

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОННЫХ ПУЧКОВ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
2	2	72	15	15	0		42	0	3
Итого	2	72	15	15	0	0	42	0	

## АННОТАЦИЯ

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 и получение навыков расчета движения заряженных частиц в полях; освоение принципов теоретического моделирования ионно-оптических систем.

### 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 и 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 и инженерно-внедренческой работы магистра.

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			
Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям)	Природные и социальные явления и процессы	ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать,	З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического

<p>темы (проекта) в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований, построение физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений в рамках предметной области по профилю специализации</p>		<p>исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств. ; У-ПК-1[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива; В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы.</p>
<p>Участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий</p>	<p>Природные и социальные явления и процессы</p>	<p>ПК-3 [1] - Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области в соответствии с целями программы</p>	<p>З-ПК-3[1] - Знать основные методы исследований, принципы работы приборов и установок в избранной предметной области ; У-ПК-3[1] - Уметь выбирать необходимые технические средства</p>

		<p>специализированной подготовки магистра</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>для проведения экспериментальных исследований в избранной предметной области, обрабатывать полученные экспериментальные результаты;</p> <p>В-ПК-3[1] - Владеть навыками работы с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области</p>
инновационный;			
<p>Проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач</p>	<p>Природные и социальные явления и процессы</p>	<p>ПК-5 [1] - Способен применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-5[1] - Знать физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования, принципы экспертизы продукции для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий ;</p> <p>У-ПК-5[1] - Уметь применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий;</p> <p>В-ПК-5[1] - Владеть навыками теоретического и экспериментального исследования,</p>

			математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий
Участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий	Модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса	ПК-5.3 [1] - Способен применять аналитические и численные методы при решении научных и производственных задач в области математического моделирования в физике кинетических явлений  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.075, 24.078	3-ПК-5.3[1] - Знать аналитические и численные методы решения научных и производственных задач в области математического моделирования в физике кинетических явлений; У-ПК-5.3[1] - Уметь применять аналитические и численные методы при решении научных и производственных задач в области математического моделирования в физике кинетических явлений; В-ПК-5.3[1] - Владеть аналитическими и численными методами решения научных и производственных задач в области математического моделирования в физике

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	2 Семестр						
1	Раздел 1	1-8	8/8/0		25	Зд-8	3-ПК-

							1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5, 3-ПК- 5.3, У- ПК- 5.3, В- ПК- 5.3
2	Раздел 2	9-15	7/7/0		25	3д-15	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5, 3-ПК- 5.3, У- ПК- 5.3, В- ПК- 5.3
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/15/0		50		

	<b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b>				50	3	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-5.3, У-ПК-5.3, В-ПК-5.3
--	---	--	--	--	----	---	---

\* – 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:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
Зд	Задание (задача)
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

<b>Недели</b>	<b>Темы занятий / Содержание</b>	<b>Лек., час.</b>	<b>Пр./сем., час.</b>	<b>Лаб., час.</b>
	<i>2 Семестр</i>	15	15	0
<b>1-8</b>	<b>Раздел 1</b>	8	8	0
1 - 2	<b>Способы задания электрических и магнитных полей</b> Электрические поля: плоского конденсатора, цилиндрического конденсатора, сферического конденсатора, Магнитные поля простых геометрических форм. Расчет магнитного поля в зазоре магнита. Краевые поля и их коррекция. Краевые поля электростатических систем: плоского конденсатора, цилиндрического	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	конденсатора. Линзовые эффекты сеточных электродов. Краевое поле плоскопараллельного магнитного зазора. Влияние краевых полей на фокусировку заряженных частиц			
3 - 4	<b>Ионно-оптические системы и их свойства</b> Ионно-оптические системы и их свойства. Фокусировка и разделение ионов, абберационные свойства ионно-оптических систем. Электростатика и магнитостатика. Теоремы Остроградского-Гаусса и Остроградского-Стокса. Теорема Гаусса. Принцип суперпозиции при расчетах потенциалов.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Движение заряженных частиц в полях</b> Движение заряженных частиц в полях. Общие закономерности движения заряженных частиц в электростатических и магнитных полях. Преломление траекторий.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Фокусирующие свойства электрических полей</b> 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		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	<b>Раздел 2</b>	7	7	0
9 - 10	<b>Электростатические линзы</b> Электростатические линзы. Примеры электростатических линз. Абберации электростатических линз. Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле. Движение заряженных частиц в радиальном магнитном поле	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	<b>Фокусировка в поперечных и продольных магнитных полях</b> Фокусировка в поперечных и продольных магнитных полях. Короткая магнитная линза. Дисперсия по массам в магнитных полях. Фокусировка в секторных полях. Абберации, идеальная фокусировка	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	<b>Влияние объемного заряда электронных и ионных пучков</b> Влияние объемного заряда электронных и ионных пучков. Движение заряженных частиц с учетом влияния объемного заряда. Формирование пучков заряженных частиц	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Создание компьютерных моделей ионно-оптических систем</b> 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		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
--------------------	----------------------------



