

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий ОПКВК

 В.П. Драгунов



 2022 г.

ПРОГРАММА
вступительных экзаменов в аспирантуру по специальности
1.3.18.
«Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника»

Новосибирск
2022г

Программа обсуждена на заседании ученого совета физико-технического факультета
протокол № 1 от 24.02.2022 г.

Программу разработал

профессор кафедры ЭФУиУ,

д.ф.-м.н.

 (Е.Б. Левичев)


Декан ФТФ,

к.ф.-м.н., доцент

 (И.И. Корель)

Ответственный за основную
образовательную программу

д.ф.-м.н.,

 (А.В. Бурдаков)

В основу программы вступительных испытаний положены следующие вузовские дисциплины, соответствующие государственному образовательному стандарту по направлению «Физика и астрономия»: электродинамика заряженных частиц, магнитные системы ускорителей и накопителей заряженных частиц, конструирование электрофизических установок и ускорителей, специальные главы физики ускорителей.

Электродинамика заряженных частиц:

I. Методы расчета и моделирования электрических и магнитных полей.

1. Основные аналитические, графические и численные методы определения статических полей; расчет емкостей и потоков.
2. Моделирование полей с источниками и без них
3. Измерения магнитных полей. Подобие модели и природы.

II. Поведение заряженных частиц в электромагнитных полях.

1. Основные уравнения движения.
2. Движение заряженных частиц в однородных электромагнитных полях.
3. Электронно-оптическая аналогия.
4. Движение заряженных частиц в аксиально-симметричных полях. Метод приближенного построения траекторий.

III. Элементы фокусирующих систем и их электронно-оптические свойства.

1. Электростатические линзы и зеркала.
2. Магнитные линзы.
3. Понятие об абберациях линз с вращательной симметрией.
4. Квадрупольные линзы, дублеты, триплеты.
5. Линзы с числом полюсов больше четырех.

IV. Формирование пучков заряженных частиц низкой интенсивности.

1. Теорема Лиувилля и поперечный фазовый объем пучка; понятие эмиттанса и аксептанса.

2. Движение частиц с конечным фазовым объемом в периодическом канале.
Движение частиц в периодических полях.
3. Функции Флоке и огибающие пучка. Проблема согласованного ввода пучка в канал.

V. Действие пространственного заряда в пучках заряженных частиц.

1. Основные эффекты и соотношения подобия в интенсивных пучках.
2. Расширение пучков под действием сил пространственного заряда.
3. Распределение потенциала в пучках и предельный ток. Образование «виртуального» катода.
4. Формирование интенсивных потоков магнитных полей; поток Бриллюэна.
5. Начальное формирование потоков статическим полем; оптика Пирса.
6. Интенсивный пучок в периодическом канале; пропускная характеристика канала.
7. Ускорительные трубки и особенности проектирования систем транспортировки интенсивных пучков.

Магнитная система ускорителей и накопителей заряженных частиц:

1. Назначение и основные функции.
2. Основные характеристики элементов магнитной системы.
3. Фокусирующие свойства элементов магнитной системы (магнит с однородным полем, фокусирующие линзы, магнит с градиентом, краевая фокусировка, соленоид).
4. Способы выполнения элементов магнитной системы.

Движение частиц в магнитной системе:

1. Уравнение движения частиц в магнитных полях.
2. Бетатронные и синхротронные колебания.
3. Движение частиц в периодических магнитных системах (уравнения Флоке).
4. Матричный метод анализа устойчивости движения.

5. Связь матричных коэффициентов с бетатронной функцией.
6. Азимутально- симметричная система со слабой фокусировкой, жестко-фокусирующая магнитная система.
7. Анализ бетатронного движения частиц на фазовой плоскости.
8. Поперечный фазовый объем.
9. Адиабатическое затухание бетатронных колебаний.
10. Резонансы бетатронных колебаний в магнитных системах.

Ускорение заряженных частиц:

1. Способы создания ускоряющих элементов.
2. Зависимость параметров орбит от энергии частиц в циклических ускорителях.
3. Резонансный режим ускорения, автофазировка, уравнение фазового движения.
4. Анализ синхротронного движения на фазовой плоскости.
5. Продольный фазовый объем.
6. Адиабатическое затухание в синхротронных колебаниях.

Синхротронное излучение в электронных ускорителях и накопителях:

1. Свойства синхротронного излучения.
2. Движение частиц в присутствии излучения.
3. Декременты затухания бетатронных и синхротронных колебаний.
4. Возбуждение колебаний за счет квантовых флуктуаций синхротронного излучения.
5. Ограничение на предельную энергию циклических ускорителей и накопителей электронов.

Способы уменьшения фазового объема пучка заряженных частиц:

1. Использование ионизационных потерь энергии.
2. Стохастическое охлаждение.

3. Электронное охлаждение.

