

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ  
КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА**

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/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
7	3	108	32	32	0	8	0	Э
8	3	108	12	36	0	24	0	Э
Итого	6	216	44	68	0	0	32	0

## АННОТАЦИЯ

В курсе изложены основы физики неравновесных явлений в молекулярных газах. Рассмотрены закономерности и механизмы явлений переноса в пространственно неоднородном разреженном газе и в смеси газов, а также неравновесные явления. Наряду с кинетикой газов рассмотрены вопросы кинетики конденсированного состояния, включая динамику фазовых переходов.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины: «Физическая кинетика» являются ознакомление студентов с кинетической теорией неравновесных явлений в газах, изучение методов решения уравнения Больцмана, методов расчета процессов переноса в разреженных и плотных газах. ознакомление с кинетической теорией многофазных систем, теории переноса в металлах и диэлектриках, изучение методов решения уравнения Фоккера-Планка, изучение динамики фазовых переходов.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Кинетическая теория неравновесных явлений и процессов в газах занимает важное место в освоение практических методик расчета прикладных задач, возникающих в научно исследовательской и инженерно – внедренческой работе магистра.

Наряду со знаниями основ теории, магистранты получают практические навыки решения уравнения Больцмана и получения из него уравнений, определяющих течения разреженных и плотных газов в различных условиях.

Кинетическая теория многофазных систем занимает важное место в освоение практических методик расчета прикладных задач, возникающих в научно исследовательской и инженерно – внедренческой работе магистра.

Наряду со знаниями основ теории, студенты получают практические навыки решения уравнения Фоккера-Планка, расчета коэффициентов переноса в металлах и диэлектриках.

Уровень сложности теоретических и практических заданий полностью соответствует требованиям государственного образовательного стандарта по курсам «Дифференциальная геометрия», «Уравнения математической физики», цикла курсов «Общая физика», курсов «Теоретическая механика», «Статистическая физика», «Теория упругости», «Физическая кинетика», «Экспериментальная физика твердого тела», «Техника физического эксперимента».

### 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			
<p>Применение эффективных методов исследования физико-технических объектов, процессов и материалов. Проведение стандартных и сертификационных испытаний технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики.</p>	<p>Наноразмерные системы, атомно-молекулярные смеси, масс-спектрометрия и спектрометрия ионной подвижности, композиционные материалы.</p>	<p>ПК-1 [1] - Способен применять эффективные методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, 40.167</p>	<p>3-ПК-1[1] - Знать эффективные методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, современные аналитические 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</p>
<p>Применение эффективных методов исследования физико-технических объектов, процессов и материалов.</p>	<p>Наноразмерные системы, атомно-молекулярные смеси, масс-спектрометрия и спектрометрия</p>	<p>ПК-2.1 [1] - Способен участвовать в проведении теоретических и аналитических исследований в</p>	<p>3-ПК-2.1[1] - Знать физико-теоретические концепции, аналитические методы, методы обработки</p>

<p>Проведение стандартных и сертификационных испытаний технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики.</p>	<p>ионной подвижности, композиционные материалы.</p>	<p>предметной области, в построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, 40.044, 40.104, 40.167</p>	<p>экспериментальных данных в области физики наноразмерных и неравновесных систем, масс-спектрометрии и спектрометрии ионной подвижности, композиционных материалов.;</p> <p>У-ПК-2.1[1] - Уметь применять физико-теоретические концепции, аналитические методы, методы обработки экспериментальных данных в области физики наноразмерных и неравновесных систем, масс-спектрометрии и спектрометрии ионной подвижности, композиционных материалов.;</p> <p>В-ПК-2.1[1] - Владеть аналитическими методами, методами обработки экспериментальных данных в области физики наноразмерных и неравновесных систем, масс-спектрометрии и спектрометрии ионной подвижности, композиционных материалов.</p>
---	--	---	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для

	<p>ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)</p>	<p>формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)</p>	<p>Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития</p>

	<p>лженаучного толка (В19)</p>	<p>исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul>
--	--------------------------------	--

## 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	Раздел 1	1-8	16/16/0		25	Зд-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-

							2.1, У- ПК- 2.1, В- ПК- 2.1
2	Раздел 2	9-16	16/16/0		25	БДЗ-16	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2.1, У- ПК- 2.1, В- ПК- 2.1
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	Э	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2.1, У- ПК- 2.1, В- ПК- 2.1
	<i>8 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/24/0		25	Зд-8	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2.1, У- ПК- 2.1, В- ПК- 2.1
2	Часть 2	9-12	4/12/0		25	БДЗ-12	3-ПК-

							1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2.1, У- ПК- 2.1, В- ПК- 2.1
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		12/36/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	Э	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2.1, У- ПК- 2.1, В- ПК- 2.1

