

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики неравновесных процессов**



Рабочая программа дисциплины

МОЛЕКУЛЯРНАЯ КИНЕТИКА

направление подготовки: **03.04.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	108	22	14		50	18	2			2
Всего 108 часов /3 зачётных единицы, из них: - контактная работа 40 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	9
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	9
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	9
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	10
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	10
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	10

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Молекулярная кинетика» имеет своей целью обучение магистрантов-физиков основам базовых теорий и моделей современной кинетической теории разреженных газов и низкотемпературной плазмы низкой плотности, основанных на рассмотрении уравнения Больцмана, Смолуховского, Фоккера – Планка, Паули и др.; формирование у студентов представлений о молекулярно-кинетических основах процессов переноса в газах и низкотемпературной плазме; привитие практических навыков определения коэффициентов переноса и скоростей различных физических и релаксационных процессов в условиях разреженного газа или плазмы и использования полученных знаний в традиционных и современных областях физической газодинамики и неравновесной кинетики, в вакуумных и плазмохимических технологиях, используемых для получения новых материалов.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника профессиональных компетенций:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p>ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать методы и способы постановки и решения задач молекулярной кинетики, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований; базовые разделы молекулярной кинетики: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы молекулярной кинетики и способы их использования при решении научно-инновационных задач.</p> <p>Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области молекулярной кинетики с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий; решать типовые учебные задачи по основным разделам молекулярной кинетики; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<p>специальных разделов молекулярной кинетики, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов молекулярной кинетики для решения научно-инновационных задач; применять знания молекулярной кинетики для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области молекулярной кинетики и смежных дисциплин.</p> <p>Владеть навыками постановки и решения задач научных исследований в области молекулярной кинетики с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований; навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам молекулярной кинетики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов молекулярной кинетики; навыками решения базовых задач по молекулярной кинетики; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов молекулярной кинетики.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина реализуется в осеннем семестре 1-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики неравновесных процессов. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как электродинамика, а также по математике (основы математического анализа, дифференциальные уравнения). Он должен предшествовать выполнению квалификационной работы студента по данной специализации, так как дает ему необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения научных исследований в рамках подготовки его квалификационной работы.

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	108	22	14		50	18	2			2
Всего 108 часов /3 зачётные единицы, из них: - контактная работа 40 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контроль посещения лекций и практических занятий, реферат;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 22 часа;
 - практические занятия – 14 часов;
 - самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 50 часов;
 - промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.
- Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 40 часов.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-м курсе магистратуры физического факультета НГУ в 1-м семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы, 108 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Всего	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Промежуточная аттестация (в часах)
				Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические за- нятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Введение. Предмет и основные понятия молекулярной кинетики. Уравнение Лиувилля. Цепочка Боголюбова.	1	5	2	2	1	
2	Уравнение Смолуховского для марковского процесса. Уравнение Фоккера – Планка и Паули.	2-3	9	2	2	5	
3	Кинетическое уравнение Больцмана. Потенциалы взаимодействия и сечения столкновений молекул. Н - теорема Больцмана. Связь Н - функции Больцмана с энтропией.	3-4	9	2	2	5	
4	Вывод уравнений гидродинамики из уравнений Больцмана. Свободномолекулярный и сплошной режимы. Обзор численных методов решения уравнений Больцмана.	5-6	8	2	1	5	
5	Коэффициенты переноса. Метод Чепмена - Энскога. Коэффициенты переноса для одноатомного газа (коэффициенты теплопроводности и сдвиговой вязкости). Смесь газов. Коэффициент диффузии и термодиффузии.	7-8	8	2	1	5	
6	Газ с внутренними степенями свободы. Коэффициент второй (объемной) вязкости. Производство энтропии в разреженных газах. Соотношения Онзагера.	9-10	8	2	1	5	
7	Релаксационные уравнения. Уравнение Бхатнагара - Гросса – Крука (БГК). Релаксация поступательных степеней свободы. Вращательная релаксация молекул.	11	8	2	1	5	
8	Колебательная релаксация. Формула Ландау –Теллера для VT релаксации. V-V релаксация. Триноровское распределение. Химическая кинетика.	12-13	8	2	1	5	
9	Кинетика низкотемпературной плазмы. Уравнение Больцмана для электронов в	14	8	2	1	5	

