

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования**
**«Московский физико-технический институт (государственный
университет)» МФТИ**

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по учебной и методической работе
_____ Д.А. Зубцов
« » _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине: Физика пучков заряженных частиц
по направлению: 03.03.01 – Прикладные математика и физика
профиль подготовки: «Физика микромира»
факультет: ОПФ
кафедра: Физика высоких энергий
курс: 4 (бакалавриат)
семестры: 8 диф.зачет : 8 семестр
Трудоёмкость в зач. ед.: вариативная – 3 зач. ед.
в т.ч.:
лекции: 30 часов;
практические (семинарские) занятия: 15 ч;
лабораторные занятия: нет;
мастер классы, индивид. и групповые консультации: нет;
самостоятельная работа: 15 часов;
курсовые работы: нет;
подготовка и сдача экзаменов: нет.
ВСЕГО ЧАСОВ 60 ч

Программу составил к.ф.м.н. П.Н.Чирков

Программа обсуждена на заседании кафедры
Физики высоких энергий ФОПФ МФТИ “13” июля 2015 г.
СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой

Зайцев А.М.

Декан

М.Р. Трунин

Начальник учебного управления

Аннотация

Основная задача этого курса:

- 1 освоение студентами основ теории физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники;
- 2 развить представление о том, какие пучки, каких частиц, с какими параметрами необходимы и используются как в фундаментальных исследованиях (физика высоких энергий), так и в прикладных задачах (в медицине – радиационная терапия, электронно-лучевая сварка, имплантация ионов, дефектоскопия, неразрушающий анализ, производство радионуклидов, стерилизация и т.д.);
- 3 изучение существующих и разрабатываемых методов ускорения частиц, способов реализации этих методов и трудностей создания пучков с наперед заданными параметрами;
- 4 показать всю научную широту, требующуюся при создании ускорителей: от теоретической механики, электродинамики, квантовой механики и ядерной физики до “технологических” наук, связанных с материаловедением, созданием сверхпрочных поверхностей и т.д.;
- 5 акцентировать внимание студентов на знании и понимании физических законов, лежащих в основе функционирования различных типов ускорителей;
- 6 научить решению линейных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами;
- 7 познакомить с качественным и количественным анализом нелинейных колебаний;
- 8 научить студентов различным методам анализа устойчивости в нелинейной динамической системе, которую представляет собой частица, движущаяся в ускорителе.

Лекция 1. Значение ускорителей в физической науке и технологии.

Классификация ускорителей.

Применение ускорителей. Встречные пучки, светимость, современные коллайдеры. Электронные и ионные источники заряженных частиц. Линейные ускорители: высоковольтные ускорители прямого действия, ускоритель Вин де Граафа, тандемные ускорители, каскадные ускорители, линейные индукционные ускорители. Циклические ускорители с постоянной орбитой: бетатрон, синхротрон. Циклические ускорители с переменной орбитой: циклотрон, микротрон.

Лекция 2. Резонансное ускорение.

Резонансный принцип ускорения. Линейные ускорители электронов, ионов (ускоритель Альвареца), RFQ ускоритель, мезонные фабрики. Синхротроны с совмещенными и разделенными функциями магнитной структуры. Примеры синхротронов на высокие энергии: Дубна, Бустер ИФВЭ, У-70, ЛНС, УНК, проект Омега в ИФВЭ.

Лекция 3. Синхротрон: устройство и принцип действия.

Понятие о фокусировке. Проектная орбита (reference orbit). Изменение магнитного поля, коэффициент расширения орбиты. Ускорение в синхротроне: принцип автофазировки, синхронная энергия и синхронная фаза, критическая энергия, уравнения синхротронного движения, синхротронные колебания.

Лекция 4. Устойчивость синхротронных колебаний.

“Масса” и частота синхротронных колебаний. Сепаратриса в фазовом пространстве, синхротронные эмиттансы пучка и аксептансы, захват частиц в режим устойчивого ускорения. Адиабатическое изменение параметров синхротронных колебаний, теорема Лиувилля, зависимость параметров коротких сгустков (банчей) от энергии ускоряемых частиц.

Лекция 5. Устойчивость поперечного движения в синхротроне.

Поперечное движение заряженных частиц в прямом магнитооптическом канале и однородном магнитном поле. Уравнение Хилла, период магнитной структуры. Слабая и сильная фокусировка. Уравнения поперечного движения в синхротроне. Основные типы электромагнитов в синхротроне: диполи и квадруполи. Матричный метод решения уравнения Хилла. Критерий устойчивости поперечного движения. Бетатронные колебания. Описание бетатронных колебаний посредством непрерывных бета и фазовых функции.

