

**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 теоретической физики**



**Рабочая программа дисциплины
ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**
направленность (профиль): **все профили подготовки**

Форма обучения: **Очная**

Семестр	Общий объём	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	Зачёт	Дифференцированный зачёт	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	144	32	32		58	18	2			2
Всего 144 часа / 4 зачётные единицы, из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции: ОПК-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.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	5
5. Перечень учебной литературы.....	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.....	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	9

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

Дисциплина «Физическая кинетика» представляет собой курс теории неравновесных процессов, предназначенный для обучения студентов-физиков, специализирующихся в различных областях теоретической и экспериментальной физики.

Целью освоения курса является ознакомление студентов с основными методами анализа неравновесных систем и обучение решению задач, возникающие в разных областях классической и квантовой физики.

Основные разделы курса:

- 1) кинетика коллективных возбуждений (волн) в классических системах;
- 2) уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка;
- 3) кинетика фазовых переходов;
- 4) методы квантовой теории для описания реакционной кинетики;
- 5) матрица плотности, релаксация квантовых систем.

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в области кинетики неравновесных процессов в различных областях физики. Все практические занятия проводятся в интерактивной форме. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе и планах дальнейших работ в институтах, в которых студенты планируют проходить научную практику. Материал курса увязывается с общефизическими и математическими дисциплинами, изучаемыми студентами-физиками (классическая и квантовая механика, электродинамика, гидродинамика, статистическая физика, математический анализ, высшая алгебра, уравнения математической физики и т.д.) и спецкурсами, параллельно изучающимися по выбранной специальности.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося общепрофессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.	ОПК - 1.1. Применяет фундаментальные знания и новейшие достижения физики для решения научно-исследовательских задач в избранной области. ОПК - 1.2. Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных научно-исследовательских задач.	Знать методы, способы постановки и решения задач исследования неравновесных свойств классических и квантовых систем с помощью кинетического уравнения Больцмана, уравнений Ланжевена и Фоккера-Планка и уравнения Паули; базовые разделы физической кинетики, основные уравнения, описывающие кинетику коллективных возбуждений, кинетику систем с сильно различающимися временными и пространственными масштабами и квантовых систем, основные принципы описания неравновесных классических и квантовых систем, основные уравнения, описывающие эволюцию функций распределения — уравнение Больцмана, уравнение Фоккера-Планка, основное кинетическое уравнение, уравнение для матрицы плотности. Уметь находить потоковые решения для

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<p>звуковых волн и волн на поверхности воды, качественно объяснять явление обратного каскада в двумерной турбулентности;</p> <p>решать кинетические уравнения для простых квантовых и классических неравновесных систем, находить кинетические коэффициенты, делать качественные оценки характерных величин рассматриваемых физических эффектов, решать задачи из приложенных заданий.</p> <p>Владеть методами квантовой теории описания реакционной кинетики; методами качественного анализа кинетических уравнений.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физическая кинетика» изучается в осеннем семестре студентами первого и второго курса магистратуры физического факультета, обучающимися по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой теоретической физики. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как классическая и квантовая механика, электродинамика, гидродинамика, термодинамика и статистическая физика, а также по математике (дифференциальное и интегральное исчисления, уравнения математической физики и др.). Он должен предшествовать выполнению квалификационной работы магистранта по данной специализации, т.к. дает ему необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения исследований в рамках подготовки квалификационной работы.

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.

Семестр	Общий объём	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	Зачёт	Дифференцированный зачёт	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	144	32	32		58	18	2			2
Всего 144 часа / 4 зачётные единицы, из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции: ОПК-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: домашние задания, контрольные работы, задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **144** академических часа / **4** зачётные единицы:

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 58 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультация и экзамен) – 22 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 68 часов.

