

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**

**ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА АТОМНЫХ ПРОЦЕССОВ В НАНОСТРУКТУРАХ**

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
1	3	108	24	24	0	44	16	З
2	4	144	15	30	0	48	15	Э
Итого	7	252	39	54	0	40	92	

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина посвящена описанию закономерностей и механизмов атомных процессов в наноструктурах. Ключевыми являются процессы образования наночастиц, включая углеродные нанотрубки и фуллерены, на поверхности, в объеме материалов, в каналах и порах, процессы формирования пленок нанометровой толщины, упорядоченных наноструктур из наночастиц. В курсе рассматриваются примеры неравновесных процессов, на которых демонстрируется реализация различных сценариев формирования наноструктур с различными свойствами и показываются возможности современных экспериментальных методов исследования процессов в наносистемах. Курс отражает современное состояние представлений о кинетике неравновесных процессов.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются изучение современных проблем физической кинетики и неравновесной статистической механики, ознакомление с применением современных методов теоретической физики и физики неравновесных процессов для анализа разнообразных систем, состоящих из большого числа одинаковых объектов.

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

Физическая кинетика занимает важное место в освоении теоретических и практических методик расчета задач, возникающих в научно исследовательской и инженерно – внедренческой работе инженера-физика.

Наряду со знаниями основ современной статистической физики и физической кинетики, студенты получают практические навыки: расчета сложных процессов, постановки физических экспериментов в молекулярной физике.

Уровень сложности теоретических и практических заданий полностью соответствует требованиям государственного образовательного стандарта.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1 [1] – Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий	З-УК-1 [1] – Знать: методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации У-УК-1 [1] – Уметь: применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации В-УК-1 [1] – Владеть: методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий

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>Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) 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>Природные и социальные явления и процессы</p>	<p>ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, 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>З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического 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.</p> <p>;</p> <p>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;</p> <p>В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических</p>

			моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы.
Выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты	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-2 [1] - Способен критически оценивать применяемые методики и методы исследования  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-2[1] - Знать методики оценки и выбора методов исследования.; У-ПК-2[1] - Уметь критически оценивать применяемые методики и методы исследования; В-ПК-2[1] - Владеть навыками оценки методов исследования по выбранным критериям.
производственно-технологический			
Квалифицированное использование исходных данных, материалов, оборудования, методов математического и физического моделирования производственно-технологических процессов и характеристик наукоемких технических устройств и объектов, включая использование алгоритмов и программ расчета их параметров	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-5.1 [1] - Способен творчески использовать полученные знания в области физики кинетических явлений, применять, анализировать и развивать методы математической и теоретической физики, математического моделирования и теоретического исследования  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.044	З-ПК-5.1[1] - Знать фундаментальные и прикладные основы физики кинетических явлений, методы математической и теоретической физики, математического моделирования и теоретического исследования; У-ПК-5.1[1] - Уметь творчески использовать знания в области физики кинетических явлений, применять, анализировать и развивать методы математической и теоретической

			физики, математического моделирования и теоретического исследования; В-ПК-5.1[1] - Владеть методами математической и теоретической физики, математического моделирования и теоретического исследования
--	--	--	---

#### 4. 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>1 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	12/12/0		25	Зд-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-5.1, У-ПК-5.1, В-ПК-5.1, 3-УК-1, У-УК-1, В-

							УК-1
2	Раздел 2	9-16	12/12/0		25	3д-16	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-5.1, У-ПК-5.1, В-ПК-5.1, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		24/24/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b>				50	3	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-5.1, У-ПК-5.1, В-ПК-5.1, 3-УК-1, У-УК-1,

							В- УК-1
	<i>2 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	8/15/0		25	Зд-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-5.1, У-ПК-5.1, В-ПК-5.1, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1
2	Раздел 2	9-15	7/15/0		25	Зд-15	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-5.1, У-ПК-5.1, В-ПК-5.1, 3-УК-1, У-

							УК-1, В- УК-1
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/30/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-5.1, У-ПК-5.1, В-ПК-5.1, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-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
Зд	Задание (задача)
З	Зачет
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	24	24	0
<b>1-8</b>	<b>Раздел 1</b>	12	12	0
1 - 3	<b>Фракталы</b> Определения и свойства. Связь с теорией множеств и	Всего аудиторных часов		
		5	4	0

