

Отзыв **официального оппонента** доктора физико-математических наук Зенкевича Павла Романовича на диссертацию **Шильцева Владимира Дмитриевича** на тему «**Электронные линзы для суперколлайдеров**», представленную на соискание ученой степени доктора физ.- мат. наук по специальности 01.04.20 - **физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника**

Диссертация В. Д. Шильцева посвящена применению электронных линз для суперколлайдеров. Электронная линза представляет собой устройство, создающее на одном из участков коллайдера электронный пучок низкой энергии. Электроны, двигающиеся в продольном магнитном поле, создают кулоновское поле, действующее на циркулирующий адронный пучок. Электронная линза для суперколлайдера были впервые предложены Э. Н. Цыгановым и др. в 1993 г. для компенсации кулоновского сдвига, вызванного лобовыми столкновениями. Автор диссертации, вместе с коллегами, впервые практически соорудил такие линзы для установки Tevatron. Помимо компенсации лобовых столкновений, был предложен и экспериментально исследован целый ряд других приложений: компенсация эффектов паразитных столкновений, коллимация пучка и т.д.

Диссертация состоит из 5 глав. В первой, вводной главе, приведены общие соображения о динамике частиц в суперколлайдерах и применении в них электронных линз. Суперколлайдеры, которые применяются для исследования фундаментальных свойств природы, являются одним из наиболее сложных и дорогих сооружений, созданных человечеством.

Во второй главе описана технология электронных линз (ЭЛ). Эта проблема разработана автором диссертации чрезвычайно тщательно. Рассмотрены физические эффекты, ограничивающие параметры электронного пучка, а также паразитные эффекты, возникающие при взаимодействии электронного пучка с циркулирующими пучками высокой энергии и с накопленными в пучке медленными ионами. Подробно описана практическая реализация и конструкция электронных линз на установке Тэватрон. В результате удалось создать гибкую линзу, отличающуюся уникальными физическими свойствами по сравнению с классическими магнитными линзами. Ввиду отсутствия индуктивности, ток в ЭЛ может в широких пределах изменяться во времени по заданному закону, вплоть до того, что ЭЛ может по-разному действовать на разные сгустки. Кроме того, можно варьировать пространственное распределение электронов в пучке, создавая пучок с Гауссовским распределением, полый пучок и т.д. Такая гибкость характеристик открывает чрезвычайно широкие возможности для применения ЭЛ на кольцевых машинах.

Эти применения рассмотрены в последующих главах диссертации. В главе 3 описано применение ЭЛ для компенсации паразитных и лобовых эффектов встречи. Основное внимание уделено применению ЭЛ в Тэватроне, светимость которого удалось заметно повысить. Интересным и неочевидным приложением является компенсация

«эффекта Пакмана», т.е. зависимости тока пучка и распределения частиц по бетатронным частотам. В настоящее время компенсация лобовых эффектов встречи с помощью ЭЛ применяется также на установке RHIC (BNL). Имеются также планы использования ЭЛ на крупнейшем из действующих коллайдеров - LHC.

В четвертой главе описано применение ЭЛ для коллимации пучков в коллайдерах. Эта проблема является чрезвычайно важной из-за огромной энергии накопленного пучка. Попадание даже небольшой части пучка на стенки из-за колебаний орбиты может вызвать потерю сверхпроводимости (квенч). Предложено использовать для коллимации ЭЛ с полым электронным пучком. Пересечение пучка частицами с большой амплитудой приводит к диффузии частиц циркулирующего пучка в пространстве инвариантов (особенно эффективной в случае шумовой модуляции тока ЭЛ). Приведены результаты коллимации гало пучка с помощью трубчатого пучка ЭЛ для Тэватрона, а также проектные исследования коллимации с помощью трубчатого электронного пучка для LHC.

Кроме того, рассмотрена продольная коллимация с помощью ЭЛ. Суть вопроса состоит в следующем: в результате целого ряда процессов (эффект Тушека, выход за пределы сепаратрисы из-за медленной диффузии и т.д.). При ускорении в Тэватроне эти частицы быстро гибнут на стенках. В режиме циркуляции частицы вне сепаратрисы теряют энергию из-за синхротронного излучения и медленно гибнут на стенках, так как эти потери энергии не компенсируются ВЧ полем. Если число таких частиц велико (3-7 %), то их гибель также может привести к квенчу. Если поле ЭЛ модулировать во времени так, что оно действует только на частицы, находящиеся вне сепаратрисы (и при этом модулировать амплитуду тока во времени), то действие ЭЛ приводит к коллимации этих частиц. Эксперименты по такой коллимации были успешно выполнены на Тэватроне.

Наконец, в последней главе диссертации рассмотрены прочие приложения. Среди них наиболее интересными представляются два приложения: 1) компенсация эффектов пространственного заряда (КЭПЗ); 2) подавление когерентных неустойчивостей помощью ЭЛ путем увеличения пространственного заряда. Развита теория КЭПЗ и выполнено численное моделирование. Эксперименты по КЭПЗ планируется в принципиально новой установке IOTA (FNAL), в которой предполагается обеспечить большую динамическую апертуру путем создания новых инвариантов движения, отличных от стандартных инвариантов Куранта-Снайдера

В диссертации содержится очень большой материал. Это привело к тому, что изложение приобретает подчас несколько конспективный характер. Такими чертами отличается, например, анализ наиболее важного эффекта: компенсации лобовых столкновений. Так, приведена формула, (ур. 3.6), описывающая Гамильтониан коллайдера в переменных действие - угол. Дальше содержится следующее замечание: «Современные ... инструменты позволяют рассчитать резонансные члены $h_{m,n}$ и оценить их влияние на динамику частиц и потери частиц [150]». Работа, на которую дана ссылка, выполнена в RHIC. В этой работе, однако, также не содержится никаких сведений о ширине резонансных гармоник. В результате остается не вполне раскрытым механизм потерь из-за лобовых столкновений и их компенсации ЭЛ.

Другим примером несколько торопливого изложения является раздел про стабилизацию когерентных колебаний. Известно, что введение в структуру кулоновского элемента ухудшает стабильность дипольных колебаний, так как одновременно с дисперсией по бетатронным частотам вводит линейный сдвиг когерентной частоты бетатронных колебаний относительно некогерентной, значительно превышающий вышеупомянутую дисперсию. Хотелось бы, чтобы автор более подробно пояснил, что он имеет в виду.

Данные замечания не умаляют важности работы, проделанной автором. В.Д. Шильцев (вместе со своими сотрудниками) проделал огромную работу по созданию и внедрению в практику работы на кольцевых машинах электронных линз, которые представляют собой уникальный оптический инструмент, имеющий множество приложений. Многие из этих методов уже проверены экспериментально на установках TEVATRON и RHIC.

Материалы диссертации опубликованы в изданиях, внесенных в список ВАК, а автореферат соответствует содержанию диссертации. Диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК, а ее автор В.Д. Шильцев, несомненно, заслуживает присвоения ученой степени доктора физ. – мат. наук.

Официальный оппонент Зенкевич Павел Романович,

доктор физ. – мат. наук, старший научный
01.04.02 – теоретическая физика

Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт», ГИЦ
«Институт Теоретической и Экспериментальной Физики»

Ведущий научный сотрудник

21.11.2017



П. Р. Зенкевич