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

Дисциплина «Физическая кинетика» представляет собой полугодовой курс, читаемый в осеннем семестре студентам первого и второго курса магистратуры физического факультета НГУ. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачётные единицы, 144 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины, основное содержание лекций	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	Кинетика волн в классических системах.	1-5	40	10	10	20	
2	Уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка.	6-7	14	4	4	6	
3	Кинетика фазовых переходов.	8-10	22	6	6	10	
4	Методы квантовой теории для описания реакционной кинетики.	11-14	30	8	8	14	
5	Матрица плотности. Релаксация квантовых систем.	15-16	16	4	4	8	
6	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
7	Консультации		2				2
8	Экзамен		2				2
	Всего		144	32	32	58	22

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Кинетика волн в классических системах (10 часов)

Классические волны в сплошных средах. Гамильтонов формализм для нелинейных волн. Вывод кинетического уравнения. Квантовое кинетическое уравнение. Классический подход. Малое отклонение от теплового равновесия. H-теорема и тепловое равновесие. Затухание звука. Поток и колмогоровские спектры. Стационарное решение кинетического уравнения. Сшивка с накачкой. Сходимость интеграла столкновений. Колмогоровский спектр в гидродинамической турбулентности. Соотношение Колмогорова «4/5». Обратный каскад энергии в двумерной турбулентности. Контрольная работа на семинаре.

Раздел 2. Уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка (4 часа)

Уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка. Вывод уравнения Фоккера-Планка. Гидродинамический предел уравнения Фоккера-Планка.

Раздел 3. Кинетика фазовых переходов (6 часов)

Кинетика фазовых переходов 1-го рода. Теория Зельдовича. Качественные результаты теории Лифшица-Слэзова. Непосредственное взаимодействие зародышей. Кинетика свободной коагуляции. Кинетика фазовых переходов 2-го рода. Флуктуационно-диссипативная теорема. Скорость роста зародыша новой фазы. Затухание звука вблизи критической точки.

Раздел 4. Методы квантовой теории для описания реакционной кинетики (8 часов)

Влияние флуктуаций на кинетику реакции. Формализм вторичного квантования для классических систем. Диффузионно-контролируемые реакции.

Раздел 5. Матрица плотности. Релаксация квантовых систем (4 часа)

Матрица плотности. Формализм матрицы плотности. Представление взаимодействия. Релаксация квантовых систем. Уравнение релаксации. Линейный отклик системы. Формула Кубо. Квантовые поправки к проводимости.

Программа практических занятий (32 часа)

Занятие 1. Нелинейные волны на поверхности воды. Найти гамильтониан трехволнового взаимодействия капиллярных волн на «глубокой» и «мелкой» воде. **(2 часа)**

Занятие 2. Нелинейные спиновые волны. Найти гамильтониан трехволнового диполь-дипольного взаимодействия. **(2 часа)**

Занятие 3. Затухание спиновых волн. Найти затухание длинных спиновых волн за счет взаимодействия с тепловыми магнонами. Найти затухание спиновых волн вблизи порога распада. **(2 часа)**

Занятие 4. Колмогоровские спектры волновой турбулентности. Найти колмогоровские стационарные спектры для поверхностных капиллярных волн на глубокой и мелкой воде, спиновых волн, звуковых волн. **(2 часа)**

Занятие 5. Уравнение Ланжевена для полимерной цепи. Найти корреляционную функцию расстояния между концами цепи. Найти функцию распределения по размерам полимера, помещенного в случайный поток. **(2 часа)**

Занятие 6. Замедление нейтронов в тяжелых средах. Найти стационарное пространственное распределение в зависимости от энергии для точечного источника моноэнергетических нейтронов. **(2 часа)**

Занятие 7. Уравнение Смолуховского для полярных жидкостей. Найти диэлектрическую проницаемость полярной жидкости и декремент затухания электромагнитных волн. **(2 часа)**

Занятие 8. Эволюция шарового скопления звезд. Используя теорему вириала, оценить скорость испарения звезд из шарового скопления и эволюцию параметров (размера, числа звезд) скопления. **(2 часа)**