	теорией вероятности. Множество Мандельброта и множество Жюлиа.	Онлайн		
		0	0	0
4 - 8	<b>Кинетика образования нанокластеров металла при импульсном лазерном осаждении</b> Методика исследования нанокластеров на поверхности. Фрактальные нанокластеры и их ансамбли. Плавление нанокластеров золота, сформированных импульсным лазерным осаждением на различных подложках.	Всего аудиторных часов		
		7	8	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Раздел 2</b>	12	12	0
9 - 12	<b>Транспорт атомных частиц и нанокластеры в субнанометровых каналах цеолитов</b> Методика исследования атомного транспорта в цеолитовых мембранах. Адсорбция в субнанометровых каналах цеолитов. Атомный транспорт и разделение двухкомпонентных смесей в каналах цеолитов. Подвижность частиц в субнанометровых каналах.	Всего аудиторных часов		
		6	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 16	<b>Заполнение несмачивающими жидкостями неупорядоченных нанопористых сред</b> Заполнение нанопористой среды при медленном росте давления. Динамика заполнения при высоких скоростях сжатия. Осцилляции заполнения.	Всего аудиторных часов		
		6	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<i>2 Семестр</i>	15	30	0
1-8	<b>Раздел 1</b>	8	15	0
1 - 2	<b>Метод функционала плотности для атомных частиц в среде. Часть 1</b> Многочастичные функции распределения. Частичные функции распределения и корреляционные функции в равновесном состоянии. Выражения термодинамических величин системы атомных частиц с помощью частичных функций распределения.	Всего аудиторных часов		
		5	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Метод функционала плотности для атомных частиц в среде. Часть 2</b> Функции отклика. Интегро-дифференциальные уравнения для функции отклика. Уравнения для функции отклика неравновесной системы. Функции отклика системы невзаимодействующих частиц. Нормальные моды системы взаимодействующих атомных частиц в локальном приближении.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Метод функционала плотности для атомных частиц в среде. Часть 3</b> Фазовые переходы в системе взаимодействующих атомных частиц в среде. Модифицированный метод функционала плотности. Уравнение для параметра порядка в методе функционала плотности. Вакансионная неустойчивость приповерхностного слоя кристалла при окислении.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Кинетика образования нанокластеров металла при импульсном лазерном осаждении</b> Характерные времена распада термодинамически неустойчивого состояния адатомов на поверхности. Механизм образования кластеров при высоких скоростях	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0

	осаждения.			
<b>9-15</b>	<b>Раздел 2</b>	7	15	0
9 - 11	<b>Транспорт, подвижность и кластеры в одномерных наносистемах</b> Изотерма сорбции в 1D канале. Транспорт в 1D плотной системе. Эффективное взаимодействие и образование кластеров частиц в 1D канале. Влияние межмолекулярного взаимодействия на транспортные свойства 1D системы частиц. Подвижность частиц в 1D-канале. Формирование искусственных 1D-цепочек атомов металла с различным межатомным расстоянием.	Всего аудиторных часов		
		5	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 13	<b>Заполнение пористого тела несмачивающей жидкостью. Часть 1</b> Постановка задачи. Основные уравнения. Кинетика заполнения при медленном изменении давления.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
14 - 15	<b>Заполнение пористого тела несмачивающей жидкостью. Часть 2</b> Кинетика заполнения при медленном изменении давления. Осциллирующие режимы заполнения. Физическая картина заполнения пористого тела несмачивающей жидкостью. Обсуждение результатов.	Всего аудиторных часов		
		1	5	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>1 Семестр</i>
1 - 3	<b>Неравновесные явления в наноструктурах</b> Фракталы Проведение входящего контроля на основе ФОС
4 - 8	<b>Неравновесные явления в наноструктурах</b> Транспорт атомных частиц и нанокластеры в субнанометровых каналах цеолитов. Проведение Устного Опроса №1
9 - 12	<b>Неравновесные явления в наноструктурах</b> Транспорт атомных частиц и нанокластеры в субнанометровых каналах цеолитов
13 - 16	<b>Неравновесные явления в наноструктурах</b>

