

Отзыв

Официального оппонента канд. физ.-мат.наук Волокитина Александра Сергеевича

на диссертационную работу Скубачевского Антона Александровича “Численное моделирование движения заряженной частицы в неоднородной электромагнитной волне”, представляемую на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 (Физика атмосферы и гидросферы).

Диссертационная работа Скубачевского Антона Александровича посвящена исследованию движения заряженной частицы в неоднородной электромагнитной волне. Исследованы свойства движения частицы, а также их зависимость от различных параметров волны и заряженной частицы. Проведено подробное исследование спектра излучения, а также сравнение мощности тормозного и циклотронного излучения электрона в поле обыкновенной и необыкновенной неоднородной электромагнитной волны.

Актуальность исследования. Исследованная в работе проблема является актуальной, поскольку позволяет более детально понять механизм нагрева ионосферы при воздействии мощных импульсов электромагнитных волн. Не менее важно, что результаты данной работы могут быть использованы для исследования процесса набора энергии электронами на фронтальной поверхности мишени в электромагнитном поле падающего лазерного импульса, являющегося определяющим для последующего ускорения электронов мишени.

Полный объем диссертации составляет 122 страницы с 63 рисунками и 2 таблицами. Список литературы содержит 138 наименований.

Во **Введении** обозначена цель и дано обоснование актуальности диссертационной работы; определен круг решаемых в ней задач; сформулированы выносимые на защиту научные положения; приводится научная новизна работы, а также достоверность и практическая значимость результатов.

Первая глава посвящена постановке задачи, а также описанию численной модели движения заряженной частицы в неоднородной электромагнитной волне, представляющей из себя линейную комбинацию плоских волн. Также в данной главе при помощи теории рядов Фурье приводится обоснование возможности такого представления.

Вторая глава посвящена описанию используемых в работе численных методов и верификации работы программы, написанной для моделирования движения частицы в неоднородной электромагнитной волне с помощью

данных методов. Проводится сравнение результатов, полученных с помощью численного моделирования, с результатами, полученными в работах других авторов аналитически или методом возмущений.

Третья глава посвящена исследованию взаимодействия электрона с неоднородной электромагнитной волной. В частности построена трехмерная траектория электрона в поле двух плоских электромагнитных волн и проведён детальный анализ влияния параметров волны и электрона на свойства движения. Установлены ограничения на начальные координаты и скорость электрона, а также на начальную фазу волны, при которых электрон в процессе движения остаётся в пределах интерференционной ячейки. Определена зависимость максимальной скорости электрона в процессе движения от амплитуд электрического поля, несущей частоты и от направляющих углов плоских волн, образующих неоднородную волну. Показано, что при инжекции электронов через равные промежутки времени в неоднородные обыкновенную и необыкновенную электромагнитные волны поток электронов концентрируется в линейные структуры, лежащие на образующей конуса второго порядка. Исследован спектр излучения электрона в поле неоднородной электромагнитной волны, в том числе, обыкновенной и необыкновенной. Установлена возможность управления боковыми частотами несущей частоты с помощью амплитуды электрического поля и несущей частоты волны, а также от направляющих углов плоских волн, образующих неоднородную волну.

Четвертая глава посвящена исследованию тормозного и циклотронного излучения электрона в неоднородных обыкновенной и необыкновенной электромагнитных волнах. Установлено, что мощность циклотронного излучения превышает мощность тормозного в поле необыкновенной волны, в то время, как мощность тормозного излучения может превосходить мощность циклотронного в поле обыкновенной волны, в зависимости от амплитуды электрического поля волны.

В Заключение приводится краткая сводка полученных результатов.

Наиболее важные результаты работы, определяющие ее **новизну и значимость**:

- Впервые построена траектория заряженной частицы в поле неоднородной электромагнитной волны, в том числе, обыкновенной и необыкновенной, в результате численного решения системы нелинейных уравнений с переменными коэффициентами.

- Установлена возможность управления спектром излучения электрона в поле неоднородной волны посредством изменения структуры волны и физических характеристик волны и частицы.
- Экспериментально установлено значение амплитуды электрического поля неоднородной обыкновенной электромагнитной волны, при котором мощность тормозного излучения электрона превышает мощность циклотронного.

Достоверность результатов подтверждается:

- Апробацией и обсуждением работы на конференциях и семинарах. Основные результаты работы опубликованы в журналах, входящих в международные наукометрические базы Scopus и Web of Science.
- Удовлетворительным совпадением результатов компьютерного моделирования с аналитическими расчетами.

К замечаниям по работе следует отнести:

- Разработанные в диссертационной работе математические методы анализа позволяют исследовать достаточно сложные случаи неоднородных волн. К сожалению автор ограничился рассмотрением более простого, хотя и важного случая, комбинации двух плоских волн.
- Остался недостаточно проясненным вопрос о том, насколько обусловлено формирование линейных электронных структур, описанных в главе 3, равными интервалами инжекции электронов.
- При расчете тормозного и циклотронного излучения электронов не учитывалось наличие окружающей плазмы. Представляется тем не менее, что при определенных частотах плазменных волн, близких к модулирующей частоте Ω результаты могут измениться.
- В тексте диссертации и автореферата встречаются неудачные выражения, стилистические неточности.

Эти замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Работа выполнена на высоком уровне и хорошо оформлена. Сформулированные в диссертации положения и выводы научно обоснованы и достоверны. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Содержание диссертации, выдвинутые в ней научные положения и сформулированные выводы дают основание считать, что цель исследования достигнута, а поставленные в диссертации задачи успешно решены. Диссертация является законченной научной работой, полностью

соответствующей требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, и ее автор, Скубачевский Антон Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 (Физика атмосферы и гидросферы).

Официальный оппонент:

канд. физ.-мат. наук,



Волокитин А.С.

Контактная информация:

Волокитин Александр Сергеевич,
кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт Земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН
108840, Россия, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, д. 4
Тел.: +7 (495) 851-09-13, e-mail: a.volokitin@mail.ru, avol@izmiran.ru

Подпись А. С. Волокитина заверяю:

Ученый секретарь

Института Земного магнетизма, ионосферы и
распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН
кандидат физико-математических наук



Я, Волокитин Александр Сергеевич, даю свое согласие на включение персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного Совета, и их дальнейшую обработку.

« 4 » апреля 2022 г.



А. С. Волокитин