

ОТЗЫВ

официального оппонента

Аржанникова Андрея Васильевича

о диссертационной работе

Железнова Ильи Владимировича «Квазиоптические модели стимулированного черенковского излучения релятивистских электронных пучков и сгустков в сверхразмерных электродинамических системах» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

Актуальность темы диссертации

В диссертационной работе И.В. Железнова представлены результаты теоретических исследований работы усилителей и генераторов черенковского типа, которые проведены им в рамках новых моделей для описания. В настоящее время эти приборы служат одними из наиболее мощных источников электромагнитного излучения сантиметрового диапазона длин волн и имеют несомненную перспективу для перехода по генерации излучения в миллиметровый и субмиллиметровый диапазоны. При этом, для достижения высокого уровня мощности при переходе к такой малой длине волны необходимо использовать пространственно-развитые электродинамические системы, для которых оказываются не применимы традиционные модели релятивистских ЛБВ и ЛОВ, построенные в предположении о фиксированной поперечной структуре электромагнитного поля. Исходя из этих обстоятельств, автор сосредоточился на развитии квазиоптических методов описания электронно-волнового взаимодействия, которые оправданно использовать, когда пространственные масштабы электродинамической системы значительно больше длины волны излучения. В работе показано, что развиваемый автором квазиоптический подход эффективно применим для описания различных усилителей и генераторов поверхностных волн, которые в литературе также принято называть многоволновыми черенковскими генераторами (МВЧГ). Кроме того, на основе квазиоптического подхода может быть проведен анализ процесса сверхизлучения протяженных электронных сгустков в режиме возбуждения поверхностных волн. Автор воспользовался этой возможностью, и результаты этих исследований легли в основу экспериментов по генерации коротких импульсов с рекордным для миллиметрового диапазона уровнем мощности. Таким образом, актуальность исследований, проводимых в рамках темы данной диссертационной работы, не вызывает никаких сомнений.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

Во введении обоснована актуальность выбранной автором темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость, дана информация об апробации работы, личном вкладе автора, структуре и объёме текста. Общий объем диссертации составляет 159 страниц, включая 54 рисунка. Список литературы содержит 110 наименований.

В первой главе проведено теоретическое исследование моделей черенковских усилителей поверхностных волн. К ним относятся усилители поверхностных волн над периодически гофрированными металлическими поверхностями, усилители, основанные на эффекте резистивной неустойчивости, и усилители волн на поверхности плазмы. Анализ всех перечисленных моделей осуществляется в рамках универсального импедансного приближения и включает в себя исследование как линейной, так и нелинейной стадий взаимодействия электронного пучка с волной. Важным аспектом проведенного анализа является учет влияния собственного поля модулированного электронного пучка на процесс электронно-волнового взаимодействия.

Вторая глава посвящена преимущественно исследованию многоволновых черенковских генераторов, в которых в качестве пространства взаимодействия выступают сверхразмерные цилиндрические волноводы с азимутально-симметричной гофрировкой. На основе оригинальной теоретической модели возбуждения релятивистским электронным пучком симметричных ТМ-поляризованных мод, проведено моделирование многоволновых черенковских генераторов в нескольких диапазонах длин волн. С одной стороны, продемонстрировано, что развитая теоретическая модель хорошо согласуется с известными результатами, полученными в экспериментах с МВЧГ, которые реализованы в сантиметровом диапазоне длин волн, а с другой стороны, показана возможность продвижения этого типа генераторов в коротковолновую часть миллиметрового диапазона и далее в субмиллиметровый диапазон. Нельзя не отметить, что украшением этой части работы является демонстрация предельного перехода от квазиоптической модели к канонической модели релятивистской ЛОВ на основе одномодового волновода. В дополнении к этому, весьма нетривиальной представляется теоретическая картина, в которой по мере уменьшения энергии электронов переносящая энергию попутная с пучком волна трансформируется в пространственную гармонику встречной волны, и таким образом реализуется переход в режим ЛОВ. При этом поток мощности, связанный с попутной волной, уже оказывается пренебрежимо мал.