Занятие 9. Контрольная работа №1. **(2 часа)**

Занятие 10. Теория чайника. Найти изменение температуры перегретой жидкости в невесомости. Найти стационарную функцию распределения пузырьков по размеру в перегретой жидкости в поле тяжести. **(2 часа)**

Занятие 11. Модель Глаубера. Найти среднее значение спина, взаимодействующего с термостатом. Найти среднее значение спина в модели Изинга в приближении среднего поля. **(2 часа)**

Занятие 12. Распад метастабильной фазы. Найти скорость движения границы доменной стенки в ферромагнетике во внешнем магнитном поле. **(2 часа)**

Занятие 13. Квантовые методы описания реакционной кинетики. Описать кинетику образования радиоактивных ядер за счет захвата нейтронов. **(2 часа)**

Занятие 14. Найти флуктуации числа нейтронов в цепной ядерной реакции деления. Найти скорость двухчастичной аннигиляции. **(2 часа)**

Занятие 15. Описание магнитного резонанса методом матрицы плотности. Описать прецессию электрона, находящегося в частично поляризованном состоянии, во внешнем магнитном поле. Рассмотреть поведение электрона в магнитном поле $\mathbf{B}=\mathbf{B}_0+\mathbf{B}_1(t)$, где постоянное поле направлено по оси z , а переменное — по оси x . Учесть взаимодействие спина с тепловыми колебаниями решетки. **(2 часа)**

Занятие 16. Контрольная работа №2. **(2 часа)**

Самостоятельная работа студентов (58 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям	20
Подготовка к контрольным работам	10
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	10
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Колоколов И.В., Образовский Е.Г., Подивиллов Е.В. Физическая кинетика: учебное пособие: [для магистрантов 5 курса Физ. фак. НГУ]. — М-во образования и науки РФ, Новосибир. гос. ун-т, Физ. фак., Моск. физ.-техн. ин-т. — 3-е изд., испр. и доп. — Новосибирск; Москва: Редакционно-издательский центр НГУ, 2012. — 227 с.: ил. — ISBN 978-5-4437-0105-9.

5.2. Дополнительная литература

1. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. — Москва: Наука, 1979. — 527 с.: граф. — (Теоретическая физика, т. X).
2. Образовский Е.Г. Кинетика полимеров: учебное пособие: [для студентов физических и химических специальностей вузов]. — М-во науки и высшего образования РФ, Новосиб.

гос. ун-т, Физ. фак., Каф. теорет. физики. — Новосибирск: Издательско-полиграфический центр НГУ, 2019. — 209 с.: ил. — ISBN 978-5-4437-0969-7.

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

1. Колоколов И.В., Образовский Е.Г., Подивилов Е.В. Физическая кинетика: учебное пособие: [для магистрантов 5 курса Физ. фак. НГУ]. — М-во образования и науки РФ, Новосибир. гос. ун-т, Физ. фак., Моск. физ.-техн. ин-т. — 3-е изд., испр. и доп. — Новосибирск; Москва: Редакционно-издательский центр НГУ, 2012. — 227 с.: ил. — ISBN 978-5-4437-0105-9.
2. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. — Москва: Наука, 1979. — 527 с.: граф. — (Теоретическая физика, т. X).
3. Образовский Е.Г. Кинетика полимеров: учебное пособие: [для студентов физических и химических специальностей вузов]. — М-во науки и высшего образования РФ, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак., Каф. теорет. физики. — Новосибирск: Издательско-полиграфический центр НГУ, 2019. — 209 с.: ил. — ISBN 978-5-4437-0969-7.

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 «Физическая кинетика» 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, а также проведения коротких самостоятельных работ в начале каждого занятия с решением типовых задач, разобранных на предыдущем занятии. Студентам необходимо успешно выполнить две контрольные работы.

Промежуточная аттестация.

