

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 01/08-577

от 28.08.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ИОННАЯ ОПТИКА

Направление подготовки
(специальность)

[1] 16.03.01 Техническая физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки, час.	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
7	2	72	0	0	48		24	0	3
Итого	2	72	0	0	48	32	24	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются теоретические основы ионной оптики. Рассматриваются различные типы линз и их ионно-оптические свойства.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются получение базовых знаний по движению заряженных частиц в электрических и магнитных полях, изучение закономерностей движения заряженных частиц в электрических и магнитных полях; получение навыков расчета движения заряженных частиц в полях; освоение принципов теоретического моделирования ионно-оптических систем.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Принципы построения и изучения ионной-оптических систем в физических исследованиях являются важной частью научно исследовательской инженерно–внедренческой работы инженера-физика. В качестве базовых знаний для усвоения дисциплины необходимы знания стандартного цикла курсов общей физики и высшей математики, умение пользоваться персональным компьютером и некоторыми прикладным программным обеспечением.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Применение эффективных методов исследования физико-технических объектов, процессов и материалов. Проведение стандартных и	Наноразмерные системы, атомно-молекулярные смеси, масс-спектрометрия и спектрометрия ионной подвижности,	ПК-1 [1] - Способен применять эффективные методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, проводить стандартные и	З-ПК-1[1] - Знать эффективные методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, современные аналитические

сертификационных испытаний технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики.	композиционные материалы.	сертификационные испытания технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, 40.167	средства технической физики ; У-ПК-1[1] - Уметь проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики ; В-ПК-1[1] - Владеть эффективными методами исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, современными аналитическими средствами технической физики испытаний технологических процессов и изделий
---	---------------------------	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20)

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Тема 1	1-8	0/0/24		25	УО-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1
2	Тема 2	9-16	0/0/24		25	УО-16	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		0/0/48		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	3	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
УО	Устный опрос
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	0	0	48
1-8	Тема 1	0	0	24
1	Введение. Введение. Предмет «Ионная оптика». Ионно-оптические системы и их свойства. Фокусировка и разделение ионов, абберрационные свойства ионно-оптических систем. Электростатика и магнитостатика. Теоремы Остроградского-Гаусса и Остроградского-Стокса. Поляризация диэлектриков. Теорема Гаусса. Принцип суперпозиции при расчетах потенциалов. Диэлектрики и проводники в электрическом поле. Энергия электрического поля.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
2	Электростатические поля простых геометрических форм. Электростатические поля простых геометрических форм. Электрические поля: точечного заряда, плоского конденсатора, длинной заряженной оси, цилиндрического	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0

	конденсатора, сферического конденсатора, диполя, двух равных одноименных точечных зарядов.			
3	Электрические поля цилиндрического конденсатора Электрические поля цилиндрического конденсатора с двухслойным диэлектриком, параллельных тонких проводников, параллельных проводящих цилиндров, проводящих цилиндров во внешнем поле, кольцевого заряда, заряженного диска, точечного заряда вблизи проводящей поверхности.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
4	Векторный и скалярный потенциалы магнитного поля. Векторный и скалярный потенциалы магнитного поля. Магнитное поле на границе двух сред. Магнитное экранирование. Расчет магнитного поля в зазоре магнита. Магнитные поля простых геометрических форм. Магнитное поле бесконечно длинного прямого цилиндрического проводника с током (внутри и снаружи).	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
5	Магнитное поле двухпроводной линии в цилиндрическом ферромагнитном экране. Магнитное поле двухпроводной линии в цилиндрическом ферромагнитном экране. Поле кругового тока, поле соленоида. Поле цилиндрического электромагнита с воздушным зазором. Поле в зазоре клиновидной формы. Поле в зазоре двух конусов.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
6	Краевые поля и их коррекция. Краевые поля и их коррекция. Краевые поля электростатических систем: плоского конденсатора, цилиндрического конденсатора. Линзовые эффекты сеточных электродов. Краевое поле плоскопараллельного магнитного зазора. Влияние краевых полей на фокусировку заряженных частиц.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
7	Движение заряженных частиц в полях. Движение заряженных частиц в полях. Общие закономерности движения заряженных частиц в электростатических и магнитных полях. Преломление траекторий. Движение заряженных частиц в однородном электрическом поле. Движение в полях $r-1$, $r-2$.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
8	Фокусирующие свойства электрических полей. Фокусирующие свойства электрических полей. Основное уравнение электронной оптики для аксиально-симметричных полей. Фокусировка в аксиально-симметричном поле. Тонкая линза. Практическое использование фокусировки заряженных частиц.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Тема 2	0	0	24
9	Электронный умножитель и электронный осциллограф Электронный умножитель и электронный осциллограф. Электростатические линзы. Примеры электростатических линз. Аберрации электростатических линз. Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле. Движение заряженных частиц в радиальном магнитном поле.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0

