

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 НТС ИНТЭЛ

Протокол № 2

от 26.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА (ЧАСТЬ 1)**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.03.01 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.	KCP, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
7	3	108	32	32	0	17	0	Э
Итого	3	108	32	32	0	17	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 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. Наряду со знаниями основ теории, бакалавры получат 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.

Наряду со знаниями основ теории, студенты получат 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.

### **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	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции

		<b>опыта)</b> научно-исследовательский	
Участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации	Природные и социальные явления и процессы	<p>ПК-2 [1] - Способен выбирать и применять необходимое оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.044</p>	<p>З-ПК-2[1] - Знать современное оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области. ;</p> <p>У-ПК-2[1] - Уметь критически оценивать, выбирать оборудования, инструментов и методов исследований в избранной предметной области ;</p> <p>В-ПК-2[1] - Владеть навыками выбора и применения оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области.</p>
Участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации	Природные и социальные явления и процессы	<p>ПК-3.1 [1] - Способен применять физико-теоретические концепции, аналитические методы, методы обработки экспериментальных данных в области физики кинетических явлений</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, 40.044, 40.104</p>	<p>З-ПК-3.1[1] - Знать физико-теоретические концепции, аналитические методы, методы обработки экспериментальных данных в области физики кинетических явлений;</p> <p>У-ПК-3.1[1] - Уметь применять физико-теоретические концепции, аналитические методы, методы обработки экспериментальных данных в области физики кинетических явлений;</p> <p>В-ПК-3.1[1] - Владеть аналитическими методами, методами обработки экспериментальных данных в области</p>

			физики кинетических явлений
Участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации	Природные и социальные явления и процессы	<p>ПК-3.2 [1] - Способен применять методы математической и теоретической физики, методы математического и компьютерного моделирования процессов в области физики кинетических явлений</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, 40.044, 40.104</p>	<p>З-ПК-3.2[1] - Знать методы математической и теоретической физики, методы математического и компьютерного моделирования процессов в области физики кинетических явлений;</p> <p>У-ПК-3.2[1] - Уметь применять методы математической и теоретической физики, методы математического и компьютерного моделирования процессов в области физики кинетических явлений;</p> <p>В-ПК-3.2[1] - Владеть методами математической и теоретической физики, методами математического и компьютерного моделирования процессов в области физики кинетических явлений</p>

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и

		<p>внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок.</p> <p><b>2. Использование</b></p> <p>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>
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	<p><b>Использование</b></p> <p>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>
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	<p><b>1. Использование</b></p> <p>воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств</li> </ul>

		<p>студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований.</p> <p>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>
Профессиональное воспитание	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)</p>	<p>1. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального</p>

			модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
--	--	--	---

## 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	З-ПК- 3.2, У- ПК- 3.2, В- ПК- 3.2, З-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, З-ПК- 3.1, У-

							ПК-3.1, В-ПК-3.1
2	Раздел 2	9-16	16/16/0		25	БДЗ-16	3-ПК-3.2, У-ПК-3.2, В-ПК-3.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-ПК-3.2, У-ПК-3.2, В-ПК-3.2

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

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

<b>Недели</b>	<b>Темы занятий / Содержание</b>	<b>Лек., час.</b>	<b>Пр./сем., час.</b>	<b>Лаб., час.</b>
	<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 характерных геометрических масштабов процессов.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0
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 Онлайн 0	2 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 Онлайн 0	2 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 Онлайн 0	2 0	0
5	<b>Энтропия неравновесного газа.</b> Энтропия неравновесного газа. Уравнение переноса энтропии. Производство энтропии и поток энтропии. Н-теорема.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 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 Онлайн 0	2 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	
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	
<b>9-16</b>	<b>Раздел 2</b>	16	16	0	
9	<b>Свойства линеаризованного оператора столкновений.</b> Свойства линеаризованного оператора столкновений. Время релаксации возмущения функции распределения. Обоснование t-приближения.	Всего аудиторных часов			
		2	2	0	
Онлайн					
			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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	

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

<b>Недели</b>	<b>Темы занятий / Содержание</b>
	<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.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс 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:

<b>Компетенция</b>	<b>Индикаторы освоения</b>	<b>Аттестационное мероприятие (КП 1)</b>
ПК-2	З-ПК-2	Э, Зд-8, БДз-16
	У-ПК-2	Э, Зд-8, БДз-16
	В-ПК-2	Э, Зд-8, БДз-16
ПК-3.1	З-ПК-3.1	Э, Зд-8, БДз-16
	У-ПК-3.1	Э, Зд-8, БДз-16
	В-ПК-3.1	Э, Зд-8, БДз-16
ПК-3.2	З-ПК-3.2	Э, Зд-8, БДз-16
	У-ПК-3.2	Э, Зд-8, БДз-16
	В-ПК-3.2	Э, Зд-8, БДз-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-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко иочно 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		B	
75-84		C	
70-74	4 – «хорошо»	D	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			
60-64	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.
Ниже 60	2 –	F	Оценка «неудовлетворительно»

	<b>«неудовлетворительно»</b>		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 Ч-49 Кинетика разреженного газа : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ Б 43 Термодинамика в 2 ч. Часть 1 : учебник и практикум для вузов, Москва: Юрайт, 2022
3. ЭИ Б82 Физическая кинетика атомных процессов вnanoструктурах : учебное пособие для вузов, В. Д. Борман, В. Н. Тронин, В. И. Троян, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
4. 539.1 Б82 Физическая кинетика атомных процессов в nanoструктурах : 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, 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.

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

Для успешного обучения по данной дисциплине студент должен знать: основные понятия общей, статистической физики и гидrogазодинамики, 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.

Автор(ы):

Тронин Иван Владимирович, к.ф.-м.н.