

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Арсентьевой Марии Васильевны

«РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ РЕЗОНАТОРОВ W-ДИАПАЗОНА»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

Актуальность темы исследования

На сегодняшний день ускорители заряженных частиц являются одним из наиболее мощных инструментов как для исследований в области фундаментальных наук, так и для нужд прикладного характера. Потребность в ускорительных установках растет с каждым днем и на первый план выходит их компактность и экономичность. Градиент ускорения является одним из важнейших параметров при проектировании ускорителей заряженных частиц. В ряду экспериментов было показано, что большие значения рабочей частоты допускают большие значения электрических полей, а значит, большие значения ускоряющих градиентов и, как следствие, меньшие габариты ускорителя. Особо можно выделить результаты отдельных экспериментов по получению повышенных градиентов в структурах с рабочей частотой порядка 100 ГГц (W-диапазон): работа без высокочастотных пробоев возможна при электрическом поле более 0,3 ГВ/м, что в десять раз превосходит градиент ускорения в действующих линейных резонансных ускорителях на частоту 3 ГГц (S-диапазон). Пока что степень проработанности подобных структур с повышенной частотой не позволяет строить на их основе стабильно работающие ускорительные установки. Однако при устойчивой работе подобных структур будет возможно их использование как в прикладных целях в компактных установках (так называемых “table-top device”), так и для проектирования линейных ускорителей для фундаментальных исследований (в рамках проектов по типу International linear collider) с получением энергии пучков в десятки ГэВ. При этом будет возможно значительное сокращение габаритов установок. Таким образом, тема диссертации представляет особую важность в контексте развития ускорительной техники в целом.

Структура и содержание работы

Работа является законченным научным трудом и состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Полный объем диссертации составляет 100 страниц.

Введение содержит обзор текущей ситуации в области ускоряющих структур с высокими значениями рабочей частоты. Автор также дает описание опыта ИЯФ СО РАН в работе с ускоряющими структурами для линейных ускорителей.

Первая глава диссертации посвящена исследованию возбуждения резонаторов структуры пучками заряженных частиц. Выводятся аналитические оценки возбуждаемого электрического поля как в зависимости от параметров самих резонаторов, так и от параметров возбуждающего сгустка заряженных частиц. Далее автором рассмотрен случай возбуждения резонаторов последовательностью сгустков и вводится понятие так называемого коэффициента возбуждения, величина которого определяет эффективность возбуждения последующими сгустками по сравнению с первым. С учетом проведенного анализа возбуждения обосновывается выбор параметров структуры резонаторов W-диапазона, а также выдвигаются требования к параметрам возбуждающего пучка.

Во **второй главе** приводится описание линейного резонансного ускорителя электронов, на котором планируется проведение эксперимента по возбуждению структуры. Предполагается для этой цели использовать стенд инжектора ускорительного комплекса СКИФ, находящийся на стадии сборки в ИЯФ СО РАН. В главе приводится описание схемы стенда как инжектора СКИФ, так и диагностического канала для тестирования структуры W-диапазона. Проведено моделирование динамики электронного пучка на полной длине ускорительного тракта. Показана схема эксперимента с тестированием структуры W-диапазона, на основе уравнений огибающей пучка выводятся требования к системе его фокусировки, которая крайне необходима для успешного прохождения пучка через малую внутреннюю апертуру структуры. Дана оценка ожидаемым результатам эксперимента.

Третья глава диссертационной работы посвящена изготовлению структуры резонаторов W-диапазона. Описание нескольких типов ячеек и конструкции полной структуры сопровождается фрагментами чертежей. Приводятся измерения геометрических параметров отдельных ячеек, показан их внешний вид и собранная из них паяная структура. На основе вышеупомянутых измерений автором дается оценка эффективности взаимодействия электронного пучка линейного ускорителя СКИФ со структурой в планирующемся эксперименте.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна диссертационной работы

Стоит отметить, что разработки подобных структур уже некоторое время ведутся в мировых ускорительных лабораториях, причем был проведен ряд экспериментов с демонстрацией возможности получения повышенных значений электрического поля (порядка 0,3 ГВ/м). Однако опыт работы со структурами W-диапазона является новым для российских ускорительных лабораторий.

Новизна представленной работы заключается в нескольких аспектах:

- Рассмотрено влияние характеристик резонаторов и параметров возбуждающего сгустка заряженных частиц на возбуждение структуры в целом.
- Изучено возбуждение структуры последовательностью сгустков заряженных частиц. Показано, в каком случае возможно возбуждение больших полей в резонаторах при прохождении через них последовательности сгустков.
- Предложена концепция структуры на основе резонаторов со слабой связью. Ячейки резонаторов изготавливаются по отдельности, что дает возможность измерения их индивидуальных размеров для контроля качества производства.
- Впервые изготовлена структура из независимых резонаторов W-диапазона, причем изготовленная структура обладает необходимыми характеристиками для ее дальнейшего тестирования.

