

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Полозова Сергея Марковича «Нелинейная динамика пучков ионов и электронов в линейных ускорителях», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.20 — физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника в диссертационный совет Д 201.004.01 при НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ

Диссертация Полозова Сергея Марковича посвящена разработке новых аналитических и математических методов и программ для численного моделирования динамики пучка в линейных ускорителях. В частности, метод усреднения уравнения движения по быстрым осцилляциям обобщен на случай ускорителей, в которых отсутствует синхронная с пучком пространственная гармоника высокочастотного поля, и ускорителей, построенных по модульному принципу. Пакет программ для численного моделирования динамики пучка BEAMDULAC включает программы, позволяющие разрабатывать все основные типы ускорителей ионов и электронов (ускорители с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой, ускорители с трубками дрейфа, ускорители, построенные по модульному принципу, ускорители электронов на стоячей и бегущей волне и т.д.), а также исследовать динамику электронов в кристаллах и лазерно-плазменных каналах. С использованием разработанных методов и программ создано несколько ускорителей заряженных частиц.

Разработка новых численных методов, алгоритмов и пакетов программ для исследования динамики пучков в ускорителях по-прежнему остается актуальной задачей, так как новые научные установки, в том числе создаваемые в России комплексы класса мегасайенс, требуют для проведения эксперимента все более высоких параметров пучка. Возрастает фазовая плотность пучков, так как для эксперимента требуется получать интенсивные

пучки электронов и ионов с все меньшим поперечным эмиттансом и энергетическим спектром. Совершенствование методов изучения динамики пучков актуально и для создания ускорителей прикладного назначения, в которых высокий коэффициент захвата в режим ускорения и низкий энергетический разброс позволяют увеличить энергетическую эффективность ускорителя, что, в конечном счете, приведет к уменьшению стоимости эксплуатации комплексов.

Разработка ускорителей с высокой интенсивностью пучка требует разработки и совершенствования методов учета влияния собственного поля пучка на его динамику. В диссертации С.М. Полозова большое внимание уделяется разработке современных, эффективных и высокопроизводительных методов учета квазистатической компоненты собственного поля пучка и нагрузки током.

В диссертации последовательно описываются разработанные аналитические и численные методы и программы, входящие в пакет BEAMDULAC. Приведены результаты тестирования программ, проведенные как с использованием экспериментальных данных, так и с помощью параллельного моделирования с использованием других программ. Только после этого аналитические методы и программы используются для проектирования новых установок, результаты запуска которых полностью подтверждают результаты моделирования. Это позволяет сделать вывод о корректности разработанных и использованных аналитических и численных методов и об обоснованности положений и выводов, сделанных в диссертации.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием хорошо проработанных математических и численных методов, по результатам использования которых не только получены новые фундаментальные результаты, но и запущено несколько ускорителей научного и прикладного назначения.

Результаты, полученные при работе над диссертацией, в особенности численные методы и программы для моделирования динамики, имеют несомненную практическую ценность для российских ускорительных центров и технологических компаний. Это подтверждается успешным внедрением результатов работы в Объединенном институте ядерных исследований, Институте теоретической и экспериментальной физики и Научно-производственном предприятии «Корад», в приложении к диссертации приведены копии актов о внедрении результатов в перечисленных организациях.

Апробация работы выполнена при представлении докладов на многочисленных российских и международных конференциях по физике и технике ускорителей и публикацией статей в журналах. Результаты работы опубликованы более, чем в ста печатных работах, из которых 76 публикаций индексируются в базе данных Scopus, 43 публикации – в базе данных Web of Science, 17 опубликовано в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК. Публикации полно и корректно отражают результаты диссертации. По результатам работы также получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Аналитические и численные методы, разработанные в ходе работы над диссертацией, внедрены при запуске нескольких ускорителей.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложения – актов о внедрении результатов работы.

Во введении проведено обоснование необходимости выполнения работы, представлено краткое содержание диссертации. Рассмотрены основные пакеты программ для численного моделирования динамики пучков, разработанные в различных лабораториях мира.

В двух первых главах диссертации описаны разработанные аналитические и численные методы исследования динамики пучков.

Рассмотрены особенности использования метода усреднения уравнения движения по быстрым осцилляциям для ускорителей различных типов как для случая наличия в системе синхронной с пучком пространственной гармоникой высокочастотного поля, так и при ее отсутствии. Предложен метод нахождения поправки к величине продольного и поперечного акцептанса канала ускорителя, основанный на сравнении динамики частиц в усредненном по быстрым осцилляциям и полном поле. Описаны численные методы исследования динамики пучков в ускорителях, используемые в программе BEAMDULAC, в том числе методы учета собственного поля пучка. Необходимо выделить оригинальный метод расчета кулоновской компоненты, использованный для пучков, содержащих ионы с различным отношением заряда к массе, а также метод и алгоритм для учета влияния нагрузки током самосогласованным образом.

