

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата физико-математических наук Фомина Евгения Александровича
на диссертационную работу Гетманова Ярослава Владимировича

**«Физические процессы в многопроходном ускорителе-рекуператоре для
сверхяркого источника СИ четвертого поколения»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника
в диссертационный совет Д 003.016.03

на базе ФГБУН Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

Актуальность работы

За последние 50 лет проведенные эксперименты с использованием синхротронного излучения внесли огромный вклад в развитие современной науки. С момента своего появления источники синхротронного излучения открывали новые возможности в проведении экспериментов. Сегодня потребности в синхротронном излучении для проведения научных экспериментов продолжают увеличиваться. Кроме того, синхротронное излучение все чаще находит применение и в промышленных целях. Поэтому создание новых источников синхротронного излучения является важной и актуальной задачей для всего мирового научного сообщества.

Одной из проблем получения высокоомощного синхротронного излучения является сложность достижения высокого среднего тока электронов в ускорителях. Диссертационная работа Я.В. Гетманова посвящена исследованию физических процессов, ограничивающих достижение высоких средних токов в многооборотных ускорителях-рекуператорах, используемых в качестве источников синхротронного излучения. Исследования, проведенные автором в своей работе, направлены на определение оптимальных схем компоновки ускорителей-рекуператоров, поиск критериев устойчивости и оптимальных параметров электронно-оптической системы ускорителей-рекуператоров с целью увеличения предельных пороговых токов неустойчивостей электронного пучка.

Научная новизна

Использование ускорителей-рекуператоров для генерации синхротронного излучения призвано объединить достоинства линейных и циклических ускорителей. Тем не менее, при разработке новых сверхярких источников синхротронного излучения одну из главных ролей начинают играть эффекты, связанные с взаимодействием электронного пучка с электромагнитными полями ВЧ ускоряющих структур и со своим окружением, с внутрисгустковым взаимодействием в электронном сгустке и др. Все эти эффекты приводят

к увеличению фазовых размеров, к развитию неустойчивостей электронного пучка и тем самым препятствуют достижению высоких средних и пиковых токов. Автором в своей работе предложен метод увеличения значений порогового тока поперечной неустойчивости электронного пучка и выведены условия устойчивости продольного движения электронного пучка при взаимодействии его с фундаментальной ускоряющей модой ВЧ резонаторов многооборотного ускорителя-рекуператора.

Практическая значимость результатов

Благодаря полученным результатам в ускорителях-рекуператорах возможно оценить предельно достижимый ток электронного пучка, который ограничивается возникающими неустойчивостями за счет взаимодействия электронного пучка с электромагнитными колебаниями основной и дипольной мод ВЧ резонаторов. Разработанные методы позволяют оптимизировать электронно-оптические и ВЧ ускоряющие структуры с целью увеличения пороговых токов неустойчивостей. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке новых источников синхротронного излучения на базе ускорителей-рекуператоров.

Общая характеристика и содержание работы

Диссертация Гетманова Я.В. состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации 106 страниц.

Во введении обоснована актуальность работы, описаны цели и задачи, ее научная новизна и положения, выносимые на защиту.

В первой главе кратко рассматривается история развития источников синхротронного излучения и приводятся основные требования, предъявляемые к источникам синхротронного излучения 4-го поколения. Кратко рассматриваются вопросы применимости различных типов ускорителей заряженных частиц для достижения необходимых параметров синхротронного излучения и, в частности, приведены принципы работы ускорителя-рекуператора, его достоинства и недостатки для использования в качестве источника синхротронного излучения. Рассматривается возможность применения ускорителей-рекуператоров как источников синхротронного излучения для рентгеновской литографии в полупроводниковой промышленности. В конце главы описаны проблемы, возникающие при попытке получить высокий средний ток в ускорителе-рекуператоре.

Во второй главе рассматривается схема многооборотного ускорителя-рекуператора с разделенной ускоряющей структурой как возможного источника синхротронного излучения 4-го поколения. Определены параметры ВЧ резонаторов необходимые для

достижения максимального среднего тока в ускорителе, приведены способы подавления неустойчивостей. Проведена оптимизация электронно-оптической системы ускорителя-рекуператора с целью увеличения порогового тока развития неустойчивости проекта MARS и проекта компактного ускорителя-рекуператора для промышленного применения.

Третья глава посвящена исследованию взаимодействия электронного пучка с основной модой электромагнитных колебаний в ВЧ резонаторах ускоряющей структуры. Были определены критерии устойчивости продольного движения электронного пучка. Проведено численное моделирование неустойчивостей с помощью следовых функций и показано совпадение с полученными в работе теоретическими результатами. Для проектов MARS и компактного ускорителя-рекуператора для промышленного применения были определены области фаз ускорения и параметры ВЧ резонаторов для достижения высоких значений порогового тока электронного пучка.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы.

Достоверность основных результатов и выводов

Основные результаты работы опубликованы в печатных работах, в том числе в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК РФ, и докладывались на российских и международных конференциях. Кроме того, оформлен один патент. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Личный вклад автора в получении результатов диссертационной работы является определяющим.

Из **замечаний** стоит отметить следующее:

- Небрежный стиль оформления диссертации. Надписи на многих рисунках невозможно рассмотреть. Плохо организована структура и содержание разделов, например, имеется раздел (2.1.3), состоящий из всего одного предложения. Встречаются одинаковые рисунки в разных частях диссертации, например, рисунки 55а и 62. Использование сленга и наличие грамматических ошибок часто приводят к тому, что о смысле предложения можно только догадываться. Иногда теряется логическая связность изложения.

- Текст диссертации переполнен большим количеством формул.

- Имеется ряд опечаток в формулах, например, в формулах (2.26), (2.44).

- Проведен недостаточно подробный анализ основных результатов как в части полученных формул, так и в части результатов моделирования.

- Недостаточно полно отражены вопросы, связанные с определением модели для описания неустойчивостей.

- Для получения результатов, наиболее приближенным к реальности, численное моделирование и оптимизацию необходимо проводить, используя не приближенные модели, а с учетом нелинейностей полей в ВЧ и магнитной системах, с учетом численного моделирования реальных распределений следовых полей, пространственного заряда и др. Поэтому сравнивать полученные аналитические результаты целесообразнее с результатами экспериментов или с результатами детального численного моделирования.

Тем не менее, отмеченные недостатки не снижают научной и практической ценности работы. Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом по физике и технике ускорителей. Работа содержит оригинальные результаты и представляет интерес для специалистов в области физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники.

Считаю, что диссертационная работа Гетманова Ярослава Владимировича удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук в части, касающейся диссертаций на соискание степени кандидата наук, а ее автор, Гетманов Ярослав Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Официальный оппонент
Фомин Евгений Александрович
02 декабря 2016

/Е.А. Фомин/

Кандидат физико-математических наук,
Заместитель начальника лаборатории физики ускорителей,
Ресурсный центр синхротронных исследований
на базе специализированного синхротронного источника,
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
пл. Академика Курчатова 1, г. Москва, 123182 Россия
тел. +7-915-139-49-23
email: yafomin@gmail.com

Подпись Е.А. Фомина заверяю
Главный ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт»



/С.Ю. Стремоухов/