\* – 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
БДЗ	Большое домашнее задание
Зд	Задание (задача)
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	32	0
<b>1-8</b>	<b>Раздел 1</b>	16	16	0
1	<b>Неравновесные явления</b> Неравновесные явления. Пространственные и временные неоднородности макропараметров. Связь микро- и макропроцессов. Иерархия характерных времен и	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0



	характерных геометрических масштабов процессов.			
2	<b>Движение системы N классических частиц</b> Движение системы N классических частиц. Условие применимости квазиклассического описания. n-частичные функции распределения. Операторы макровеличин. Газовый параметр. Определение макровеличин через одноступенчатую функцию распределения. Кинетическое уравнение и уравнение гидродинамики.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Одночастичная функция распределения разреженного газа</b> Одночастичная функция распределения разреженного газа с внутренними степенями свободы. Баланс частиц в микроскопически малом объеме. Уравнение Больцмана. Столкновительный интеграл. Область применимости уравнения Больцмана.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Свойства симметрии вероятности парных столкновений молекул</b> Свойства симметрии вероятности парных столкновений молекул и столкновительного интеграла. Равновесное состояние газа. Распределения Максвелла. Локальное равновесие.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Энтропия неравновесного газа.</b> Энтропия неравновесного газа. Уравнение переноса энтропии. Производство энтропии и поток энтропии. H-теорема.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Уравнения переноса массы, импульса и энергии.</b> Уравнения переноса массы, импульса и энергии. t-приближение для столкновительного интеграла в уравнении Больцмана. Оценка времени релаксации.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Граничные условия для уравнения Больцмана.</b> Граничные условия для уравнения Больцмана. Вероятность столкновений молекул с поверхностью твердого тела, свойства вероятности столкновений. Зеркально-диффузионная модель граничного условия для функции распределения.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Этапы эволюции неравновесного газа.</b> Этапы эволюции неравновесного газа. Гидродинамический этап эволюции, малый параметр неравновесности. Метод Чепмена-Энскога. Линеаризованное кинетическое уравнение.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Раздел 2</b>	16	16	0
9	<b>Свойства линеаризованного оператора столкновений.</b> Свойства линеаризованного оператора столкновений. Время релаксации возмещения функции распределения. Обоснование t-приближения.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Перенос энергии в газе.</b> Перенос энергии в газе. Поток тепла, коэффициент теплопроводности. Время релаксации средней энергии молекул. Перенос импульса, тензор потока импульса, коэффициент вязкости. Вторая вязкость. Уравнения гидродинамики, область их применимости.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

11	<b>Метод Греда.</b> Метод Греда. Уравнения переноса потока импульса и потока энергии в $t$ -приближении. Тринадцатимоментное приближение. Частотная зависимость коэффициентов вязкости и теплопроводности.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
0	0	0		
12	<b>Кинетические уравнения и уравнения переноса для двухкомпонентной смеси газов</b> Кинетические уравнения и уравнения переноса для двухкомпонентной смеси газов. Уравнение диффузии.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
0	0	0		
13	<b>Диффузионный поток в движущемся и неподвижном газе.</b> Диффузионный поток в движущемся и неподвижном газе. Причины диффузии. Коэффициенты диффузии. Термодиффузия.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
0	0	0		
14	<b>Бародиффузия, разделение газов в центробежном поле.</b> Бародиффузия, разделение газов в центробежном поле. Эффекты разделения в газодинамическом сопле.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
0	0	0		
15	<b>Процессы переноса в разреженном газе.</b> Процессы переноса в разреженном газе. Число Кнудсена. Перенос энергии в сильно разреженном газе. Коэффициент аккомодации энергии. Поток тепла и эффективный коэффициент теплопроводности	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
0	0	0		
16	<b>Движение разреженного газа в канале при произвольном числе Кнудсена.</b> Движение разреженного газа в канале при произвольном числе Кнудсена. Зависимость расхода газа от числа Кнудсена.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
0	0	0		
	<i>8 Семестр</i>	12	36	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	24	0
1	<b>Колебания кристаллической решетки.</b> Колебания кристаллической решетки. Уравнение движения атомов кристалла. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Условие Борна-Кармана. Плотность состояний. Фононы, равновесное распределение. Теплоемкость. Модель Дебая.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
2	<b>Неравновесная функция распределения фононов.</b> Неравновесная функция распределения фононов. Кинетическое уравнение для фононов. $t$ -приближение. Уравнение переноса потока энергии. Поток энергии, тензор теплопроводности, коэффициент теплопроводности.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
3	<b>Ангармонизм движения атомов кристалла</b> Ангармонизм движения атомов кристалла. Взаимодействие фононов. Парадокс Пайлерса. Процессы с перебросом. Зависимость времени релаксации и коэффициента теплопроводности диэлектриков от температуры.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
4	<b>Явление переноса в металлах</b> Явление переноса в металлах. Модель электронного газа. Равновесное распределение. Поверхность Ферми. Кинетическое уравнение для электронов. $t$ -приближение. Уравнение переноса электрического тока. Закон Ома, эффект Холла, термо-ЭДС. Неравновесная функция распределения электронов при протекании тока.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
0	0	0		