В третьей и четвертой главах приведены результаты аналитического исследования и численного моделирования динамики пучков в ускорителях ионов и электронов. Большое внимание уделено тестированию программ, для чего используются как экспериментальные данные, так и сравнение результатов моделирования в программе BEAMDULAC и других программах для численного моделирования. Необходимо особо выделить результаты моделирования, полученные для нового форинжектора ускорительного комплекса «Нуклотрон»-NICA ОИЯИ, канала транспортировки ленточного ионного пучка при скоростях 10^{-5} - 10^{-4} скорости света для ионных имплантеров ИТЭФ и серии прикладных ускорителей электронов НПП «Корад». Все эти установки запущены в эксплуатацию и полученные экспериментальные данные количественно совпадают с результатами моделирования динамики

В пятой главе рассматривается динамика электронов в нестандартных системах – кристаллах и каналах лазерно-плазменных ускорителей. Программа для моделирования излучения при каналировании протестирована с помощью экспериментальных данных, полученных на

нескольких европейских и американских ускорителях. Способ лазерно-плазменного ускорения является перспективным способом повышения темпа ускорения, однако его до сих пор не удалось довести до практического использования. В работе описывается несколько методов улучшения спектра ускоряемых электронов и повышения коэффициента захвата в режим ускорения.

В заключении описаны основные результаты работы.

Среди основных новых научных результатов, полученных С.М. Полозовым в ходе работы над диссертацией, необходимо выделить следующие:

- Разработаны методы усреднения уравнения движения по быстрым осцилляциям как для систем с синхронной с пучком пространственной гармоникой высокочастотного поля, так и при ее отсутствии. Разработан метод учета поправки на быстрые осцилляции скорости частиц при нахождении аксептанса канала ускорителя.

- Разработаны алгоритмы для численного моделирования самосогласованной трехмерной динамики пучков заряженных частиц с учетом кулоновской компоненты собственного поля и нагрузки током пучка. Разработано и протестировано несколько версий программы BEAMDULAC для численного моделирования динамики пучка в ускорителях электронов и ионов. Программы протестированы с использованием других пакетов для численного моделирования и экспериментальных данных. Тестирование подтвердило высокую достоверность использованных методов и алгоритмов моделирования.

- Программа BEAMDULAC использована в ходе разработки нового фор-инжектора с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой для ускорительного комплекса «Нуклотрон»-NICA ОИЯИ, серии линейных ускорителей электронов для НПП «Корад» и каналов транспортировки

ионных пучков для имплантеров. Перечисленные установки запущены в эксплуатацию.

- Предложены методы уменьшения спектра пучка электронов и повышения коэффициента захвата в лазерно-плазменных ускорителях.

Диссертация не лишена некоторых недостатков:

1. Не совсем полно раскрыты методы оптимизации параметров пучков в разных структурах. Желательны были бы более полные математические постановки проблем оптимизации.
2. Имеется ряд опечаток в диссертации (на стр. 30, 31, 34, 35 и др.) и автореферате (на стр. 6, 8, 12, 21 и др.).

Приведенные недостатки не снижают качества выполнения работы и важности полученных фундаментальных и прикладных результатов.

Перечисленные выше результаты подтверждают, что диссертация С.М. Полозова является законченной научно-квалификационной работой, содержащей важные научные и практические результаты. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично, являются достаточно весомыми и соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Необходимо еще раз отметить, что разработанные аналитические методы и программы для численного моделирования динамики пучка прошли серьезную апробацию, с их использованием спроектировано и запущено в эксплуатацию несколько ускорителей. Содержание диссертации соответствует паспорту заявленной специальности. Автореферат корректно и в полной мере отражает содержание и результаты диссертации.

Таким образом, диссертация Полозова Сергея Марковича «Нелинейная динамика пучков ионов и электронов в линейных ускорителях» представляет собой законченную работу, обладающую всеми необходимыми признаками научной новизны, актуальности, научной и практической ценности,

имеющую существенное научное и прикладное значение в области теории ускорителей и динамики пучков заряженных частиц. Работа полностью соответствует критериям, установленным Положением «О порядке присуждения учёных степеней» для диссертаций на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, Полозов Сергей Маркович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теории систем управления электрофизической аппаратурой факультета прикладной математики – процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета

Д.А. Овсянников

Контактная информация:

Овсянников Дмитрий Александрович

доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой теории систем управления электрофизической аппаратурой факультета прикладной математики – процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета

199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9

Тел. +7 (812) 4284729, e-mail: d.a.ovsyannikov@sbpu.ru

Подпись доктора физико-математических наук, профессора Овсянникова Дмитрия Александровича заверяю:

15 октября 2019г.

Личную подпись заверяю
НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА КАДРОВ №3
Н. И. МАШТЕПА



Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей