



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
Кафедра теоретической физики



Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.В.ОД.5 Физическая кинетика

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы: Академический бакалавриат


Направленность (профиль) подготовки: Физика конденсированного состояния

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета


Протокол №3 от «28» июня 2016 г.

Зам. председателя 
В.В. Чумак

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №8

От «13» мая 2016 г.

Зав. кафедрой 
С.В. Ловцов

Иркутск 2016 г.

Содержание

1. Цели и задачи дисциплины (модуля):	3
2. Место дисциплины в структуре ОПОП:	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)	3
5. Содержание дисциплины (модуля)	4
5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	4
5.2. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами.....	5
5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий.....	5
6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	6
6.1. План самостоятельной работы студентов	7
6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	10
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....	10
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):	11
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):.....	12
10. Образовательные технологии:	12
11. Оценочные средства (ОС):	12
12. Приложение: ФОС.....	17

1. Цели и задачи дисциплины (модуля):

При изучении дисциплины «Физическая кинетика» студенты изучают и осваивают классическую и современные интерпретации статистико-термодинамических принципов и панораму их важнейших следствий; современный статистический аппарат; универсальные флуктуационно-диссипационные теоремы и соотношения.

Цели курса

Целью курса «Физическая кинетика» является ознакомление с основными идеями и предпосылками, лежащими в основе описания случайных процессов, протекающих в природе в реальных условиях и в реальных системах, имеющих, как правило, бесконечное число степеней свободы при наличии активного воздействия внешней среды.

Задачи курса

Выработать у студента навыки практического использования методов, предназначенных для математического моделирования и описания поведения физических систем, имеющих бесконечное число степеней свободы при наличии активного воздействия внешней среды

2. Место дисциплины в структуре ОПОП:

Дисциплина «Физическая кинетика» входит в вариативную часть общенаучного цикла ОПОП и относится к обязательным дисциплинам. «Физическая кинетика» завершает цикл физических дисциплин и предполагает знание основ классической механики, теории поля, нерелятивистской квантовой механики, термодинамики и статистической физики, а также основ всех разделов высшей математики. Таким образом, для освоения данной дисциплины студент должен обладать знаниями по следующим дисциплинам: «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая теория», «Термодинамика и статистическая физика».

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-2	способностью использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей
ОПК-3	способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач
ПК-1	способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: основополагающие принципы, понятия и гипотезы, лежащие в основе кинетических уравнений; приближения, заложенные при выводе соответствующих уравнений

Уметь: адекватно сопоставлять данный конкретный случайный процесс способу его описания (выбор уравнения);

Владеть: методами решения соответствующих уравнений в требуемом приближении.

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры	
		7	
Аудиторные занятия (всего)	80/2,2	80	
В том числе:			-
Лекции	36/1	36	
Практические занятия (ПЗ)	36/1	36	
Контроль самостоятельной работы (КСР)	8/0,2	8	
Самостоятельная работа (всего)	28/0,8	28	

Вид промежуточной аттестации (экзамен)	36/1	36	
Контактная работа (всего)	83/2,3	83	
Общая трудоемкость	часы	144	144
	зачетные единицы	4	4

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

Раздел 1. Стохастические процессы на примере случайных блужданий

- Тема 1. Задача о «случайных блужданиях» в одномерном случае. Распределение Бернулли. Переход к непрерывным переменным (время-координата).
- Тема 2. Предельный случай больших времен и малых отклонений от начальной точки в задаче о случайных блужданиях в одномерном случае. Распределение Гаусса. Вычисление коэффициента диффузии, его физический смысл.
- Тема 3. Случайные блуждания в 3-мерном пространстве. Теорема Маркова. Связь между Фурье-образом плотности вероятности попадания после N шагов в точку \vec{R} и плотностями вероятности случайных перемещений на один шаг.
- Тема 4. Понятие о совместной плотности вероятности W^n порядка n . Ее положительная определенность. Условие согласованности с плотностями вероятности низших порядков. Понятие плотности вероятности перехода от одного значения случайной величины к другому значению за время t . «Чисто случайные» процессы. Определение марковского процесса через совместную плотность вероятности и плотность вероятности перехода. Вывод интегрального уравнения Смолуховского (Чепмена-Колмогорова).
- Тема 5. Доказательство того, что решение Маркова для плотности вероятности перехода при произвольных случайных блужданиях удовлетворяет уравнению Смолуховского. Предельное значение плотности вероятности перехода за время $t = 0$.
- Тема 6. Вычисление плотности вероятности случайных 3-мерных блужданий для гауссовских распределений случайных перемещений (формула Маркова для плотности вероятности и ее Фурье-образа).

Раздел 2. Основные кинетические уравнения

- Тема 7. Уравнение Фоккера-Планка для плотности вероятности перехода. Физический смысл коэффициентов переноса $A(y)$ и $B(y)$.
- Тема 8. Вычисление коэффициентов переноса $A(y)$ и $B(y)$, возникающих в уравнении Фоккера-Планка для броуновского движения (с использованием следствий уравнения Ланжевена).
- Тема 9. Броуновское движение. Уравнение Ланжевена. Корреляции во времени случайных величин. Вычисление среднего значения квадрата скорости броуновской частицы. «Потеря» информации о начальных условиях.
- Тема 10. Вывод уравнения Больцмана для разряженного газа. Равновесное решение уравнения Больцмана.
- Тема 11. Вывод H-теоремы Больцмана. Анализ допущений, используемых при выводе уравнения Больцмана.
- Тема 12. Симметризация уравнения Больцмана по кинетическим переменным (различные представления интеграла столкновений с учетом законов сохранения энергии и импульса).
- Тема 13. Гауссовский стационарный марковский процесс. Теорема Дуба.
- Тема 14. Основное кинетическое уравнение Паули (master equation). Связь плотности вероятности перехода случайной величины от одного значения к другому со скоро-

стью перехода данной случайной величины к некоторому промежуточному состоянию.

- Тема 15. Функция распределения по числу частиц при радиоактивном распаде (вывод из основного кинетического уравнения Паули).
- Тема 16. Однородное диффузионное уравнение и граничные условия (основные приближения диффузионной теории, вывод диффузионного уравнения). Простейшие диффузионные задачи.
- Тема 17. Статистика гравитационного поля, созданного случайным распределением звезд
- Тема 18. Лэнгмюровские колебания плазмы

Раздел 3. Элементы теории переноса

- Тема 19. Электронная плазма в металле. Проводимость.
- Тема 20. Теплопроводность электронного газа в металле
- Тема 21. Сечения ядерных процессов и их связь с макроскопическими характеристиками нейтронных потоков
- Тема 22. Уравнение баланса числа частиц в односкоростной модели
- Тема 23. Плотность тока
- Тема 24. Односторонние токи. Граничные условия на границе среда – вакуум
- Тема 25. Точечный источник в среде с поглощением и рассеянием
- Тема 26. Перенос в среде без поглощения и источников
- Тема 27. Среда с поглощением при наличии источника без рассеяния
- Тема 28. Уравнение переноса пучков нейтронов в активной среде

5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин						
		1	3	6	8	2	2	2
1.	Слабые взаимодействия					3	4	5
2.	Астрофизика высоких энергий	13	14	15	16	26	27	28

5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Раздел	Тема	Виды занятий в часах			
			Лекц.	Практ.	СРС	Всего
1.	Раздел 1	Тема 1	2	2	1	5
2.		Тема 2	2	2	1	5
3.		Тема 3	2	2	1	5
4.		Тема 4	2	2	1	5
5.		Тема 5	2	2	1	5
6.		Тема 6	2	2	1	5
7.	Раздел 2	Тема 7	2	2	1	5
8.		Тема 8	2	2	1	5
9.		Тема 9	2	2	1	5
10.		Тема 10	2	2	1	5
11.		Тема 11	2	2	1	5
12.		Тема 12	2	2	1	5
13.		Тема 13	2	2	1	5
14.		Тема 14	2	2	1	5
15.		Тема 15	2	2	1	5
16.		Тема 16	2	2	1	5

17.		Тема 17	2	2	1	5
18.		Тема 18	2	2	1	5
19.	Раздел 3	Тема 19	-	-	1	1
20.		Тема 20	-	-	1	1
21.		Тема 21	-	-	1	1
22.		Тема 22	-	-	1	1
23.		Тема 23	-	-	1	1
24.		Тема 24	-	-	1	1
25.		Тема 25	-	-	1	1
26.		Тема 26	-	-	1	1
27.		Тема 27	-	-	1	1
28.		Тема 28	-	-	1	1

6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Раздел 1, Тема 1	Задача о «случайных блужданиях» в одномерном случае. Распределение Бернулли.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-2, 3 ПК-1
2.	Раздел 1, Тема 2	Предельный случай больших времен и малых отклонений от начальной точки в задаче о случайных блужданиях в одномерном случае. Распределение Гаусса.	2	Задание на семинаре в виде задачи	
3.	Раздел 1, Тема 3	Случайные блуждания в 3-мерном пространстве.	2	Задание на семинаре в виде задачи	
4.	Раздел 1, Тема 4	Интегральное уравнение Смолуховского (Чепмена-Колмогорова).	2	Задание на семинаре в виде задачи	
5.	Раздел 1, Тема 5	Соответствие решения Маркова для плотности вероятности перехода при произвольных случайных блужданиях уравнению Смолуховского.	2	Задание на семинаре в виде задачи	
6.	Раздел 1, Тема 6	Формула Маркова для плотности вероятности и ее Фурье-образа	2	Задание на семинаре в виде задачи	
7.	Раздел 2, Тема 7	Уравнение Фоккера-Планка для плотности вероятности перехода	2	Задание на семинаре в виде задачи	
8.	Раздел 2, Тема 8	Вычисление коэффициентов переноса $A(y)$ и $B(y)$, возникающих в уравнении Фоккера-Планка	2	Задание на семинаре в виде задачи	

9.	Раздел 2, Тема 9	Броуновское движение. Уравнение Ланжевена.	2	Задание на семинаре в виде задачи
10.	Раздел 2, Тема 10	Уравнение Больцмана для разреженного газа.	2	Задание на семинаре в виде задачи
11.	Раздел 2, Тема 11	Вывод H-теоремы Больцмана.	2	Задание на семинаре в виде задачи
12.	Раздел 2, Тема 12	Симметризация уравнения Больцмана по кинетическим переменным	2	Задание на семинаре в виде задачи
13.	Раздел 2, Тема 13	Гауссовский стационарный марковский процесс. Теорема Дуба.	2	Задание на семинаре в виде задачи
14.	Раздел 2, Тема 14	Основное кинетическое уравнение Паули	2	Задание на семинаре в виде задачи
15.	Раздел 2, Тема 15	Функция распределения по числу частиц при радиоактивном распаде	2	Задание на семинаре в виде задачи
16.	Раздел 2, Тема 16	Односкоростное диффузное уравнение и граничные условия	2	Задание на семинаре в виде задачи
17.	Раздел 2, Тема 17	Статистика гравитационного поля, созданного случайным распределением звезд	2	Задание на семинаре в виде задачи
18.	Раздел 2, Тема 18	Лэнгмюровские колебания плазмы	2	Задание на семинаре в виде задачи

6.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Часы
1	Задача о «случайных блужданиях» в одномерном случае. Распределение Бернулли.	Внеаудиторная, решение задач	Изучить задачу математической статистики о распределении успехов и неудач в испытаниях при вероятности успеха в единичном испытании p .	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предо-	1
2	Предельные случаи. Распределение Гаусса.	Внеаудиторная, решение задач	Вычислить коэффициент диффузии, понять его физический смысл.		1
3	Теорема Маркова.	Внеаудиторная, решение задач	Провести аналогию между теоремой Маркова и решенной ранее задачей математической статистики.		1

4	Определение марковского процесса через совместную плотность вероятности и плотность вероятности перехода.	Внеаудиторная, решение задач	Рассмотреть пример немарковского процесса, сделать выводы.	ставляемым Научной библиотекой ИГУ и Сторонние сайты	1
5	Уравнение Смолуховского	Внеаудиторная, решение задач	Доказать, что решение Маркова для плотности вероятности перехода при произвольных случайных блужданиях удовлетворяет уравнению Смолуховского.		1
6	Формула Маркова для плотности вероятности и ее Фурье-образ	Внеаудиторная, решение задач	Вычислить плотность вероятности случайных блужданий в N-мерном пространстве	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ и Сторонние сайты	1
7	Уравнение Фоккера-Планка	Внеаудиторная, решение задач	Дать интерпретацию физического смысла коэффициентов $A(y)$ и $B(y)$.		1
8	Вычисление коэффициентов переноса $A(y)$ и $B(y)$, возникающих в уравнении Фоккера-Планка	Внеаудиторная, решение задач	Решить уравнение Ланжевена для данного случая.		1
9	Броуновское движение.	Внеаудиторная, решение задач	Дать определение и вычислить корреляционную функцию распределения вероятностей с различными импульсами.		1
10	Вывод уравнения Больцмана для разреженного газа.	Внеаудиторная, решение задач	Дать определение и вычислить корреляционную функцию распределения вероятностей в различные моменты времени.		1
11	Вывод H-теоремы Больцмана.	Внеаудиторная, решение задач	Рассмотреть аналогичную задачу, не используя принятых допущений. К чему приводит рассмотрение более общего случая?		1
12	Симметризация уравнения Больцмана	Внеаудиторная, решение задач	Обобщить полученное уравнение на случай N измерений.		1
13	Гауссовский стационарный марковский процесс. Теорема Дуба.	Внеаудиторная, решение задач	Доказать теорему Дуба.		1

13	Электронная плазма в металле. Проводимость.	Внеаудиторная, решение задач	Вычислить проводимость металла при наличии примесей, нарушающих трансляционную инвариантность, в случае, когда учитываются парные столкновения.		1
14	Основное кинетическое уравнение Паули	Внеаудиторная, решение задач	Вывести уравнение Паули в случае немарковского процесса.		1
14	Теплопроводность электронного газа в металле	Внеаудиторная, решение задач	Вывести закон Видемана – Франца для электронной плазмы в металле при наличии примесей.		1
15	Функция распределения по числу частиц при радиоактивном распаде	Внеаудиторная, решение задач	Рассмотреть случай закона распада вида $n \rightarrow 2n$.		1
15	Сечения ядерных процессов и их связь с макроскопическими характеристиками нейтронных потоков	Внеаудиторная, решение задач	Вычислить эффективное сечение радиационного захвата и эффективное сечение упругого рассеяния.		1
16	Односкоростное диффузное уравнение и граничные условия	Внеаудиторная, решение задач	Решить поставленную задачу диффузии в N-мерном случае.		1
16	Уравнение баланса числа частиц в односкоростной модели	Внеаудиторная, решение задач	Вывести уравнение баланса числа частиц в односкоростной модели	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ и Стронские сайты	1
17	Статистика гравитационного поля, созданного случайным распределением звезд	Внеаудиторная, решение задач	Изучить модель Хольцмарка		1
17	Плотность тока	Внеаудиторная, решение задач	Вывести уравнение баланса в случае «экранированного» источника нейтронов		1
17	Односторонние токи. Граничные условия на границе среда – вакуум	Внеаудиторная, решение задач	Найти выражение для одностороннего тока в пренебрежении временной задержкой		1
17	Точечный источник в среде с поглощением и рассеянием	Внеаудиторная, решение задач	Решить уравнение диффузии при наличии точечного источника нейтронов в среде		1
18	Лэнгмюровские колебания плазмы	Внеаудиторная, решение задач	Рассмотреть эволюцию системы, которая определяется дальнедействующими силами		1

18	Перенос в среде без поглощения и источников	Внеаудиторная, решение задач	Решить уравнение теплопроводности в среде без поглощения и источников		1
18	Среда с поглощением при наличии источника без рассеяния	Внеаудиторная, решение задач	Решить уравнение диффузии в среде с поглощением при наличии источника без рассеяния		1
18	Уравнение переноса пучков нейтронов в активной среде	Внеаудиторная, решение задач	Решить уравнение переноса пучков нейтронов в активной среде		1

6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

В разделе 6.1. студентам для самостоятельного углубленного изучения дисциплины (параллельно с лекциями) предлагаются задачи по изучаемым разделам и график их изучения. Предполагается, что студент самостоятельно изучит дополнительные параграфы по пройденной теме, представленные в литературе из п. 8, а затем решит предложенные в п. 6.1 квантово-механические задачи. Оценка самостоятельной работы студентов проводится в виде контрольных опросов на практических занятиях.

7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ (проектов).

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

а) основная литература

1. Валл А. Н. Физическая кинетика : учеб. пособие / А. Н. Валл, А. Э. Растегин, И. А. Первалова. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. – 103 с. – ISBN 978-5-9624-1199-6. (46 экз.)

б) дополнительная литература

1. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. В 10 т. Т. 10. Физическая кинетика : учеб. пособие для студ. физ. спец. ун-тов / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. – М. : Наука, 2002. – 536 с. физмат 21361(10 экз.); физмат 21361(120 экз.)
2. Квасников И. А. Теория неравновесных систем. В 3 т. Т. 3. Термодинамика и статистическая физика : учеб. пособие для студ. вузов / И. А. Квасников. – М. : УРСС, 2003. – 448 с. физмат 21358(9 экз.); нф А589154; физмат 21358(4 экз.)
3. Балеску Р. Равновесная и неравновесная статистическая механика. В 2 т. Т. 2 / Р. Балеску. – М. : Мир, 1978. – 399 с. нф 244301(2)пф; нф 244302(2)пф; нф 244303(2)пф; нф А45535(2); физмат 27936(1 экз.)
4. Чандрасекар Р. Стохастические проблемы в физике : научное издание / С. Чандрасекар. – М. : Гос. изд-во иностр. лит., 1947. – 168 с. (нф 376194; нф 379378; нф 562149, 3 экз.)
5. Белиничер В. И. Физическая кинетика : лекции для магистрантов / В. И. Белиничер. – Н. : Изд-во НГУ, 1995. – 178 с. (нф А541127, 1 экз.)

Сверено с №5 415

в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

<http://library.isu.ru/> - Научная библиотека ИГУ;

Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ:

- <https://isu.bibliotech.ru/> - ЭЧЗ «БиблиоТех»;
- <http://e.lanbook.com> - ЭБС «Издательство «Лань»;
- <http://rucont.ru> - ЭБС «Рукопт» - межотраслевая научная библиотека, содержащая оцифрованные книги, периодические издания и отдельные статьи по всем отраслям знаний, а также аудио-, видео-, мультимедиа софт и многое другое;
- <http://ibooks.ru/> - ЭБС «Айбукс»- интернет ресурсы в свободном доступе;

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

Для проведения занятий лекционного типа в качестве демонстрационного оборудования используется меловая доска. Наглядность обеспечивается путем изображения схем, диаграмм и формул с помощью мела. Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

Материалы: учебно-методические пособия, задания для аудиторной и самостоятельной работы студентов.

10. Образовательные технологии:

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

1. лекции, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;
- практические занятия, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- консультации –еженедельно для всех желающих студентов;
- самостоятельная внеаудиторная работа направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- текущий контроль за деятельностью студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях в ходе самостоятельного решения задач, в том числе у доски.

11. Оценочные средства (ОС):

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

11.1. Оценочные средства для входного контроля: не требуются.

11.2. Оценочные средства текущего контроля.

Контрольные задачи для проведения текущего контроля:

1. Эволюция одномерной случайной величины $X(t)$ описывается плотностью вероятности перехода $\omega(y|x,t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{(y-x)^2}{4Dt}\right)$. Найти плотность вероятности перехода для случайной величины $R(t) = |X(t)|$.
2. Используя общее решение Маркова для проблемы случайных блужданий, рассмотреть распределение на j -ом шаге в виде $\tau_j(x) = q\delta(x+a) + p\delta(x-a)$, где $q+p=1$, и показать, что распределение $W(R,N)$ имеет вид $W(R,N) = \sum_k P_k \delta(R - Ka)$. Дать физическую интерпретацию полученного результата.
3. Эволюция одномерной случайной величины $X(t)$ описывается плотностью вероятности перехода $\omega(y|x,t) = \frac{1}{\pi} \frac{1}{(y-x)^2 + v^2 t^2}$. Показать, что эта плотность вероятности удовлетворяет уравнению Смолуховского.
4. Решить уравнение Фоккера-Планка с коэффициентами $A(z) = 0$ и $B(z) = 2D$.
5. Показать, что вероятность перехода для пуассоновского процесса