	Теплопроводность металла.			
5	<b>Вычисление коэффициентов переноса металлов.</b> Вычисление коэффициентов переноса металлов. Плотность состояний. Коэффициенты теплопроводности, электропроводности, Холла, термоэлектрический коэффициент. Закон Видемана-Франца.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Зависимость коэффициентов переноса в металлах от температуры</b> Зависимость коэффициентов переноса в металлах от температуры. Процессы поглощения и излучения фонона. Времена релаксации тока и потока энергии. Случаи высокой и низкой температуры.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Уравнение Фоккера-Планка</b> Уравнение Фоккера-Планка. Релаксация по импульсам примеси тяжелого газа в легком газе. Столкновительный интеграл Фоккера-Планка. Дрейф частиц и диффузия частиц в пространстве импульсов. Уравнение Лонжевена, коэффициент трения, случайная сила, коррелятор случайной силы. Связь уравнения Лонжевена с уравнением Фоккера-Планка.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Динамика адсорбции частиц на поверхности твердого тела</b> Динамика адсорбции частиц на поверхности твердого тела. Характерные времена задачи. Вероятность захвата частиц поверхностью. Диффузия частиц на поверхности. Модель динамики взаимодействия частиц с поверхностью. Иерархия характерных времен.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-12	<b>Часть 2</b>	4	12	0
9	<b>Случай быстрой релаксации частиц в потенциальном поле</b> Случай быстрой релаксации частиц в потенциальном поле. Уравнение Смолуховского. Вычисление вероятности выхода частицы из потенциальной ямы в случае быстрой релаксации.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Случай медленной релаксации частиц в потенциальном поле</b> Случай медленной релаксации частиц в потенциальном поле. Кинетическое уравнение. Вероятность выхода частицы из потенциальной ямы в случае медленной релаксации. Вероятность десорбции частицы при произвольной релаксации.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Динамика фазовых переходов I рода.</b> Динамика фазовых переходов I рода. Термодинамическая теория образования зародышей. Критический размер зародыша. Функция распределения зародышей по размерам. Кинетическое уравнение. Скорость роста зародышей и диффузия в пространстве размеров.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Образование новой фазы в пересыщенном растворе.</b> Образование новой фазы в пересыщенном растворе. Скорость зародышеобразования. Явление коалесценции.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0

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 ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1 - 2	<b>Характерные параметры газов.</b> Характерные параметры газов. Моменты одночастичной функции распределения
3 - 5	<b>Локально-равновесная функция распределения.</b> Локально-равновесная функция распределения. Распределение Максвелла.
6 - 9	<b>Уравнение Больцмана.</b> Уравнение Больцмана. Столкновительный интеграл. Процессы релаксации в неравновесном газе.
10 - 13	<b>Уравнения переноса массы, импульса и энергии в неоднородном газе.</b> Уравнения переноса массы, импульса и энергии в неоднородном газе. Оценка коэффициентов переноса
14 - 16	<b>Зеркально-диффузная модель.</b> Зеркально-диффузная модель. Коэффициент аккомодации. Разреженный газ. Уравнения переноса и коэффициенты переноса для разреженных газов.
	<i>8 Семестр</i>
1 - 2	<b>Колебания кристаллической решетки, фононы. Плотность состояний. Кинетическое уравнение для фононов. Перенос энергии фононами.</b> Колебания кристаллической решетки, фононы. Плотность состояний. Кинетическое уравнение для фононов. Перенос энергии фононами.
3 - 4	<b>Электронный газ, распределение Ферми-Дирака.</b> Электронный газ, распределение Ферми-Дирака. Уравнение переноса энергии и заряда. Коэффициенты электропроводности и теплопроводности. Процессы релаксации в электронном газе.
5 - 6	<b>Уравнение Фоккера-Планка.</b> Уравнение Фоккера-Планка. Релаксация по импульсам в бинарных газах.
7 - 8	<b>Релаксация частиц в потенциальном поле.</b>