Освоение компетенции оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ОПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физической кинетики 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 ОПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда компетенция освоена не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<p>ОПК - 1.1. Применяет фундаментальные знания и новейшие достижения физики для решения научно-исследовательских задач в избранной области.</p>	<p>Знать методы, способы постановки и решения задач исследования неравновесных свойств классических и квантовых систем с помощью кинетического уравнения Больцмана, уравнений Ланжевена и Фоккера-Планка и уравнения Паули; базовые разделы физической кинетики, основные уравнения, описывающие кинетику коллективных возбуждений, кинетику систем с сильно различающимися временными и пространственными масштабами и квантовых систем, основные принципы описания неравновесных классических и квантовых систем, основные уравнения, описывающие эволюцию функций распределения — уравнение Больцмана, уравнение Фоккера-Планка, основное кинетическое уравнение, уравнение для матрицы плотности.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>
<p>ОПК - 1.2. Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных научно-исследовательских задач.</p>	<p>Уметь находить потоковые решения для звуковых волн и волн на поверхности воды, качественно объяснять явление обратного каскада в двумерной турбулентности;</p> <p>решать кинетические уравнения для простых квантовых и классических неравновесных систем, находить кинетические коэффициенты, делать качественные оценки характерных величин рассматриваемых физических эффектов, решать задачи из приложенных заданий.</p> <p>Владеть методами квантовой теории описания реакционной кинетики; методами качественного анализа кинетических уравнений.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физическая 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	ОПК 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	ОПК 1.1	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)	ОПК 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

Контрольная работа №1

1. Показать, что кинетическое уравнение для трехволнового взаимодействия обеспечивает закон сохранения полной энергии.
2. Колмогоровские спектры для волн на поверхности воды – спектры Захарова-Филоненко и Каца-Конторовича.
3. Затухание спиновых волн при взаимодействии с тепловыми магнонами вблизи порога распада.
4. Найти колмогоровский стационарный спектр для поверхностных волн на «мелкой» воде.
5. Найти колмогоровский стационарный спектр для поверхностных волн на «глубокой» воде.

- В газе частиц массой m находится небольшая примесь газа частиц массой $M \gg m$. Газы находятся в равновесии при температуре T , длина свободного пробега тяжелых частиц l . Найти (по порядку величины) связь коэффициентов диффузии в координатном и импульсном пространствах тяжелых частиц.
- Найти с помощью уравнения Смолуховского диэлектрическую проницаемость для полярной жидкости.

Пример варианта контрольной работы

- В среде возбуждаются два типа волн с законами дисперсии $\omega(\mathbf{k})$ и $\Omega(\mathbf{q})$. Кинетическое уравнение для числа волн $n(\mathbf{q}) = \langle b^*_{\mathbf{q}} b_{\mathbf{q}} \rangle$ принимает вид

$$\frac{dn(\mathbf{q})}{dt} = \pi \sum_{\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2} |V_{\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2, \mathbf{q}}|^2 \Delta(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2 - \mathbf{q}) \delta(\omega(\mathbf{k}_1) - \omega(\mathbf{k}_2) - \Omega(\mathbf{q})) \times \\ \times [N_{\mathbf{k}_1} (n(\mathbf{q}) + N_{\mathbf{k}_2}) - N_{\mathbf{k}_1} n(\mathbf{q})].$$

Найти равновесный тепловой спектр для $N_0(\mathbf{k})$ и $n_0(\mathbf{q})$.

- Фотоны с энергией ε рассеиваются на электроном газе с температурой T . Оценить коэффициент диффузии фотонов по энергии в случае $\varepsilon \ll T \ll mc^2$.

- Найти среднеквадратичное смещение $\langle \mathbf{r}^2 \rangle$ броуновской частицы за время t . Уравнение движения имеет вид

$$d\mathbf{p}/dt = \mathbf{f}(t),$$

где \mathbf{f} – случайная сила с гауссовой статистикой: $\langle f_i(t) \rangle = 0$,

$\langle f_i(t) f_j(t') \rangle = \delta_{ij} \delta(t-t')$. Начальные условия: $\mathbf{p}(t=0)=0$, $\mathbf{r}(t=0)=0$.