10	Фокусировка в поперечных и продольных магнитных полях. Фокусировка в поперечных и продольных магнитных полях. Короткая магнитная линза. Дисперсия по массам в магнитных полях. Фокусировка в секторных полях. Аберрации, идеальная фокусировка.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
11	Влияние объемного заряда электронных и ионных пучков. Влияние объемного заряда электронных и ионных пучков. Движение заряженных частиц с учетом влияния объемного заряда. Формирование пучков заряженных частиц. Закон "трех/вторых". Учет начальных скоростей частиц.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
12	Пирсова оптика. Пирсова оптика. Изменение формы клиновидных и аксиально-симметричных пучков под воздействием собственного объемного заряда.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
13	Программные пакеты SIMION-7 и MathLab-5 Программные пакеты SIMION-7 и MathLab-5 и их использование при моделировании свойств ионнооптических систем. Возможности и ограничения программных пакетов. Расчет полей с помощью программных пакетов.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
14	Создание компьютерных моделей ионно-оптических систем. Создание компьютерных моделей ионно-оптических систем. Аксиально-симметричные электродные системы. Электродные системы с планарной геометрией. Компьютерные модели сеточных систем с «идеальными» и реальными сеточными электродами.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
15	Сложные электродные объекты. Сложные электродные объекты. Комбинирование электродных систем из объектов с простыми формами. Использование объектов с разными видами симметрии при построении объектов сложной формы.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
16	Моделирование траекторий заряженных частиц в ионно-оптических системах. Моделирование траекторий заряженных частиц в ионно-оптических системах. Выбор параметров моделирования. Моделирование работы времяпролетных анализаторов. Обработка результатов моделирования времяпролетных анализаторов.	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации

Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1	Введение. Введение. Предмет «Ионная оптика». Ионно-оптические системы и их свойства. Фокусировка и разделение ионов, абберрационные свойства ионно-оптических систем. Электростатика и магнитостатика. Теоремы Остроградского-Гаусса и Остроградского-Стокса. Поляризация диэлектриков. Теорема Гаусса. Принцип суперпозиции при расчетах потенциалов. Диэлектрики и проводники в электрическом поле. Энергия электрического поля.
2	Электростатические поля простых геометрических форм. Электростатические поля простых геометрических форм. Электрические поля: точечного заряда, плоского конденсатора, длинной заряженной оси, цилиндрического конденсатора, сферического конденсатора, диполя, двух равных одноименных точечных зарядов.
3	Электрические поля цилиндрического конденсатора Электрические поля цилиндрического конденсатора с двухслойным диэлектриком, параллельных тонких проводников, параллельных проводящих цилиндров, проводящих цилиндров во внешнем поле, кольцевого заряда, заряженного диска, точечного заряда вблизи проводящей поверхности.
4	Векторный и скалярный потенциалы магнитного поля. Векторный и скалярный потенциалы магнитного поля. Магнитное поле на границе двух сред. Магнитное экранирование. Расчет магнитного поля в зазоре магнита. Магнитные поля простых геометрических форм. Магнитное поле бесконечно длинного прямого цилиндрического проводника с током (внутри и снаружи).
5	Магнитное поле двухпроводной линии в цилиндрическом ферромагнитном экране. Магнитное поле двухпроводной линии в цилиндрическом ферромагнитном экране. Поле кругового тока, поле соленоида. Поле цилиндрического электромагнита с воздушным зазором. Поле в зазоре клиновидной формы. Поле в зазоре двух конусов.
6	Краевые поля и их коррекция. Краевые поля и их коррекция. Краевые поля электростатических систем: плоского конденсатора, цилиндрического конденсатора. Линзовые эффекты сеточных электродов. Краевое поле плоскопараллельного магнитного зазора. Влияние краевых полей на фокусировку заряженных частиц.
7	Движение заряженных частиц в полях. Движение заряженных частиц в полях. Общие закономерности движения заряженных частиц в электростатических и магнитных полях. Преломление траекторий. Движение заряженных частиц в однородном электрическом поле. Движение в полях $r-1$, $r-2$.
8	Фокусирующие свойства электрических полей. Фокусирующие свойства электрических полей. Основное уравнение электронной оптики для аксиально-симметричных полей. Фокусировка в аксиально-симметричном поле. Тонкая линза. Практическое использование фокусировки заряженных частиц.
9	Электронный умножитель и электронный осциллограф Электронный умножитель и электронный осциллограф. Электростатические линзы. Примеры электростатических линз. Абберрации электростатических линз. Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле. Движение заряженных частиц в

