

УТВЕРЖАЮ
Проректор по научной работе
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
Гайворонский Д.В.



Гайворонский
_____ 2018 г.

Отзыв ведущей организации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» на диссертацию Григорьевой Александры Андреевны «Трансформация мод и излучение зарядов в круглом волноводе с однородной и двухслойной областями», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - Радиофизика

Актуальность темы диссертации.

Диссертация посвящена задачам, относящимся, прежде всего, к теории излучения заряженных частиц в волноводах с частичным заполнением. Хотя можно найти значительное число работ по подобной тематике, однако такие задачи, когда одновременно учитываются как продольные, так и поперечные границы раздела в волноводе, а возбуждение структуры производится пучком частиц, в литературе практически не затрагивались. Более того, даже задача с заданной падающей модой в ситуации, рассмотренной в диссертации, не была достаточно проанализирована ранее. Между тем, такие задачи представляют интерес как для развития теории излучения заряженных частиц, так и для актуальных приложений. К их числу относится разработка новых методов генерации электромагнитного излучения и метода кильватерного ускорения заряженных частиц. Это свидетельствует об актуальности темы представленного исследования.

Анализ содержания работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

Во введении обосновывается актуальность проведенного исследования, представлен исторический обзор работ, близких к теме диссертации, сформулированы цели исследования, приведено краткое содержание диссертации, отмечены новизна, научная значимость и достоверность полученных результатов.

В первой главе анализируется трансформация поперечно-магнитной аксиально-симметричной моды на границе раздела между однородной областью и областью, состоящей из цилиндрического диэлектрического слоя и соосного канала (в основном рассматривается ситуация, когда однородная область и канал являются вакуумными). Отраженное и проходящее поля строятся в виде разложений по собственным модам соответствующей части волновода. Задача сведена к решению бесконечной системы линейных алгебраических уравнений на коэффициенты модовых разложений. Таким путем рассмотрены два случая: в одном из них задается мода, падающая из двухслойной области, а в другом - мода, падающая из однородной области. На основе аналитических результатов автор построил и реализовал алгоритм решения задач, а также получил приближенные результаты для случая тонкого слоя. Приведены характерные численные результаты и отмечены нетривиальные физические эффекты. Среди них можно особо отметить эффект возбуждения распространяющихся мод в том случае, когда в роли "падающей" моды выступает мода эванесцентного типа (так называемая "местная волна").

Безусловно интересным и по постановке задачи, и по результатам является раздел 1.4 "Об энергетических соотношениях в задачах о падении моды на поперечную границу". Проведенный в этом разделе анализ показывает, в частности, что, хотя отдельная местная мода и не переносит энергию, однако при наличии двух встречных местных мод (падающей и отраженной) с одним номером поток энергии имеет место. Поэтому, с энергетической точки зрения, эванесцентная падающая мода может порождать распространяющиеся моды в отраженном и проходящем полях.

Указанная задача представляет отдельный интерес, и, в определенном плане, может оказаться аналогична оптической задаче о прохождении излучения через апертуру с диаметром, меньшим длины волны излучения: при распространении излучения в неоднородном пространстве рэлеевский предел для разрешаемого расстояния, вообще говоря, не выполняется, и в принципе возможно прохождение излучения через апертуру малого диаметра (Г.Бете).

Во второй главе анализируется излучение заряда, который вылетает из двухслойной области в вакуумную. При этом предполагается, что в двухслойной области генерируется излучение Вавилова-Черенкова. Решение также строится с помощью разложения, отраженного и проходящего полей по собственным функциям поперечного оператора. Однако процесс рассмотрения оказывается гораздо более сложным из-за того, что падающее поле не является монохроматическим. В итоге решение представлено виде ряда, каждый член которого является интегралом Фурье от функции, которая определяется бесконечной системой линейных уравнений (в последней частота выступает в роли параметра). Из данного весьма громоздкого построения автору удалось извлечь физически наглядные выводы. Главным образом, анализируется основная часть поля излучения - так называемое черенковско-переходное излучение (ЧПИ), то есть часть выходящего в вакуум излучения, имеющая дискретный частотный спектр. Показано, в частности, что каждая мода ЧПИ занимает область, передняя граница которой движется с групповой скоростью этой моды. Отмечено, что для точечного заряда ЧПИ, вообще говоря, содержит большое количество существенных мод на многих частотах, однако в случае достаточно тонкого диэлектрического слоя возможна генерация монохроматического и одномодового ЧПИ.

В третьей главе рассматривается задача с обратным движением заряда: из вакуумной области в двухслойную. Способ решения задачи аналогичен представленному во второй главе, однако физические эффекты различны. Основное внимание автор уделяет части поля излучения в двухслойной области, которая названа "редуцированным кильватерным полем". Как правило, под кильватерным полем понимается черенковское излучение заряда в бесконечном регулярном волноводе (именно это излучение играет основную роль в методе кильватерного ускорения заряженных частиц). Автор показывает, что при наличии поперечной границы раздела каждая мода кильватерного поля в заданной точке обрывается в момент времени, определяемый групповой скоростью. Проводится анализ эволюции этого поля, который, как показано, может носить весьма сложный характер.

Новизна результатов диссертации.

В диссертации впервые исследована трансформация волноводной моды в круглом волноводе на границе между однородной и двухслойной областями с центральным каналом. Впервые проанализировано излучение заряда и тонкого гауссова пучка частиц, движущихся вдоль оси круглого волновода и вылетающих из диэлектрической области с вакуумным каналом в чисто вакуумную область. В частности, описано проникновение излучения Вавилова-Черенкова в вакуумную область волновода (черенковско-переходное излучение). Впервые исследовано излучение заряда и тонкого гауссова пучка частиц, влетающих в двухслойную область из вакуумной. В частности, проанализирована структура редуцированного кильватерного поля и процесс его изменения со временем.