В третьей главе на основе квазиоптического подхода проведен анализ эффектов процесса сверхизлучения, при котором генерация коротких импульсов излучения в сверхразмерных цилиндрических волноводах с азимутально-симметричной гофрировкой поверхности осуществляется весьма протяженными электронными сгустками по сравнению с длиной волны. Результаты этого теоретического исследования использованы при разработке в Институте электрофизики УрО РАН генератора импульсов сверхизлучения субнаносекундной длительности с уровнем мощности до 70 МВт в коротковолновой части миллиметрового диапазона.

В заключении автор суммирует основные результаты проведенных исследований и формулирует основные положения работы, выносимые на защиту.

По тексту работы можно сделать ряд замечаний:

1) Весь теоретический анализ проведен в предположении полной замагниченности электронного пучка. В то же время хорошо известно, что конечность величины ведущего магнитного поля влияет не только на динамику движения электронов, но и на процессы конкуренции мод с различным азимутальным индексом. В частности, в работе «Экспериментальная реализация метода циклотронно-резонансной селекции мод в релятивистских электронных высокочастотных генераторах черенковского типа» (ПЖТФ, т.9, вып.9, 1983г.) предложено использовать циклотронное поглощение для подавления генерации паразитных мод.

2) В тексте работы рассматривается только случай идеальной синусоидальной гофрировки. Вместе с тем в экспериментальных исследованиях широко используется профилирование. Например, в известном эксперименте с МВЧГ рекордного мультигигаваттного уровня мощности (п.5.3.1 в кн. «Релятивистские многоволновые СВЧ-генераторы», Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991г.) гофрировка состояла из двух секций, разделенных участком регулярного цилиндрического волновода. Очевидно, что на основе развитой в работе квазиоптической модели существует возможность проанализировать подобную конфигурацию, что, к сожалению, не было сделано.

3) Анализ черенковских генераторов, проведенный во второй главе работы, ограничивается рассмотрением возбуждения только симметричных ТМ-поляризованных мод. Однако известно, что в случае пространственно-развитых электродинамических систем несимметричные (гибридные) типы волн могут вносить существенный вклад в структуру возбуждаемого поля. На мой взгляд, следовало бы более полно указать условия, при которых можно пренебречь возбуждением несимметричных мод.

Приведенные замечания не являются принципиальными и не влияют на общую высокую оценку работы. Автор диссертации может рассматривать их как ориентир при дальнейшем развитии тех исследований, которые им проведены к настоящему времени.

Необходимо отметить, что в тексте реферата имеется одно небольшое упущение: ни в подписи к рисунку 7, ни в прилегающем к нему тексте нет информации о том, какой параметр задачи обозначен буквой d . Безусловно, по контексту можно догадаться, что этот параметр есть период пространственной гофрировки цилиндрического волновода. К тому же, в тексте диссертации можно найти, что d – это «период гофра».

В целом диссертационная работа Железнова И.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, отвечающую паспорту специальности 01.04.03 – «радиофизика». Результаты работы сформулированы достаточно четко. Достоверность результатов аналитического рассмотрения во многих случаях подтверждена сопоставлением их с результатами моделирования с использованием коммерческого РС-кода «CST Studio Suite». Кроме того, адекватность используемых автором моделей продемонстрирована при предельном переходе в те области параметров, где применимы ранее известные модели релятивистских черенковских генераторов. Результаты не только представляют научный интерес, но и могут быть использованы при разработке мощных черенковских источников субмиллиметрового когерентного излучения. Продуктивность развиваемого теоретического подхода уже доказана положительными результатами экспериментов с генератором импульсов сверхизлучения, которые проведены в Институте электрофизики УрО РАН.

Материалы диссертации опубликованы в 13 статьях ведущих научных журналов, включенных в международные и российские базы цитирования (Web of Science, Scopus, РИНЦ), а также неоднократно докладывались на представительных международных и российских конференциях.

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Заключение о соответствии диссертации требованиям ВАК

Считаю, что диссертация в полной мере удовлетворяет всем требованиям пп. 9-11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, утвержденного постановлением правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013г. Автор

работы Железнов Илья Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

Официальный оппонент:

Аржанников Андрей Васильевич

д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник

ФГБУН «ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН»

630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 11

e-mail: arzhan1@ngs.ru

30.11.2018 г.
Аржанников

Подпись Аржанникова А.В. заверяю:

и. о. ученого секретаря ФГБУН «ИЯФ СО РАН»

кандидат физико-математических наук



Аракчеев
Аракчеев А.С.