	низкотемпературной плазме.						
10	Газовые разряды. Структура тлеющего разряда. Страты в положительном столбе тлеющего разряда. ВЧ разряды. Функция распределения электронов в переменном поле. Низкотемпературная плазма в магнитном поле. Электрические дуги.	15	7	2	1	4	
11	Пылевая (комплексная плазма) плазма. Зарядка частиц, силы, действующие на частицы. Явления в пылевой плазме. Кинетика гомогенной конденсации, образование кластеров. Уравнение Френкеля - Зельдовича. Уравнение Смолуховского для коагуляции.	16	8	2	1	5	
12	Групповая консультация		2				2
13	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18				18
14	Экзамен		2				2
ИТОГО			108	22	14	50	22

Программа и основное содержание лекций (22 часа)

- 1. Введение. (2 часа)** Роль и место молекулярной кинетики и кинетической теории газов плазмы низкой плотности в структуре современной физической теории. Связь с термодинамикой, статистической физикой, теорией столкновений, квантовой механикой, физикой плазмы и т.д. История развития молекулярной кинетики (Максвелл, Больцман, Лиувилль, Боголюбов, Грэд и др.). Функция распределения частиц в μ - и Γ - пространстве. Уравнение Лиувилля, теорема Пуанкаре, обратимость гамильтоновых систем. Цепочка Боголюбова, уравнение Больцмана, энтропия, необратимость.
- 2. Случайные процессы в системе большого числа частиц. (2 часа)** Уравнение Смолуховского для марковского процесса. Уравнение Фоккера - Планка. Уравнение диффузии и подвижность. Соотношение Эйнштейна. Уравнение кинетического баланса (уравнение Паули). Вывод формулы Планка для равновесного излучения. Коэффициенты Эйнштейна. Инверсная заселенность.
- 3. Кинетическое уравнение Больцмана. (2 часа)** Потенциалы взаимодействия молекул. Концепция столкновений. Дифференциальные и моментные сечения рассеяния. Частота столкновений, длина свободного пробега. Сечения рассеяния твердых шаров. Потенциал Леннарда - Джонса. Сечение Резерфорда для кулоновского рассеяния. Максвелловские молекулы. Уравнение Больцмана (феноменологический, интуитивный вывод). Свойства симметрии интеграла столкновений. Сумматорные инварианты. H - теорема Больцмана. Связь H - функции Больцмана с энтропией. Максвелловское распределение молекул по скоростям. Уравнение Больцмана в безразмерной форме. Критерии подобия (числа Струхала, Фруда, Кнудсена, Маха и Рейнольдса).
- 4. Вывод уравнений гидродинамики из уравнений Больцмана. (2 часа)** Моменты функции распределения. Плотность, вектор средней скорости, температура и давление, тензор напряжений, вектор потока тепла. Свободномолекулярный и сплошной режимы. Моментный метод решения уравнения Больцмана. Уравнения Эйлера (максвелловская функция распределения). Уравнения Навье - Стокса. Метод Грэда. Метод Ритца - Галеркина. Сильная ударная волна, аппроксимация Тамма - Мотт-Смита. Численные методы решения уравнения Больцмана. Метод Монте Карло и молекулярной динамики.