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 ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 2	<b>Тема 1</b> Способы задания электрических и магнитных полей
3 - 4	<b>Тема 2</b> Ионно-оптические системы и их свойства
5 - 6	<b>Тема 3</b> Движение заряженных частиц в полях
7 - 8	<b>Тема 4</b> Фокусирующие свойства электрических полей
9 - 10	<b>Тема 5</b> Электростатические линзы
11 - 12	<b>Тема 6</b> Фокусировка в поперечных и продольных магнитных полях
13 - 14	<b>Тема 7</b> Влияние объемного заряда электронных и ионных пучков
15 - 16	<b>Тема 8</b> Создание компьютерных моделей ионно-оптических систем

## 5. 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.

## 6. 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	З, Зд-8, Зд-15
	У-ПК-1	З, Зд-8, Зд-15
	В-ПК-1	З, Зд-8, Зд-15
ПК-3	З-ПК-3	З, Зд-8, Зд-15
	У-ПК-3	З, Зд-8, Зд-15
	В-ПК-3	З, Зд-8, Зд-15
ПК-5	З-ПК-5	З, Зд-8, Зд-15
	У-ПК-5	З, Зд-8, Зд-15
	В-ПК-5	З, Зд-8, Зд-15
ПК-5.3	З-ПК-5.3	З, Зд-8, Зд-15
	У-ПК-5.3	З, Зд-8, Зд-15
	В-ПК-5.3	З, Зд-8, Зд-15

### 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-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает

			существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	--	--	---

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. ЭИ Г 69 Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ С 79 Обработка данных и компьютерное моделирование : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2020
3. ЭИ С56 Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, А. С. Фролов [и др.], Москва: МИФИ, 2008
4. 533 Ж42 Процессы переноса в многокомпонентной плазме : Монография, В. М. Жданов, Москва: Физматлит, 2009
5. ЭИ О-75 Основы физических процессов в плазме и плазменных установках : учебное пособие для вузов, С. К. Жданов [и др.], Москва: МИФИ, 2007

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

Специальное программное обеспечение не требуется

### **LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

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

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

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

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.

Аттестация разделов представлена следующими формами контроля:

– Задание

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.

Успешное прохождение студентом аттестации отвечает диапазону 15-25 баллов по итогам каждой аттестации.

При подготовке к текущему контролю и зачету рекомендуется пользоваться следующей литературой:

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1 543 Моисеева Т.Г.;Сысоев А.А.;Фролов А.С.;Сысоева А.А.

С56 Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, А. С. Фролов [и др.], Москва: МИФИ, 2008

2 ЭИ Цветков И.В.;Прохорович Д.Е.;Фетисов И.К.;Ильгисонис В.И.;Курнаев В.А.;Сковорода А.А.;Кирко Д.Л.

С23 Сборник задач по физической электронике и физике плазмы : учебное пособие для вузов, В. И. Ильгисонис [и др.], Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1 621.38 В14 Вакуумная электроника Ч.1 МГТУ, 2008

2 537 Эгертон Р.Ф. Э17 Физические принципы электронной микроскопии. Введение в просвечивающую, растровую и аналитическую электронную микроскопию : , Москва: Техносфера, 2010

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

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.

Аттестация разделов представлена следующими формами контроля:

– Задание

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.

Успешное прохождение студентом аттестации отвечает диапазону 15-25 баллов по итогам каждой аттестации.

При подготовке к текущему контролю и зачету рекомендуется пользоваться следующей литературой:

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1 543 Моисеева Т.Г.;Сысоев А.А.;Фролов А.С.;Сысоева А.А.

С56 Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, А. С. Фролов [и др.], Москва: МИФИ, 2008

2 ЭИ Цветков И.В.;Прохорович Д.Е.;Фетисов И.К.;Ильгисонис В.И.;Курнаев В.А.;Сковорода А.А.;Кирко Д.Л.

С23 Сборник задач по физической электронике и физике плазмы : учебное пособие для вузов, В. И. Ильгисонис [и др.], Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1 621.38 В14 Вакуумная электроника Ч.1 МГТУ, 2008

2 537 Эгертон Р.Ф. Э17 Физические принципы электронной микроскопии. Введение в просвечивающую, растровую и аналитическую электронную микроскопию : , Москва: Техносфера, 2010

Автор(ы):

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

Рецензент(ы):

Иванов В.П.