Инжекция и выпуск частиц в ускорителях и накопителях. Способы накопления частиц:

1. Способы создания систем для впуска и выпуска частиц.
2. Способы инжекции частиц (внутренняя и внешняя, однооборотная и многооборотная, перезарядная инжекция).
3. Выпуск частиц из ускорителей (использование внешнего удара, рассеяние на мишени, резонансный способ).
4. Способы накопления частиц без уменьшения фазового объема.
5. Накопление частиц с использованием радиационного затухания или охлаждения тяжелых частиц.

Влияние пространственного заряда на движение частиц в ускорителях и накопителях:

1. Классификация различных эффектов (продольные и поперечные, когерентные и некогерентные).
2. Изменение фокусирующих свойств магнитной системы из-за кулоновских сил пространственного заряда.
3. Примеры когерентных неустойчивостей бетатронных колебаний, вызываемых взаимодействием с внешними системами.
4. Эффект «отрицательной массы» и его влияние на продольное движение частиц.
5. Продольные эффекты пространственного заряда для сбунченного пучка (искажение потенциальной ямы, когерентные потери энергии, когерентные неустойчивости).

Линейные ускорители:

1. Электростатические ускорители.
2. Протонные высокочастотные ускорители (ускоритель Видероз, Альвареца, мезонные фабрики).

3. Электронные линейные ускорители.
4. Импульсные сильноточные ускорители электронов.

Промышленные ускорители:

1. Требования, предъявляемые к ускорителям.
2. Различные типы промышленных ускорителей (трансформаторы, выпрямители, ВЧ-ускорители).
3. Области применения промышленных ускорителей.

Циклотрон:

1. Основная идея, предельная энергия.
2. Фокусировка (ВЧ-фокусировка, изохронный циклотрон).
3. Конструктивное выполнение циклотрона.

Бетатрон:

1. Принцип работы, условие бетатронного ускорения.
2. Конструктивное выполнение бетатрона.

Микротрон:

1. Идея микротронного способа ускорения.
2. Обычный и разрезной микротрон.
3. Инжекция в микротрон, фокусировка.
4. Применение микротронов.

Синхротрон:

1. Принцип синхротронного способа ускорения.
2. Магнитная система синхротронов (железные магниты, сверхпроводящие, импульсные, безжелезные).
3. ВЧ-система синхротронов.

4. Вакуумная система.
5. Проблемы повышения предельной энергии синхротронов; будущее синхротронов.

Накопители заряженных частиц:

1. Основные требования к накопителям.
2. Технические характеристики основных систем накопителей (магнитная система, ВЧ-система, инжекция, вакуум, геодезия, автоматика).
3. Способы повышения светимости установок со встречными пучками.
4. Использование накопителей для постановки различных экспериментов (получение поляризованных пучков, эксперименты на внутренней мишени, эксперименты с синхротронным излучением).

Конструирование электрофизических установок и ускорителей:

1. Структура современных электрофизических установок. Основные инженерные, технические и технологические проблемы.
2. Основные понятия в вакуумной технике.
3. Виды и способы получения вакуума; категории вакуумных установок. Основные материалы, применяемые в вакуумной технике (стали, стекло, керамика, прочие неметаллические материалы).
4. Газоотделение и газопроницаемость в вакууме. Физические и химические причины, величины натекания, динамика при прогреве, выводы для разработчика.
5. Специфические технологические процессы в вакуумной технике. Аргондуговая и гелиево-дуговая сварка, вакуумная пайка металлических соединений, диффузионная и электроннолучевая сварка и пайка.
6. Методы уплотнения вакуумных узлов.
7. Стыковые уплотнения с неметаллическими и металлическими уплотнителями. Вводы движения в вакуум различных типов, электрические вводы в вакуум, нестандартные типы уплотнений.

8. Типовые коммутационные элементы вакуумных систем. Низковакуумные вентили и шиберы, высоковакуумные прогревные вентили и шиберы, аварийные и быстродействующие запорные устройства.
9. Общие схемы вакуумных систем и их структура. Особенности конструирования высоковакуумных систем, расчет проводимостей, расчет вакуумных систем на прочность, откачные средства, азотные ловушки, дополнительные элементы в вакуумных системах.
10. Тепловыделение в электрофизических установках. Основные законы теплопередачи; расчеты узлов конструкций при теплопередаче теплопроводностью. Конвекция, теплопередача в неограниченное и ограниченное пространство, теплопередача при вынужденном движении жидкости, при движении жидкости в трубах. Перенос тепловой энергии излучением, влияние экранов.
11. Расчет и конструирование электромагнитов. Основные свойства ферромагнитных материалов магнитомягкие и магнитотвердые материалы. Кривая намагничивания. Силовое действие магнитного поля. Расчет усилий в электромагнитах с учетом и без учета полей рассеивания.
12. Назначение и инженерные особенности ускорителей заряженных частиц; принципы формирования магнитного поля.
13. Синхротроны. Принцип действия, выбор параметров, конструктивные особенности основных систем, магнитная и вакуумная система, ускорительная система, особенности впуска и выпуска, вспомогательные устройства, конструкция синхротронов БЗМ, БЧ, Серпуховского, Современные тенденции в конструкциях синхротронов.
14. Накопители заряженных частиц. Назначение и классификация. Принципиальные особенности магнитной, вакуумной и высокочастотной системы накопителей. Конструкции накопителей ВЭПП-2, ВЭПП-2000, ВЭПП-3 и ВЭПП-4. Накопители электронов - специализированные источники синхротронного излучения, конструкция накопителей «Сибирь-1» и «Сибирь-2».
15. Системы транспортировки пучков заряженных частиц и каналы вывода синхротронного излучения. Элементы с постоянным и импульсным питанием. Поворотные магниты, квадрупольные линзы различных типов, X-линзы, литиевые

линзы. Корректирующие элементы и системы наблюдения за пучком. Структура и конструктивные элементы каналов вывода СИ. Системы юстировки каналов.

16. Промышленные ускорители. Области применения, классификация, возможные типы. Основные системы промышленных ускорителей, проблемы надежности и их отражение в конструкциях. Особенности конструктивных схем ускорителей типа ЭЛВ и ИЛУ.
17. Конструкции циклических ускорителей. Циклотрон. Принцип действия, особенности конструкции, основные системы, микротрон: основные системы и соотношения, темп ускорения. Особенности конструкции многорожечных разрезных микротронов. Бетатроны: конструктивные особенности и область применения. Варианты конструкции. Бетатронные сердечники в синхротронах.
18. Электрофизические установки для проведения исследований в области управляемого термоядерного синтеза (УТС). Открытые и закрытые системы. Пробкотроны Будкера. Современные тенденции в создании открытых ловушек. Конструкции установок ПОП, АМБАЛ, ГОЛ и Ш.
19. Некоторые технологические особенности изготовления элементов электрофизических установок. Точная обработка полюсов магнитных систем, изготовление кольцевых шихтованных магнитопроводов. Особенности технологии сильноточных обмоток и вакуумных камер.

Литература основная:

Иванов А.В. «Динамика заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных полях», Новосибирск, НГТУ, 2011г

Левичев Е.Б. «Лекции по нелинейной динамике частиц в циклическом ускорителе», Новосибирск, НГТУ, 2009г

Литература дополнительная:

Пановский В., Филипс М. «Классическая электродинамика». М. 1963.

Жигарев А.А. «Электронная оптика и электронно-лучевые приборы», Высшая школа, М. 1972г.

Зинченко Н.С. «Курс лекций по электронной оптике», Изд. Харьк. Унив., 1961

- Кельман В.М., Явор Я.С. «Электронная оптика», Изд.АН СССР, 1963 г.
- Алямовский И.В. «Электронные пучки и электронные пушки», Сов.радио, 1966г.
- Капчинский И.М. «Теория линейных резонансных ускорителей: динамика частиц». М. 1982
- Лихтенберг А. «Динамика частиц в фазовом пространстве», М. Атомиздат 1972 г.
- Штеффен К. «Оптика пучков высокой энергии», Мир. М. 1969 г.
- Бенфорд А. «Транспортировка пучков заряженных частиц», М. Атомиздат, 1969 г
- Балицкий А.В. «Технология изготовления вакуумной аппаратуры», «Энергия», М., 1974 г.
- Михеев М.А., Михеева И.М. «Основы теплопередачи», «Энергия», М.,1973 г.
- Новиков Ю.Н. «Теория и расчет электрических аппаратов», «Энергия», Л., 1970 г.
- Комар Е.А. «Основы ускорительной техники», «Энергия», Л., 1975 г.
- Ливингуд Дж. Принципы работы циклических ускорителей. - М. Изд-во иностр. лит., 1963. - 493 с.
- Лебедев А.П., Шальнов А.В. Основы физики и техники ускорителей: (Учеб. пособие для физ. спец. вузов. В 3-х ч. X. -: Энергоиздат. 1981-1983. Ч. I. Ускорители заряженных частиц. - 1981. - 192 с; Ч.2. Циклические ускорители. - 1982. - 239 с.; Ч. 3. Линейные ускорители. - 1983. - 199 с.

Правила аттестации по дисциплине:

В соответствии с учебным планом проводится экзамен. В билет включены четыре вопроса из программы. По результатам ответа на вопросы по билету и при необходимости на дополнительные вопросы абитуриент может получить следующие оценки.

Отлично – на все вопросы в билете даны правильные ответы, полностью раскрывающие суть вопросов, и на дополнительные вопросы, заданные комиссией аспирант ответил правильно и полностью.

Хорошо – на вопросы даны правильные, но не полные ответы. Раскрыта суть рассматриваемого процесса, но не приведены примеры. На дополнительные вопросы, заданные комиссией аспирант ответил правильно и полностью.

Удовлетворительно – только на часть из вопросов дан правильный ответ, но на дополнительные вопросы, заданные комиссией, поступающий в аспирантуру ответил правильно и полностью.

Неудовлетворительно – на вопросы по билету абитуриент ответил неправильно.