Контрольная работа №2

- В ферромагнетике в начальный момент времени имелось отклонение от равновесного значения намагниченности вида $\delta M(x, 0) = \delta M_0 \exp(-|x|/l)$. Найти, как будет меняться со временем намагниченность, ограничившись квадратичным приближением для свободной энергии.
- Кинетика кипения жидкости в невесомости.
- Определить декремент затухания электромагнитной волны в полярной среде.
- В начальный момент времени было n_0 радиоактивных ядер, распадающихся с постоянной λ (вероятность распада одного ядра в единицу времени). Написать кинетическое уравнение для вероятности $P(n, t)$ найти n радиоактивных ядер в момент времени t . Найти среднеквадратичные флуктуации числа радиоактивных ядер.
- Показать, что уравнение Паули $dp_n/dt = \sum_m W_{mn} p_m - p_n \sum_m W_{nm}$ сохраняет нормировку $\sum_m p_m = 1$ и приводит к возрастанию энтропии $S = -\sum_m p_m \ln(p_m)$.

6. Найти температурную зависимость характерного времени неупругих столкновений электронов друг с другом.

Примеры вопросов на экзамен

Тема №1 «Кинетика волн в классических системах»

- 1.1. Классические волны в сплошных средах. Гамильтониан трехволнового взаимодействия.
- 1.2. Кинетическое уравнение для трехволнового взаимодействия. Термодинамическое равновесие и H-теорема.
- 1.3. Затухание волн в термостате. Оценка затухания звука в трех измерениях.
- 1.4. Масштабная инвариантность в кинетическом уравнении и колмогоровские спектры на примере звуковых волн.

Тема №2 «Уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка»

- 2.1. Уравнение Ланжевена для броуновской частицы.
- 2.2. Системы с разделяющимися масштабами и уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка.
- 2.3. Гидродинамический предел уравнения Фоккера-Планка.
- 2.4. Теория Крамерса.
- 2.5. Полимерная цепь в случайном потоке.
- 2.6. Замедление нейтронов в тяжелых средах.

Тема №3 «Кинетика фазовых переходов»

- 3.1. Кинетика фазовых переходов первого рода. Теория Зельдовича.
- 3.2. Кинетика фазовых переходов первого рода. Теория Лифшица-Слёзова.
- 3.3. Кинетика кипения жидкости в поле тяжести.
- 3.4. Кинетика фазовых переходов второго рода. Модель Глаубера.
- 3.5. Флуктуационно-диссипационная теорема для модели Изинга.
- 3.6. Распад метастабильной фазы.

Тема №4 «Методы квантовой теории описания реакционной кинетики»

- 4.1. Кинетическое описание реакций в классических системах с использованием методов квантовой теории на примере реакции аннигиляции.
- 4.2. Кинетическое уравнение для реакции активации и распада.
- 4.3. Флуктуации в реакции деления.

Тема №5 «Матрица плотности. Релаксация квантовых систем»

- 5.1. Описание релаксации двухуровневой системы методом матрицы плотности.
- 5.2. Уравнение Паули.
- 5.3. Вывод уравнений Блоха.
- 5.4. Квантовые поправки к проводимости.
- 5.5. Релаксация двухуровневой квантовой системы к тепловому равновесию.

Пример экзаменационного билета

1. Переход от кинетического описания к гидродинамическому.
2. Уравнения Блоха.
3. Найти колмогоровский стационарный спектр для поверхностных волн на «глубокой» воде

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p style="text-align: center;">МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p style="text-align: center;"><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования</i> «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» <i>(Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p style="text-align: center;">Физический факультет</p>
<p style="text-align: center;">ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</p> <p>1 2 3</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 «Физическая кинетика»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Направленность (профиль): все профили подготовки**

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