5. **Коэффициенты переноса. (2 часа)** Элементарная теория коэффициентов переноса. Идеи метода Чепмена - Энскога. Вывод коэффициентов переноса для одноатомного газа в приближении Чепмена - Энскога. (коэффициенты теплопроводности и сдвиговой вязкости). Смесь газов. Коэффициент диффузии и термодиффузии.
6. **Газ с внутренними степенями свободы. (2 часа)** Уравнения Вальдмана-Снайдера и Ван Чанга – Уленбека для газов с внутренними степенями свободы. Метод Чепмена –Энскога для газов с внутренними степенями свободы. Коэффициенты диффузии для газов с внутренними степенями свободы, поправки Эйкена. Коэффициент второй (объемной) вязкости. Производство энтропии в разреженных газах. Соотношения Онзагера.
7. **Релаксационные уравнения. (2 часа)** Релаксационное представление уравнения Больцмана. Уравнение Бхатнагара - Гросса - Крука. Релаксация поступательных степеней свободы. Вращательная релаксация молекул. Адиабатические и внезапные столкновения. Параметр Мэсси. Константы поуровневой кинетики.
8. **Колебательная релаксация. (2 часа)** Формула Ландау – Теллера для времени колебательно-поступательной V-T релаксации. Релаксация через последовательность больцмановских распределений. V-V релаксация. Триноровское распределение. Триноровское распределение. Химическая кинетика.
9. **Кинетика низкотемпературной плазмы. (2 часа)** Столкновительные процессы в плазме. Упругие и неупругие процессы. Ионизация и рекомбинация. Экранирование Дебая. Уравнение Больцмана для электронов в низкотемпературной плазме. Разложение функции распределения по полиномам Лежандра. Интеграл столкновений в приближении упругих потерь. Учет неупругих столкновений. Функция распределения электронов в однородном поле. Решение Давыдова и Дрюйвенстейна. Уравнения плазмы в гидродинамическом приближении. Коэффициенты диффузии и подвижности.
10. **Газовые разряды. (2 часа)** Структура тлеющего разряда. Страты в положительном столбе тлеющего разряда. ВЧ разряды. Функция распределения электронов в переменном во времени поле. Низкотемпературная плазма в магнитном поле. Электрические дуги. Роль кулоновских столкновений и метастабильных частиц.
11. **Пылевая (комплексная плазма) плазма. (1 час)** Пылевая плазма в природе (на земле и в космосе) и в лабораторных условиях. Зарядка пылевых частиц, силы, действующие на частицы в пылевой плазме Экранирование пылевых частиц. Потенциал Дебая-Хюккеля (Юкавы). Пылевые кристаллы, жидкость и газ. Захваченные ионы. Поляризация экранированных пылевых частиц. Волновые и вихревые течения в пылевой плазме, солитоны и «войды». Явления в пылевой плазме.
12. **Кинетика гомогенной конденсации, образование кластеров. (1 час)** Критический зародыш, нуклеация. Уравнение Френкеля - Зельдовича. Уравнение Смолуховского для коагуляции. Компактные кластеры. Приближенное решение, логонормальное распределение кластеров по размерам. Некомпактные кластеры. Фуллерены. Наночастицы

Программа практических занятий (14 часов)

1. Повторение термодинамики и статистической физики. Распределение Максвелла молекул по скоростям, и распределение Больцмана по заселенностям вращательных и колебательных уровней. Гомоядерные и гетероядерные двухтомные молекулы. **(2 часа)**
2. Оценка сечений и частот столкновений для различных потенциалов столкновений. Твердые сферы, степенные потенциалы, потенциалы Сазерленда и Леннарда-Джонса. Максвелловские молекулы. Сечения перезарядки ионов в собственном газе. Экранированный потенциал Дебая-Хюккеля. **(2 часа)**
3. Оценка длины свободного пробега в газах и коэффициентов переноса (сдвиговая вязкость, теплопроводность, диффузия, термодиффузия). Число Прандтля ($Pr = c_p \mu / \kappa$). Поправки Эйкена. **(1 час)**
4. Вычисление коэффициентов вязкости и теплопроводности с помощью уравнения Бхатнагара-