	Релаксация частиц в потенциальном поле. Случай быстрой и медленной релаксации.
9 - 10	<b>Взаимодействие газа с поверхностью.</b> Взаимодействие газа с поверхностью. Конденсация и испарение с поверхности. Динамика адсорбции. Процессы диффузии по поверхности. Коэффициенты диффузии.
11 - 12	<b>Фазовые переходы 1 рода.</b> Фазовые переходы 1 рода. Теория Фольмера-Вебера. Динамика образования новой фазы. Коалесценция.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс «Физическая кинетика» 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)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
ПК-1	З-ПК-1	Э, Зд-8, БДЗ-16	Э, Зд-8, БДЗ-12
	У-ПК-1	Э, Зд-8, БДЗ-16	Э, Зд-8, БДЗ-12
	В-ПК-1	Э, Зд-8, БДЗ-16	Э, Зд-8, БДЗ-12
ПК-2.1	З-ПК-2.1	Э, Зд-8, БДЗ-16	Э, Зд-8, БДЗ-12
	У-ПК-2.1	Э, Зд-8, БДЗ-16	Э, Зд-8, БДЗ-12
	В-ПК-2.1	Э, Зд-8, БДЗ-16	Э, Зд-8, БДЗ-12

## 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.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б82 Физическая кинетика атомных процессов в наноструктурах : учебное пособие для вузов, В. Д. Борман, В. Н. Тронин, В. И. Троян, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
2. 539.1 Б82 Физическая кинетика атомных процессов в наноструктурах : учебное пособие для вузов, В. Д. Борман, В. Н. Тронин, В. И. Троян, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53 Л22 Теоретическая физика Т.10 Физическая кинетика, , М.: Наука, 1979
2. 53 Л22 Теоретическая физика Т.10 Физическая кинетика, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский, Москва: Физматлит, 2007

### 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**

Для успешного обучения по данной дисциплине студент должен знать: основные понятия общей, статистической физики и гидрогазодинамики, а также знать основы математического, векторного и тензорного анализа. Курс разбит на 2 семестра по два раздела в каждом. Основные темы:

Уравнение Больцмана

Методы решения уравнения Больцмана

Течение и диффузия в газах

Явления переноса в сильно разреженных газах

Явления переноса в диэлектриках

Явления переноса в металлах

Случайные процессы. Уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка

Кинетика фазовых переходов.

Текущий контроль представлен следующим видом аттестации:

– Задание (8 неделя обучения на 7 и 8 семестрах).

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.

- Большое домашнее задание (16 неделя обучения на 7 семестре, 12 неделя обучения на 8 семестре)

Студенту после 8 недели выдается список задач по теме курса. Оценивается умение и владение навыками физических расчетов, логически четко и исчерпывающе отвечать на дополнительные вопросы.

Успешное прохождение студентом рубежного контроля отвечает диапазону 15-25 баллов по итогам каждого контроля.

Форма реализации промежуточного контроля в 7 и 8 семестрах - экзамен. К экзамену допускаются студенты, имеющие по итогам в сумме не менее 30 баллов. Максимальная оценка на экзамене составляет 50 баллов.

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

1. Физическая кинетика атомных процессов в наноструктурах : учебное пособие для вузов, В. Д. Борман, В. Н. Тронин, В. И. Троян, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
2. Теоретическая физика Т.10 Физическая кинетика, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский, Москва: Физматлит, 2007

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

Для успешного обучения по данной дисциплине студент должен знать: основные понятия общей, статистической физики и гидрогазодинамики, а также знать основы математического, векторного и тензорного анализа. Курс разбит на 2 семестра по два раздела в каждом. Основные темы:

Уравнение Больцмана

Методы решения уравнения Больцмана

Течение и диффузия в газах

Явления переноса в сильно разреженных газах

Явления переноса в диэлектриках

Явления переноса в металлах

Случайные процессы. Уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка

Кинетика фазовых переходов.

Текущий контроль представлен следующим видом аттестации:

– Задание (8 неделя обучения на 7 и 8 семестрах).

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.

- Большое домашнее задание (16 неделя обучения на 7 семестре, 12 неделя обучения на 8 семестре)

Студенту после 8 недели выдается список задач по теме курса. Оценивается умение и владение навыками физических расчетов, логически четко и исчерпывающе отвечать на дополнительные вопросы.

Успешное прохождение студентом рубежного контроля отвечает диапазону 15-25 баллов по итогам каждого контроля.

Форма реализации промежуточного контроля в 7 и 8 семестрах - экзамен. К экзамену допускаются студенты, имеющие по итогам в сумме не менее 30 баллов. Максимальная оценка на экзамене составляет 50 баллов.

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



1. Физическая кинетика атомных процессов в наноструктурах : учебное пособие для вузов, В. Д. Борман, В. Н. Тронин, В. И. Троян, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

2. Теоретическая физика Т.10 Физическая кинетика, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский, Москва: Физматлит, 2007

Автор(ы):

Тронин Иван Владимирович, к.ф.-м.н.

Борман Владимир Дмитриевич, д.ф.-м.н., профессор

Рецензент(ы):

Тронин В.Н.