	радиальном магнитном поле.
10	Фокусировка в поперечных и продольных магнитных полях. Фокусировка в поперечных и продольных магнитных полях. Короткая магнитная линза. Дисперсия по массам в магнитных полях. Фокусировка в секторных полях. Аберрации, идеальная фокусировка.
11	Влияние объемного заряда электронных и ионных пучков. Влияние объемного заряда электронных и ионных пучков. Движение заряженных частиц с учетом влияния объемного заряда. Формирование пучков заряженных частиц. Закон "трех/вторых". Учет начальных скоростей частиц.
12	Пирсова оптика. Пирсова оптика. Изменение формы клиновидных и аксиально-симметричных пучков под воздействием собственного объемного заряда.
13	Программные пакеты SIMION-7 и MathLab-5 Программные пакеты SIMION-7 и MathLab-5 и их использование при моделировании свойств ионнооптических систем. Возможности и ограничения программных пакетов. Расчет полей с помощью программных пакетов.
14	Создание компьютерных моделей ионно-оптических систем. Создание компьютерных моделей ионно-оптических систем. Аксиально-симметричные электродные системы. Электродные системы с планарной геометрией. Компьютерные модели сеточных систем с «идеальными» и реальными сеточными электродами.
15	Сложные электродные объекты. Сложные электродные объекты. Комбинирование электродных систем из объектов с простыми формами. Использование объектов с разными видами симметрии при построении объектов сложной формы.
16	Моделирование траекторий заряженных частиц в ионно-оптических системах. Моделирование траекторий заряженных частиц в ионно-оптических системах. Выбор параметров моделирования. Моделирование работы времяпролетных анализаторов. Обработка результатов моделирования времяпролетных анализаторов.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (компьютерные практикумы, разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) а также, проведение занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	3, УО-8, УО-16
	У-ПК-1	3, УО-8, УО-16

	В-ПК-1	3, УО-8, УО-16
--	--------	----------------

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64			
ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«не зачтено»	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ С23 Сборник задач по физической электронике и физике плазмы : учебное пособие для вузов, Фетисов И.К. [и др.], Москва: МИФИ, 2008
2. 543 С56 Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, Фролов А.С. [и др.], Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.38 В14 Вакуумная электроника Ч.1 , , : МГТУ, 2008
2. 537 Э17 Физические принципы электронной микроскопии. Введение в просвечивающую, растровую и аналитическую электронную микроскопию : , Эгертон Р.Ф., Москва: Техносфера, 2010

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Данный курс предназначен для студентов бакалавриата. Для успешного обучения по данной дисциплине студент должен знать: основные понятия общей и статистической физики, а также знать основы математического, векторного и тензорного анализа. Курс разбит на 2 раздела.

Текущий контроль представлен следующим видом аттестации:

– Устный опрос.

На выбор преподавателя студенту выдается 2 вопроса из перечисленного ниже списка вопросов. Время на подготовку – не более 40 минут. В рамках предложенных тем вопросов, преподаватель может задавать обобщающие вопросы, охватывающие несколько тем, или конкретные задачи-проблемы группе (два и более) студентов с целью оценить работу студентов в коллективе, а так же роль и активность отдельных студентов.

Методика проведения оценивания студентов на рубежном контроле основывается на Устном опросе. В рамках данной методики, оценка в баллах выставляется студенту на основании результатов Текущего контроля отдельно для первой половины семестра и отдельно для второй. Успешное прохождение студентом рубежного контроля отвечает диапазону 15-25 баллов по итогам каждого УО.

Форма реализации промежуточного контроля - зачет. К зачету допускаются студенты, имеющие по итогам и в сумме не менее 30 баллов. Максимальная оценка на зачете составляет 50 баллов.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Необходимо дать возможность студентам усвоить сущность дисциплины, заключающуюся в освоении принципов построения ионно-оптических систем масс-спектральных приборов и установок, а также оптимизации их ионно-оптических свойств. Объяснить основные компоненты и этапы, на которые следует обратить особое внимание, при создании конструкций ползающих систем ионных и электронных приборов. Кроме этого, важно четко показать студентам на практическом примере основные навыки для получения оптимальных ионно-оптических характеристик.

Автор(ы):

Сысоев Александр Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор

Рецензент(ы):

Иванов В.П.