Лекция 6. Параметры Куранта-Снайдера.

Параметры Куранта-Снайдера, матрица Твисса. Вычисление параметров Куранта-Снайдера, частота бетатронных колебаний, фазовый эллипс. Согласованные и не согласованные пучки, эмиттансы пучка и аксептансы вакуумной камеры. Инвариантный (нормализованный) эмиттанс пучка. Примеры магнитных структур (У-70, УНК). “Оценочный” расчет магнитной структуры типа FODO в приближении тонких линз в синхротроне на высокие энергии.

Лекция 7. Дисперсионная функция и линейные возмущения в синхротроне.

Дисперсионная функция в замкнутой магнитной структуре и её расчет. Естественная хроматичность ускорителя, хроматический разброс бетатронных частот в пучке на клетке бетатронных частот. Принцип коррекции хроматичности.

Искажения замкнутой орбиты из-за геодезических ошибок установки диполей и квадруполей на проектную орбиту (reference orbit), точность изготовления магнитооптических элементов. Пример коррекции искажений орбиты. Создание бампов орбиты.

Лекция 8. Описание плоского магнитного поля.

Скалярный потенциал плоского магнитного поля. Нормальные и косые мультиполи, их представление и измерение. Краевые поля. Краевая фокусировка в диполях.

Лекция 9. Влияние паразитных мультиполей на бетатронное движение.

Нелинейные уравнения бетатронного движения в канонических переменных. Решение методом усреднения. Сдвиг бетатронных частот. Суммовые и разностные бетатронные резонансы. Структурные резонансы.

Лекция 10. Действие одномерного изолированного резонанса.

Ширина резонанса. Биения размеров пучка. Параметрический резонанс. Косой квадруполь и линейный резонанс связи. Использование секступольного резонанса для медленного вывода пучка из синхротрона.

Лекция 11. Амплитудная зависимость сдвигов бетатронных частот.

Зависимость сдвигов частот от амплитуд колебаний. Разброс частот в пучке и системы его коррекции. Допуски на паразитные мультиполи (пример УНК). Влияние нормальных паразитных мультиполей на процесс медленного вывода.

Лекция 12. Статические эффекты пространственного заряда в синхротроне.

Некогерентный кулоновский сдвиг бетатронных частот, роль фактора группировки (банчировки). Влияние стенок вакуумной камеры. Ограничение интенсивности при низких и высоких энергиях. Нелинейный кулоновский разброс бетатронных частот. Кулоновское взаимодействие сталкивающихся сгустков в коллайдере. Параметр пространственного заряда и ограничение светимости коллайдера.

Лекция 13. Сохранение эмиттанса пучка.

Рассогласование при инжекции: ошибки дипольного поля и ошибки фокусировки. Диффузионные процессы: кулоновское и ядерное рассеяние на остаточном газе. Требования к вакууму в протонных синхротронах. Шумы в RF системах и пульсации в питании электромагнитных элементах.

Лекция 14. Уменьшение эмиттанса пучка в синхротроне.

Поперечное стохастическое охлаждение. Продольное стохастическое охлаждение. Электронное охлаждение.

Лекция 15. Особенности электронных синхротронов.

Синхротронное излучение в электронных ускорителях. Радиационное затухание вертикальных бетатронных колебаний. Сжатие 6-мерного фазового объема пучка под влиянием излучения. Радиальные бетатронные и синхротронные колебания электронов. Декременты колебаний в ускорителях с различными типами фокусировки. Влияние квантовых флуктуаций излучения на движение электронов.

Лекция 16. Когерентные эффекты пространственного заряда.

Когерентные бетатронные колебания. Когерентная поперечная неустойчивость пучка. Продольная неустойчивость пучка (эффект отрицательной массы).

Литература:

1. А.А. Коломенский, А.Н. Лебедев. Теория циклических ускорителей. М., Физматгиз, 1962.
2. А.А. Коломенский. Физические основы методов ускорения заряженных частиц. Издательство Московского университета, 1980.
3. А.Н. Лебедев, А.В. Шальнов. Основы физики и техники ускорителей. М., Энергоатомиздат, 1991.
4. D.A. Edwards, M.J. Syphers. An Introduction to the Physics of High Energy Accelerators. John Wiley & sons, INC., 1993.
5. H. Wiedemann. Particle Accelerator Physics I. Basic principles and linear beam dynamics, Springer-Verlag, 1995.
6. H. Wiedemann. Particle Accelerator Physics II. Nonlinear and higher-order beam dynamics. Springer-Verlag, 1995.