- Гросса-Крука и методом Чепмена-Энскога из нелинейного уравнения Больцмана. (2 часа)
5. Решение уравнения кинетики для распределения по колебательным уровням двухатомных молекул в одноатомном газе. Рассмотреть случай одноквантовых VT переходов для модели гармонических осцилляторов. Решение через последовательность Больцмановских состояний. Рассмотреть роль VV процессов и ангармонических переходов на установление квазистационарного состояния по колебательным уровням. (2 часа)
6. Найти изотропную и анизотропную части функции распределения электронов и плотность тока в электрическом E и магнитном полях H , направленных под углом α друг к другу. (2 часа)
7. Определить заряд сферической частицы радиуса $r_0 \sim 1 \mu\text{км}$, помещенной в низкотемпературную плазму с плотностью ионов n_i и электронов n_e при температуре ионов $T_i \sim 300 \text{ К}$ и электронов $T_e \sim 5 \text{ эВ}$. Плотность нейтрального газа N_g , длина свободного пробега ионов $l_i \gg \lambda_i \gg r_0$. λ_i – дебаевский радиус экранирования. Считать, что ионы имеют сдвинутое максвелловское распределение по скоростям, скорость дрейфа u_i . (2 часа)
8. Рассмотреть решение уравнений коагуляции для компактных (сферических) кластеров, приводящее к логонормальному распределению кластеров по размерам. (1 час)

Самостоятельная работа студентов (68 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение материала лекций	12
Подготовка к практическим занятиям	14
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	18
Подготовка реферата	6
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. Термодинамика, статистическая физика и кинетика.- М.: «Наука», 1977. (стр. 7-82). (52 экз)
2. Лифшиц, Е. М., Питаевский, Л. П. Физическая кинетика. — изд. 2. — М.: Физматлит, 2007. Т.10: Физическая кинетика / Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский 1979527, [1] с. : граф. (79 экз.)
3. М.Н. Коган. Динамика разреженного газа. - М.: «Наука», 1967. (3 экз)
4. Б.М. Смирнов. Введение в физику плазмы. - М.: «Наука», 1982. (9 экз)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. Термодинамика, статистическая физика и кинетика.- М.: «Наука», 1977. (стр. 7-82).

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции. Студентам необходимо написать реферат на одну из тем курса. При подготовке реферата магистрант должен углубленно изучить тему, ознакомиться с соответствующими публикациями в научных журналах и подготовить 20 минутный доклад. Доклад представляется перед всей группой в форме электронной презентации. Во время презентации доклада магистрант должен продемонстрировать понимание и знание не только за-

данной темы, но и ее связь с тематикой курса. В ряде случаев предлагается написание одного реферата на двух магистрантов, что может способствовать развитию у магистрантов навыков коллективного творчества.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области кристаллографии и рентгеноструктурного анализа в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации. Критерии и шкалы оценивания индикаторов достижения результатов обучения отражены в Таблице 10.2.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать методы и способы постановки и решения задач молекулярной кинетики, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований; базовые разделы молекулярной кинетики: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы молекулярной кинетики и способы их использования при решении научно-инновационных задач.	Опрос на занятиях, презентация доклада, экзамен.
ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области молекулярной кинетики с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий; решать типовые учебные задачи по основным разделам молекулярной кинетики; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов молекулярной кинетики, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения	Опрос на занятиях, презентация доклада, экзамен.