Научная и практическая значимость полученных результатов

Необходимо подчеркнуть, что изготовление подобных структур сопряжено с рядом сложностей, обусловленных малыми размерами. Из текста диссертации следует, что автор учитывает возможное влияние ошибок изготовления на параметры отдельных резонаторов и структуры в целом, а также на ее взаимодействие с пучком заряженных частиц в реальном эксперименте.

Предложенный дизайн обладает рядом интересных решений, в частности, позволяет избежать повторного нагрева паяной структуры в процессе ее изготовления. Данный факт благоприятным образом сказывается на электродинамических и механических характеристиках структуры. Безусловно, результаты проведенных теоретических исследований и конструкторских разработок могут быть использованы для дальнейшего развития структур с повышенным градиентом ускорения.

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов исследования

Выбор параметров структуры W-диапазона в достаточной мере обоснован как с точки зрения ее производства, так и с точки зрения результативности планируемых экспериментов по возбуждению пучком заряженных частиц.

Аналитические оценки возбужденных полей в резонаторах структуры близки к результатам моделирования взаимодействия структуры с пучком заряженных частиц в программном пакете CST Particle Studio. Небольшое отличие объясняется вкладом высших мод: в разделе с аналитическим исследованием возбуждения вклад высших мод упоминается, но не дается его оценка.

Соответствие паспорту научной специальности

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника в области исследования «Расчетно-теоретические аспекты формирования и транспортировки пучков заряженных частиц, создания ускорителей, накопителей, коллайдеров, систем охлаждения пучков тяжелых заряженных частиц» (п. 2 паспорта специальности).

Апробация работы

Результаты работы, изложенные в тексте диссертации, докладывались на многочисленных российских и международных конференциях, а также были опубликованы в 9 научных трудах, 6 из которых входят в перечень ВАК.

Замечания по диссертационной работе

Рисунки в главе 2 с изображениями фазовых портретов ускоренного пучка (2.15, 2.16,) представлены в недостаточно хорошем качестве, что затрудняет их восприятие. Хотя эти рисунки являются скриншотами интерфейса программы для моделирования динамики пучка, следовало бы провести обработку получаемых результатов в стороннем приложении с получением изображений в более высоком качестве.

Рисунки 2.19 в,д и 2.20 в,д хорошо бы дополнить кратким комментарием, объясняющим изменение среднеквадратичного поперечного размера и энергетического разброса вдоль ускоряющей секции.

В разделе 3.1 при описании измерения геометрических параметров отдельных резонаторов на с. 74 вводится величина погрешности измерения Δ , определяемая параметрами используемого оборудования. Однако в этом же разделе на с. 75 несоосность центральной апертуры ячеек относительно их внешнего диаметра обозначается этим же символом, Δ , что вносит некоторую путаницу при чтении текста.

В тексте диссертации приводится схема планируемого эксперимента, причем предлагается определение величины возбужденного поля на основе измеряемых параметров электронного пучка до взаимодействия со структурой и после нее. Однако кажется более надежным определять величину наведенного поля в резонаторах структуры безотносительно измерений возбуждающего пучка.

В работе имеется ряд незначительных ошибок оформления, в частности:

- На рисунке 1.5 и в подписи к нему продублированы значения декрементов для разных кривых, что является избыточным.
- На рисунке 1.8 при обозначении геометрических размеров в качестве десятичного разделителя используется точка, а не запятая, что является общепринятым для русскоязычных источников.
- Выбор цвета точек на рисунке 1.9 является неудачным, вследствие чего наборы точек для различных коэффициентов потерь практически сливаются.
- В некоторых источниках из списка литературы [4, 7, 8] пропущены пробелы в области вывода авторов публикации; в источнике [50] из списка литературы ошибочно продублирован автор.

Отмеченные недостатки имеют рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

Автореферат содержит основные идеи, положения и выводы диссертационной работы и в достаточной мере дает представление о диссертации в целом. В качестве небольшого замечания можно отметить излишне сжатое описание содержания главы 2.

Заключение

Диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную и перспективную тему, выполненную автором на высоком научном уровне. Представленные в работе результаты исследований достоверны, выводы, заключения и рекомендации аргументированы и обоснованы. Результаты работы опубликованы и апробированы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа Арсентьевой М.В. «Разработка структуры резонаторов W-диапазона» полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Я, Кулевой Тимур Вячеславович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Арсентьевой Марии Васильевны, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Заместитель директора по научной работе по ускорительному направлению
НИЦ «Курчатовский институт»,
доктор технических наук (01.04.04 – Физическая электроника)



Кулевой Тимур Вячеславович
07.11.2022

Адрес: 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
Тел.: +7 (499) 196-95-39
Эл. почта: Kulevoy@itep.ru

Подпись Кулевого Т.В. удостоверяю
Главный ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт»



К.А. Сергунова