

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Ярослава Владимировича Гетманова
«Физические процессы в многопроходном ускорителе-рекуператоре для
сверхъяркого источника СИ четвёртого поколения», представленную на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная
техника.

Высокочастотные ускорители-рекуператоры (УР) — это относительно новый тип ускорителей. После ускорения в их высокочастотных резонаторах электроны используются (например, в лазере на свободных электронах), а затем тормозятся в тех же резонаторах, возвращая унесённую из них энергию. Сейчас в мире работает всего четыре УР и разрабатываются проекты нескольких новых установок. Большая часть этих проектов направлена на создание источников рентгеновского излучения высокой яркости и мощных лазеров на свободных электронах. Кроме генерации мощного электромагнитного излучения, УР могут применяться для ядернофизических экспериментов с внутренней мишенью и, возможно, в установках с встречными пучками. Для проектирования новых УР и оценки их возможностей необходимо понимание физических процессов, влияющих на параметры электронного пучка. С этим и связана **актуальность** темы диссертации. Задача усложняется тем, что для получения достаточно высокого темпа ускорения в большинстве работающих УР и в проектах используются сверхпроводящие ускоряющие резонаторы. Высокая добротность основных и высших мод колебаний этих резонаторов может привести к неустойчивостям движения электронов даже при небольших средних токах пучка.

Все УР, кроме Новосибирского, построены по однопроходной схеме, в которой конечная энергия частиц достигается после их однократного прохождения через ускоряющие резонаторы. Многопроходная схема с относительно короткой ускоряющей структурой имеет многочисленные преимущества (не только в стоимости), но магнитная система и динамика электронов при многократных ускорении и торможении в ускоряющей структуре получаются значительно сложнее. **Научная новизна**

диссертационной работы Я. В. Гетманова состоит в том, что впервые исследованы физические процессы, ограничивающие ток пучка в многопроходном УР.

Все основные результаты и выводы, представленные в диссертации, обоснованы, достоверны и опубликованы. Достоверность результатов подтверждается, в частности, хорошим согласием условий устойчивости электронного пучка, полученных моделированием, с аналитическими оценками.

Практическая ценность результатов работы Я. В. Гетманова несомненна. Они были использованы при проектировании в ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН многопроходных УР для сверхъяркого источника жёсткого рентгеновского излучения и для рентгеновского лазера на свободных электронах.

Работа состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы из 106 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность работы, дана ее общая характеристика, сформулированы цели и дано краткое содержание разделов.

В **первой главе**, носящей вводный характер, рассмотрена проблема создания источника рентгеновского излучения со сверхвысокой спектральной яркостью. Возможным решением является использование УР с энергией электронов около 6 ГэВ.

Во **второй главе** обсуждается выбор схем УР. Рассмотрены проекты УР, разработанные в ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН при участии Я. В. Гетманова. Отмечены преимущества использованной в этих проектах схемы с двумя основными ускоряющими структурами и одной ускоряющей структурой для предварительного ускорения. Для выбранных вариантов сделаны оценки пороговых токов неустойчивостей поперечного движения электронов, вызванных возбуждением несимметричных мод ускоряющих резонаторов. Показано, что при использовании оптимальной фокусировки поперечные неустойчивости не препятствуют достижению необходимого среднего тока пучка.

В **третьей главе** исследована устойчивость продольного движения в УР. Построена оригинальная теоретическая модель для анализа продольной устойчивости в многопроходном УР с двумя ускоряющими структурами. С использованием модели коротких сгустков проведено математическое

моделирование продольного движения в УР. Результаты находятся в разумном согласии с аналитическими оценками. Для разработанных в ИЯФ им. Г. И. Булдера СО РАН проектов УР доказана возможность достижения проектных средних токов пучка.

В **заключении** перечислены основные результаты работы.

Основные результаты работы опубликованы в 24 печатных работах, из них 4 - в реферируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, и докладывались на Российских и международных конференциях.

В качестве **недостатков** можно отметить:

- 1) Некоторую небрежность автора при записи формул, например, в формулах (2.39)-(2.42) частота ω встречается как с индексом m , так и без него, в формуле (2.44) m является индексом суммирования, но при этом используется и за знаком суммы, а внутри суммы неожиданно появляется индекс k , суммирование по которому не производится, и т.д.
- 2) Несколько вольное обращение автора с пунктуацией, например, в предложении перед (2.75), в конце большинства формул знаки препинания отсутствуют, а пояснения после формул начинаются с «где» то с заглавной, то со строчной буквы, вне зависимости от наличия знаков препинания в конце формулы. Кроме того, подписи к рисункам имеют вид «Рисунок № текст», где между номером и текстом знак препинания отсутствует, а текст начинается иногда с заглавной, а иногда со строчной буквы.
- 3) Некоторую небрежность в оформлении иллюстраций, например, цвета на рис. 36 подобраны так, что он почти неразличим, шрифт надписей на многих рисунках практически не читаем в печатной версии (хотя в электронной версии рисунки сохранены с достаточным для нужного увеличения качеством, и поэтому надписи при наличии электронной версии все же можно прочитать). Подписи к некоторым рисункам вообще не являются названиями (например, рис.65), а рис.64, скорее, не облегчает, а затрудняет понимание текста.

Указанные недостатки, конечно, относятся не к сути, а к оформлению и не снижают общую ценность диссертационной работы Я. В. Гетманова, которая представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация, несомненно, удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Я. В. Гетманов заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 - физика ионов заряженных частиц и ускорительная техника.

Официальный оппонент
профессор кафедры прикладной математики
Новосибирского государственного
технического университета
доктор технических наук, профессор

М. Е. Рояк

Подпись Рояка д.э.
закончено