	Заполнение несмачивающими жидкостями неупорядоченных нанопористых сред Проведение Устного Опроса №2
	<i>2 Семестр</i>
1 - 6	<b>Методы описания кинетики атомных процессов в наноструктурах</b> Метод функционала плотности для атомных частиц в среде.
7 - 8	<b>Методы описания кинетики атомных процессов в наноструктурах</b> Кинетика образования нанокластеров металла при импульсном лазерном осаждении. Проведение Устного Опроса №3
9 - 11	<b>Методы описания кинетики атомных процессов в наноструктурах</b> Транспорт, подвижность и кластеры в одномерных наносистемах.
12 - 15	<b>Методы описания кинетики атомных процессов в наноструктурах</b> Заполнение пористого тела несмачивающей жидкостью. Проведение Устного Опроса №4

## 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)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
ПК-1	З-ПК-1	З, Зд-8, Зд-16	Э, Зд-8, Зд-15
	У-ПК-1	З, Зд-8, Зд-16	Э, Зд-8, Зд-15
	В-ПК-1	З, Зд-8, Зд-16	Э, Зд-8, Зд-15
ПК-2	З-ПК-2	З, Зд-8, Зд-16	Э, Зд-8, Зд-15
	У-ПК-2	З, Зд-8, Зд-16	Э, Зд-8, Зд-15
	В-ПК-2	З, Зд-8, Зд-16	Э, Зд-8, Зд-15
ПК-5.1	З-ПК-5.1	З, Зд-8, Зд-16	Э, Зд-8, Зд-15
	У-ПК-5.1	З, Зд-8, Зд-16	Э, Зд-8, Зд-15
	В-ПК-5.1	З, Зд-8, Зд-16	Э, Зд-8, Зд-15

УК-1	З-УК-1	3, Зд-8, Зд-16	Э, Зд-8, Зд-15
	У-УК-1	3, Зд-8, Зд-16	Э, Зд-8, Зд-15
	В-УК-1	3, Зд-8, Зд-16	Э, 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 П 24 Синергетика в физических процессах: самоорганизация физических систем : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ М91 Статистическая физика : , Москва: МИФИ, 2009
3. ЭИ С 28 Фрактальная геометрия. Преподавание, задачи, алгоритмы, синергетика, эстетика, приложения : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. 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

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53 Л22 Теоретическая физика Т.5 Статистическая физика. Ч.1, Москва: Физматлит, 2013
2. 536 С38 Синергетика : исследования и технологии, ред. : Г. Г. Малинецкий, Москва: Либроком, 2009

## 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 4 раздела, по два в каждом семестре, включающие в себя следующие темы: фракталы, кинетика образования нанокластеров металла при импульсном лазерном осаждении, транспорт атомных частиц и нанокластеры в субнанометровых каналах цеолитов, заполнение несмачивающими жидкостями неупорядоченных нанопористых сред, метод функционала плотности для атомных частиц в среде.

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 итоговому контролю рекомендуется пользоваться следующей литературой:

1. Теоретическая физика Т.5 Статистическая физика. Ч.1, Москва: Физматлит, 2013
2. Физическая кинетика атомных процессов в наноструктурах : учебное пособие для вузов, В. Д. Борман, В. Н. Тронин, В. И. Троян, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
3. Тайны разделения изотопов : , В. М. Жданов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
4. Синергетика : исследования и технологии, ред. : Г. Г. Малинецкий, Москва: Либроком, 2009

## **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 4 раздела, по два в каждом семестре, включающие в себя следующие темы: фракталы, кинетика образования нанокластеров металла при импульсном лазерном осаждении, транспорт атомных частиц и нанокластеры в субнанометровых каналах цеолитов, заполнение несмачивающими жидкостями неупорядоченных нанопористых сред, метод функционала плотности для атомных частиц в среде.

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 итоговому контролю рекомендуется пользоваться следующей литературой:

1. Теоретическая физика Т.5 Статистическая физика. Ч.1, Москва: Физматлит, 2013
2. Физическая кинетика атомных процессов в наноструктурах : учебное пособие для вузов, В. Д. Борман, В. Н. Тронин, В. И. Троян, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
3. Тайны разделения изотопов : , В. М. Жданов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
4. Синергетика : исследования и технологии, ред. : Г. Г. Малинецкий, Москва: Либроком, 2009

Автор(ы):

Тронин Иван Владимирович, к.ф.-м.н.