

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета **Чижика Владимира Ивановича**
на диссертацию **Симакова Евгения Сергеевича** на тему «Излучение пучков заряженных частиц в присутствии проводящих гофрированных структур с малым периодом», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **1.3.4 – Радиофизика**

В диссертационной работе Е.С. Симакова проводится анализ излучения пучков заряженных частиц в присутствии периодических проводящих структур. При этом автор сосредоточился на диапазоне относительно низких частот, то есть таких частот, для которых значения длин волн значительно превосходят период структуры. В этом заключается принципиальное отличие данной работы от подавляющего большинства работ по излучению частиц на периодических структурах (как правило, изучается излучение с длинами волн порядка периода или меньше – так называемое излучение Смита-Парселла). Анализ излучения в относительно низкочастотном диапазоне интересен как для развития теории излучения частиц, так и для различных приложений. В последние годы работы в этом направлении привлекают все большее внимание, что свидетельствует об *актуальности* тематики работы.

В качестве *новых научных результатов*, полученных Е.С. Симаковым в рамках диссертационной работы, можно выделить следующие аспекты:

1) Глава 1 посвящена излучению при наличии плоской структуры с малой глубиной гофрирования («мелкая» гофра). Отметим, что во всех разделах работы Е.С. Симаковым используется моделирование поверхности с периодическими особенностями с помощью известных из литературы эквивалентных граничных условий, что стало возможным благодаря малости периода по сравнению с длинами волн. Автором анализируется как случай движения вдоль плоскости структуры, так и перпендикулярно к ней. В первом случае излучение представлено только поверхностными волнами, а во втором – как поверхностными волнами, так и объемным излучением. Проведено подробное аналитическое исследование обоих типов излучения, на основании которого получен ряд численных результатов. В частности, показано, что форма импульса поверхностной волны связана с видом распределения заряда в пучке. Данное обстоятельство позволяет рассчитывать на то, что такие периодические структуры могут использоваться для диагностики пучков частиц.

2) Во второй главе рассмотрены аналогичные задачи в случае «глубокой» гофры (глубина гофрирования сопоставима с рассматриваемыми длинами волн). Для такой ситуации эквивалентные граничные условия также известны, но они существенно отличаются от условий в случае мелкой гофры. Это влечет и значительные отличия в свойствах полей излучения. Отмечено, в частности, что при продольном движении сгустка зарядов поверхностные волны

излучаются в более широком диапазоне его скоростей (по сравнению со случаем «мелкой» гофры, когда излучение имеется только для ультрарелятивистских пучков). Для случая движения заряда сквозь структуру показано большое влияние параметров гофры на объемную часть излучения.

3) Третья глава посвящена излучению пучка частиц в периодическом волноводе с малым периодом (по отношению к рассматриваемым длинам волн) при условии глубокого гофрирования. Предполагается, что пучок частиц, имеющий пренебрежимо малый поперечный размер и конечный продольный размер, движется вдоль оси волновода. При анализе случая бесконечного волновода показано, что пучок возбуждает излучение в виде волнового кильватерного поля, которое существует в области позади пучка и состоит из бесконечного набора волноводных мод. Как оказалось, амплитуда основной моды сравнима с амплитудой моды в гладком волноводе с цилиндрическим диэлектрическим слоем. Как известно, волноводы с частичным диэлектрическим заполнением используются, например, в методе кильватерного ускорения заряженных частиц. На основании результатов главы 3 можно заключить, что мелкопериодические волноводы также могут применяться для кильватерного ускорения частиц. Последняя и наиболее сложная часть главы 3 посвящена дифракции волноводной моды на открытом конце волновода. Решение задачи строится методом Винера-Хопфа-Фока. Получаемая бесконечная система алгебраических уравнений решается численно методом редукции. В конечном итоге, в диссертации представлены и проанализированы характерные диаграммы направленности излучения из открытого конца волновода и отмечены их основные свойства. Полученные результаты показывают, что рассматриваемая структура может быть эффективным излучателем, причем диаграмма направленности излучения сильно зависит от параметров периодического волновода.

Несмотря на несомненную актуальность проведенного исследования и высокое качество представленной работы, считаю необходимым сделать *ряд замечаний*:

1) Во Введении (стр.6) отмечено, что для задачи с гофрированным волноводом в случае мелкой гофры в литературе имеется сравнение результатов, полученных аналитически с помощью метода эквивалентных граничных условий, с результатами численного моделирования. Было бы полезно привести примеры такого сравнения непосредственно в тексте диссертации. Интересно было бы провести такое сравнение для волновода с глубокой гофрой (гл. 3).

2) В целом, диссертация хорошо структурирована, написана чётко, хорошим языком, однако в ней имеются отдельные терминологические, стилистические и другие погрешности. Недостаточны пояснения к некоторым формулам (например, (1.1.3)-(1.1.5)) и рисункам (например, рис. 1.5, 1.13, 2.3, 2.7, 3.3, ...). В списке литературы приведено ошибочное название работы [23], совпадающее с названием работы [22]. Правильное название работы [23] иное: «Radiation from a charged particle bunch in a circular waveguide having areas with corrugated and smooth walls».

Указанные недостатки не затрагивают основных выводов и результатов диссертации, не снижают их ценности и не ставят под сомнение их значимость, то есть замечания не изменяют положительную оценку исследования. *Научная новизна и значимость* исследования не вызывает сомнений и обусловлены как

актуальностью изучаемой проблемы и выбором метода исследования, так и объёмом и качеством полученных результатов. *Достоверность* полученных результатов обусловлена тем, что в работе последовательно и аккуратно используются хорошо обоснованные методы электродинамики и математической физики, а также совпадением результатов работы с результатами, известными из литературы в ряде частных случаев. Результаты работы имеют существенное *значение для теории излучения заряженных частиц и возможных приложений в экспериментальной физике*. Например, показано, что рассмотренные в работе волноводы могут применяться для генерации волновых кильватерных полей в волноведущих структурах, что представляет интерес для развития метода кильватерного ускорения заряженных частиц.

Основные *результаты диссертации хорошо отражены в публикациях* в авторитетных журналах, которые включены в базы данных WoS, Scopus и РИНЦ. Автор работы многократно докладывал их на различных, в том числе международных, конференциях.

Заключение. Диссертация Симакова Евгения Сергеевича «Излучение пучков заряженных частиц в присутствии проводящих гофрированных структур с малым периодом» соответствует паспорту научной специальности 1.3.4 – Радиофизика и является законченной научно-квалификационной работой, которая по уровню выполнения, объёму, актуальности, новизне, значимости и достоверности полученных результатов соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Симаков Евгений Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.4 – Радиофизика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета,
профессор кафедры
ядерно-физических методов исследования СПбГУ

В. И. Чижик

Дата: 26 октября 2024 г.

Чижик Владимир Иванович
Доктор физ.-мат. наук по специальностям
1.3.4 – радиофизика и 1.3.8 – физика конденсированного состояния,
профессор по кафедре радиофизики,
профессор кафедры ядерно-физических методов исследования,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»
198504, Санкт-Петербург, Петергоф ул. Ульяновская, д.1,
Электронный адрес: v.chizhik@spbu.ru