 = 10^{18}$ Вт/см²×мкм² (λ – длина волны лазерного света в мкм)

2. Новое аналитическое выражение для коэффициента нелинейного резонансного поглощения принципиально отличается от выражения в линейной теории тем, что имеет вид функции четырех управляющих лазерного-плазменных параметров: лазерной интенсивности, масштаба неоднородности плазмы, ее температуры и угла падения лазерного излучения на плазму.
3. За счет релятивистской нелинейности, проявляющейся как фазовая модуляция электронных колебаний, коэффициент поглощения с ростом лазерной интенсивности уменьшается, а его максимум сдвигается в область малых углов падения лазерного излучения на плазму по отношению к максимуму в линейной теории.
4. В окрестности границы применимости теории, определяемой условием опрокидывания резонансно-усиленных плазменных колебаний, формируются спектры вторичного излучения из плазмы в вакуум, которые характеризуются степенной зависимостью интенсивности гармоник от их номера. Наиболее эффективная генерация обнаруживается при масштабах неоднородности плазмы порядка 10λ и в диапазоне плотностей потоков лазерного излучения $I\lambda^2 = 5 \times 10^{17} + 10^{18}$ Вт/см²×мкм².
5. В окрестности плазменного резонанса генерируется квазистатическое электрическое поле, которое при лазерных потоках до $I\lambda^2 = 10^{18}$ Вт/см²×мкм² не превышает величины в несколько МВ/см. При этом

максимальная энергия ускоренных электронов достигает нескольких десятков кэВ.

Все результаты, представленные автором, являются новыми. Новизна обусловлена тем, что:

- Впервые разработана аналитическая теория релятивистского плазменного резонанса в неоднородной плазме с использованием метода ренормгрупповых симметрий;

- Впервые построена самосогласованная теория релятивистски-нелинейного резонансного поглощения, в рамках которой вычислен коэффициент поглощения с учетом релятивистской нелинейности движения электронов в резонансно-усиленном плазменном поле.

- Впервые построена аналитическая теория генерации гармоник релятивистским плазменным резонансом, которая позволяет вычислять коэффициент преобразования в высшие гармоники и демонстрирует спадающие степенным образом спектры вторичного излучения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что построенная в диссертации теория позволяет находить связь коэффициента нелинейного резонансного поглощения и спектральных характеристик вторичного излучения с лазерно-плазменными параметрами. Получение количественных и качественных оценок величины поглощения и эффективности генерации гармоник имеет значение для задач диагностики лазерной плазмы. Теория может сыграть важную роль в сопровождении и направлении полномасштабного численного моделирования взаимодействия лазерных импульсов с твердотельными мишенями. Полученные результаты справедливы для лазерных интенсивностей вплоть до 10^{18} Вт/см² (при длине волны лазера $\lambda_{\text{laser}} = 1.064$ мкм), и могут применяться при планировании или интерпретации экспериментов по лазерному термоядерному синтезу.

Достоверность полученных соискателем результатов подтверждается сопоставлением выводов построенной в диссертации теории генерации высших гармоник с известными из литературы результатами экспериментов по генерации гармоник CO_2 -лазерного излучения. Получено хорошее количественное согласие рассчитанных степенных спектров высших гармоник с экспериментально обнаруженными медленно убывающими спектрами вторичного излучения из лазерной плазмы. Кроме того, теория прошла проверку на предельные переходы: при уменьшении интенсивности поля лазерной накачки результаты теории переходят сначала в результаты сильно нелинейной нерелятивистской теории генерации гармоник, а при дальнейшем понижении интенсивности – в результаты теории возмущений. Также достоверность результатов подтверждается их качественным согласием с результатами, полученными другими авторами в рамках численного моделирования.

Все основные научные результаты, включенные в диссертацию Метельского И. И., получены лично автором, либо при его определяющем участии. Подготовка результатов к публикации проводилась совместно с соавторами.

В ходе защиты соискатель Метельский И. И. аргументировано ответил на заданные ему вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 20 июня 2022 года диссертационный совет принял решение присудить И. И. Метельскому учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи построения теории релятивистски-нелинейного резонансного поглощения и генерации высших гармоник лазерного излучения в неоднородной плазме, которая имеет важное значение для дальнейшего развития лазерно-плазменной физики высоких энергий.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 21 человека, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.19 — Лазерная физика), участвовавшие в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 21,
против присуждения учёной степени - 0,
недействительных бюллетеней - 0.

Заместитель председателя диссертационного совета
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Пудалов Владимир Моисеевич

Учёный секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Золотко Александр Степанович

20 июня 2022 г.