	<p>дополнительных знаний из специальных разделов молекулярной кинетики для решения научно-инновационных задач; применять знания молекулярной кинетики для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области молекулярной кинетики и смежных дисциплин.</p> <p>Владеть навыками постановки и решения задач научных исследований в области молекулярной кинетики с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований; навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам молекулярной кинетики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов молекулярной кинетики; навыками решения базовых задач по молекулярной кинетики; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов молекулярной кинетики.</p>	
--	---	--

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Молекулярная кинетика».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.
-----------------------------------	--------	--	--	--	---

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примерные темы рефератов

1. Коэффициенты вязкости и теплопроводности благородных газов. Теория и эксперимент. Температурная зависимости коэффициентов переноса.
2. Коэффициенты вязкости и теплопроводности двухатомных и многоатомных газов. Теория и эксперимент. Температурная зависимости коэффициентов переноса.
3. Коэффициенты диффузии и термодиффузии в смесях газов. Теория и эксперимент. Температурная зависимости коэффициентов переноса.
4. Объемная вязкость многоатомных газов.
5. Явление термофореза. Термофоретическая сила, возникающая при наличии в газе градиента температур и действующая на частицы малых размеров.
6. Сила трения, действующая на сферическую частицу малых размеров, движущуюся в разреженном газе. Формула Эпштейна.
7. Производство энтропии в разреженном газе. Соотношения Онзагера.
8. Коэффициенты дрейфа и диффузии ионов в низкотемпературной плазме. Формула Бланка для смесей.
9. Зарядка пылевых частиц в плазме. Влияние ион-молекулярных столкновений. Захваченные ионы.
10. Современные проблемы динамики разреженных газов. Обзор по материалам Международных конференций по динамике разреженных газов, проходящим раз в два года.

Вопросы и задачи, выносимые на экзамен:

1. Свойства симметрии и аддитивные инварианты интеграла столкновений в уравнении Больцмана.
2. Н - теорема Больцмана, связь Н – функции с энтропией.
3. Основные идеи метода Чепмена-Энскога.

4. Производство энтропии в разреженном газе при малых числах Кнудсена. Кинетические коэффициенты Онзагера.
5. Параметр Мэсси для релаксации внутренних степеней свободы (на примере вращательной релаксации двухатомных молекул).
6. Аддитивные инварианты для процессов VV-релаксации. Рассмотреть случай одноквантовых переходов для гармонических и ангармонических колебаний.
7. Вывести, используя метод Чепмены-Энскога, коэффициенты теплопроводности и сдвиговой вязкости для одноатомных газов.
8. Определить коэффициенты теплопроводности и сдвиговой вязкости для одноатомных газов, исходя из уравнения БГК.
9. Вывести приближение Эйкана для коэффициента теплопроводности, используя самодиффузию молекул, находящихся на различных уровнях внутренних степеней свободы.
10. Вывести выражение для функции распределения электронов в слабом однородном электрическом поле E и плотности газа N_g для случаев а) сечения электрон-атомарных столкновений не зависят от энергии электронов; б) частоты электрон-атомарных столкновений не зависят от энергии электронов.
11. Вывести уравнение Больцмана для изотропной части функции распределения электронов в однородном пространстве и переменном во времени электрическом поле $E(t) = E_0 \cos(\omega t)$ (ВЧ разряд).
12. Ток проводимости электронов в скрещенных электрических и магнитных полях.
13. Получить логнормальное распределение для компактных «сферических» кластеров.
14. Оценить заряд пылевой частицы микронного размера в низкотемпературной плазме с плотностью ионов n_i и электронов n_e при температуре ионов $T_i \sim 300$ К и электронов $T_e \gg T_i$.
15. Решить задачу о сильной ударной волне в приближении Мотт-Смита-Тамма.
16. Оценить коэффициенты диффузии в бинарной смеси ($n_2 \ll n_1$).
17. Оценить коэффициент термодиффузии в смеси газов. Чему равен коэффициент термодиффузии для максвелловских молекул?
18. Оценить коэффициент объёмной вязкости в двухатомном газе.
19. Вывести распределение Тринора для ангармонических осцилляторов (потенциал Морзе).
20. Вывести уравнения для одночастичной и двухчастичной функций распределения из уравнения Лиувилля.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p>Физический факультет</p>
<p>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</p> <p>1. 2.</p> <p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 ____ г.</p>

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Молекулярная кинетика»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного