

Программа
вступительного испытания по специальной дисциплине
в аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт»
по группе научных специальностей:

1.3. Физические науки

1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

1. Общие положения

1.1. Данная программа предназначена для подготовки к вступительным испытаниям в аспирантуру по специальной дисциплине. Программа вступительных испытаний в аспирантуру подготовлена в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (уровень магистра или специалиста).

Экзамен проводится с целью выявления у поступающего объёма научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Поступающий должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

1.2. Программой устанавливается:

форма, структура, процедура сдачи вступительного испытания;

шкала оценивания;

максимальное и минимальное количество баллов для успешного прохождения вступительного испытания;

критерии оценки ответов.

1.3. Вступительное испытание проводится на русском языке.

1.4. Организация и проведение вступительного испытания осуществляется в соответствии с Правилами приема, утвержденными приказом НИЦ «Курчатовский институт».

1.5. По результатам вступительного испытания, поступающий имеет право подать на апелляцию о нарушении, по мнению поступающего, установленного порядка проведения вступительного испытания и (или) о несогласии с полученной оценкой результатов вступительного испытания в порядке, установленном

Правилами приема, действующими на текущий год поступления.

2. Форма, процедура проведения и шкала оценивания вступительного испытания.

2.1. Вступительное испытание проводится в форме экзамена на основе билетов. Экзамен проходит в устной форме. Подготовка к ответу составляет 1 академический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Ответ на билет оценивается от 0 до 10 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

Билет включает в себя два вопроса по научной специальности 1.3.18 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника и охватывает следующие темы: основные понятия физики ускорителей, методы расчета и моделирования электрических и магнитных полей, поведение заряженных частиц в электромагнитных полях, элементы фокусирующих систем и их электронно-оптические свойства, формирование пучков заряженных частиц низкой интенсивности, действие пространственного заряда в пучках заряженных частиц, магнитная система ускорителей и накопителей заряженных частиц, движение частиц в магнитной системе, связь матричных коэффициентов с бетатронной функцией, ускорение заряженных частиц, синхротронное излучение в электронных ускорителях и накопителях, способы уменьшения фазового объема пучка заряженных частиц, инжекция и выпуск частиц в ускорителях и накопителях, способы накопления частиц, влияние пространственного заряда на движение частиц в ускорителях и накопителях, линейные ускорители, промышленные ускорители, циклотрон, бетатрон, микротрон, синхротрон.

В случае проведения экзамена в дистанционном формате вступительное испытание проводится в режиме видеоконференцсвязи.

2.2. Экзамен по специальной дисциплине оценивается по 10-балльной шкале. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания по специальной дисциплине, устанавливается равным 4 баллам.

Шкала оценивания

Оценка,	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
----------------	--

баллы	
9-10	Поступающий уверенно владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их строгими и полными доказательствами, уверенно отвечает на дополнительные вопросы программы вступительного испытания.
6-8	Поступающий владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их доказательствами, в которых допускает отдельные неточности. Отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.
4-5	Поступающий знаком с основным материалом программы, приводит формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, но допускает некоторые неточности, сопровождает их доказательствами, в которых допускает погрешности либо описывает основную схему доказательств без указания деталей. Отвечает на дополнительные вопросы по программе вступительного испытания, допуская отдельные неточности.
0-3	Поступающий не владеет основным материалом программы, не знаком с основными понятиями, не способен приводить формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, не умеет доказывать теоремы и другие утверждения, не знает даже схемы доказательств. Не отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.

3. Вопросы к экзамену по научной специальности 1.3.18 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

Основные понятия физики ускорителей

1. Основные этапы развития ускорителей.
2. Физика высоких энергий и ускорителей.
3. Использование ускорителей в прикладных целях.

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.

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.

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.

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.

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.

Связь матричных коэффициентов с бетатронной функцией

1. Азимутально-симметричная система со слабой фокусировкой, жестко-фокусирующая магнитная система.
2. Анализ бетатронного движения частиц на фазовой плоскости.
3. Поперечный фазовый объем.
4. Адиабатическое затухание бетатронных колебаний.
5. 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, Альвареза, 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).

Литература

1. Иванов А.В. «Динамика заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных полях», Новосибирск, НГТУ, 2011г
2. Левичев Е.Б. «Лекции по нелинейной динамике частиц в циклическом ускорителе», Новосибирск, НГТУ, 2009г
3. Пановский В., Филипс М. «Классическая электродинамика». М. 1963.
4. Жигарев А.А. «Электронная оптика и электронно-лучевые приборы», Высшая школа, М. 1972г.
5. Зинченко Н.С. «Курс лекций по электронной оптике», Изд. Харьк. Унив., 1961
6. Кельман В.М., Явор Я.С. «Электронная оптика», Изд.АН СССР, 1963 г. Алямовский И.В. «Электронные пучки и электронные пушки», Сов.радио, 1966г.
7. Капчинский И.М. «Теория линейных резонансных ускорителей: динамика частиц». М. 1982
8. Лихтенберг А. «Динамика частиц в фазовом пространстве», М. Атомиздат 1972 г. Штеффен К. «Оптика пучков высокой энергии», Мир. М. 1969 г.
9. Бенфорд А. «Транспортировка пучков заряженных частиц», М. Атомиздат, 1969 г.
10. Балицкий А.В. «Технология изготовления вакуумной аппаратуры», «Энергия», М., 1974 г. Михеев М.А., Михеева И.М. «Основы теплопередачи», «Энергия», М., 1973 г.
11. Новиков Ю.Н. «Теория и расчет электрических аппаратов», «Энергия», Л., 1970 г. Комар Е.А. «Основы ускорительной техники», «Энергия», Л., 1975 г.
12. Ливингуд Дж. Принципы работы циклических ускорителей. - М. Изд-во иностр. лит., 1963. - 493 с.

13. 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.