Достоверность результатов диссертации.

Достоверность обеспечивается использованием адекватных методов, разработанных в математической физике и электродинамике, в частности, строгих методов теории волноводов. Предельные переходы к задачам без канала дают известные из литературы результаты. Важно отметить также, что автор провел сравнение результатов оригинальных алгоритмов с результатами численного моделирования, и во всех случаях получил очень высокую степень совпадения.

Научная и практическая значимость результатов диссертации.

Из сказанного выше видно, что в работе проведено аналитическое решение описанных задач, разработаны и протестированы численные алгоритмы, рассмотрены частные случаи и описаны наиболее интересные физические эффекты. Данное исследование представляет собой существенное достижение в области теории излучения заряженных частиц в волноводах. Его результаты важны также для приложений, среди которых можно назвать новые методы генерации электромагнитного излучения и метод кильватерного ускорения заряженных частиц.

Замечания к тексту диссертации.

На основании изложенного можно сказать, что диссертационная работа выполнена на актуальную тему, а материал работы изложен логично и аргументировано. Полученные в

диссертации результаты обладают значительной научной новизной и относятся к передовому уровню исследований в области фундаментальных задач излучения заряженных частиц в волноведущих структурах со сложным заполнением, новых методов ускорения заряженных частиц и генерации электромагнитного излучения, создания методик детектирования и диагностики пучков частиц. Диссертант достойно справился с поставленными задачами.

Тем не менее, тексты диссертации и автореферата не лишены некоторых недостатков.

Так, на стр. 11 текста диссертации и стр. 3 автореферата указано, что диэлектрические структуры из-за сложностей в их изготовлении имеют относительно небольшую длину (не более десятков сантиметров), так что задача взаимодействия поля пучка с поперечными границами становится весьма важной. Имело бы смысл пояснить, о каких именно структурах идет речь, и почему приведена конкретная цифра в десятки сантиметров. Видимо, поскольку речь идет о волноводах с заполнением, имело бы смысл указать отношение длины волновода к диаметру его сечения, и указать также характерные значения этой величины.

В разделе “Цель работы”, стр. 11 текста диссертации и стр. 3 автореферата, имеется утверждение, что “при этом излучение Вавилова-Черенкова (ИВЧ) присутствует только в двухслойной области волновода.” Вероятно, речь идет об области, где излучение генерируется, поскольку в работе решается комплекс задач о трансформации мод и выходе излучения, в том числе и в вакуумную область, таким образом излучение присутствует во всех областях, куда оно проникает.

Автор трактует термин “кильватерное поле” как волновую часть поля излучения заряда в бесконечном регулярном волноводе со слоем диэлектрика, иначе говоря, поле излучения Вавилова-Черенкова в такой структуре (стр. 6, 121 и другие). Хотелось бы уточнить, что под термином “кильватерное поле” в физике пучков заряженных частиц понимают электромагнитное излучение, генерируемое заряженным сгустком, проходящим через укоряющую структуру (в том числе цельно-металлическую, с диэлектрическим заполнением или любую иную) и оказывающее воздействие на последующие сгустки, проходящие следом через ту же самую структуру. Ключевым для данного определения является тот факт, что с этим полем взаимодействуют последующие частицы – отсюда и термин “кильватерное поле”.

Аналогично, на стр. 15, 16 и далее в тексте диссертации, и в разделе “Научная новизна” автореферата несколько раз используется термин “Редуцированное кильватерное поле”, который недостаточно четко разъяснен и может быть не понятен читателю. Определение дано лишь на стр. 121 диссертации, раздел 3.2.2. Очевидно, термин “редуцированное поле” относится к огибающей волнового пакета, определяемой групповой скоростью моды, что уже имеет общепринятую терминологию.

Также, на стр. 4 автореферата, используется понятие “существенные моды”, определение тоже отсутствует. Видимо, речь идет о модах, которые вносят значимый вклад в структуру электромагнитного поля, анализируемого в настоящей работе, но об этом нужно догадываться.

В разделе “Научная новизна” автореферата и стр. 16 текста диссертации указано, что “Впервые аналитически и численно исследовано излучение заряда и тонкого гауссова пучка частиц”. Видимо, в указанном предложении пропущено “точечного заряда”.

Указанные выше неточности никак не влияют на качество представленной работы и носят в основном терминологический или уточняющий характер.

Сделанные замечания не снижают общий высокий уровень данной работы. Диссертация является законченным научным исследованием. Полученные диссертантом результаты имеют значительную научную ценность. Автореферат правильно и полно отражает содержание работы. Основные результаты диссертации были опубликованы в ведущих научных журналах и представлены на ряде международных конференций, а содержание диссертации соответствует номеру специальности, по которому она представляется (01.04.03 – «Радиофизика»).

На основании всего сказанного можно заключить, что диссертация полностью соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Григорьева Александра Андреевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Доклад по диссертационной работе Григорьевой А.А. заслушан на научном семинаре кафедры физики Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Отзыв на диссертацию рассмотрен и утвержден на заседании кафедры от 29.05.2018, протокол № 3.

Зав. кафедрой физики
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», д.т.н.

Чирцов А.С.

Зам. зав. кафедрой физики по научной работе
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», к.ф.-м. н.

Богачев Ю.В.

Зам. директора ИФИО по научной работе
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», к.ф.-м. н.

Альтмарк А.М.