$$\omega(m|n,t) = \frac{\exp(-\lambda t) (\lambda t)^{m-n}}{(m-n)!}, \text{ если } m \geq n,$$

и $\omega = 0$ в остальных случаях, удовлетворяет дискретному аналогу уравнения Смолуховского.

6. Считая функцию $F(t)$ гладкой, путем однократного дифференцирования решить функциональное уравнение $F(0)F(t+\tau) = F(t)F(\tau)$, возникающее при доказательстве теоремы Дуба.
7. Пусть положение броуновской частицы описывается одномерным уравнением Фоккера-Планка

$$\frac{\partial}{\partial t} \omega(y|x, t) = D \frac{\partial^2}{\partial y^2} \omega(y|x, t)$$

Получить отсюда результат Эйнштейна для среднеквадратичного отклонения

$$\langle \Delta X^2(t) \rangle = 2Dt$$

8. Решить уравнение Фоккера-Планка с коэффициентами $A(z) = -az$ и $B(z) = 2D$, получив тем самым плотность вероятности перехода для процесса Орнштейна-Уленбека.
9. Используя подходящую замену переменных, найти общее решение уравнения

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial t} + \vec{v} \cdot \frac{\partial}{\partial \vec{x}} \right\} F(\vec{v}, \vec{x}, t) = 0$$

10. В начальный момент времени $t=0$ газ занимает полупространство $x > 0$, находясь в тепловом равновесии при температуре T . Внешние силы отсутствуют. Пренебрегая столкновениями, найти плотность частиц при $t > 0$.
11. В начальный момент времени $t=0$ газ занимает пространство, ограниченное сферой радиуса R , находясь в тепловом равновесии при температуре T . Внешние силы отсутствуют. В момент времени $t=0$ сферическая оболочка разрушается и начинается свободный разлет молекул газа. Пренебрегая столкновениями, найти плотность частиц при $t > 0$.
12. С помощью методов, используемых при выводе уравнения Фоккера-Планка, получить из уравнения Смолуховского разложение Крамерса-Мойала

$$\frac{\partial}{\partial t} \omega(z|x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial z^n} A_n(z) \omega(z|x, t)$$

и найти общее выражение для коэффициентов $A_n(z)$.

13. Одномерная случайная величина $X(t)$ описывается следующей плотностью вероятности:

$$\omega(y|x, t) = \left[2\pi(D/\gamma)(1 - e^{-2\gamma t}) \right]^{-1/2} \times \exp \left\{ -\frac{(y - e^{-\gamma t}x)^2}{2(D/\gamma)(1 - e^{-2\gamma t})} \right\}$$

Показать, что эта плотность вероятности удовлетворяет уравнению Смолуховского.

14. Для процесса радиоактивного распада вычислить средние $\langle N(t) \rangle$ и $\langle N^2(t) \rangle$.
15. Частица совершает трехмерные случайные блуждания с плотностью вероятности перехода

$$\omega(\vec{y}|\vec{x}, t) = \frac{1}{(4\pi Dt)^{3/2}} \exp \left(-\frac{(\vec{y} - \vec{x})^2}{4Dt} \right)$$

Ограничим теперь движение частицы плоской стенкой $x=0$, при попадании на которую частица «прилипает» к ней. Найти вероятность того, что частица, находившаяся в начальный момент времени на расстоянии a от стенки, прилипнет к ней в течение времени t .

11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации.

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
2.	Собеседование по теме;	Раздел 1. Стохастические процессы на примере случайных блужданий	ОПК-2, 3 ПК-1
3.	Контрольная работа; Проверка решений	Раздел 2. Основные кинетические уравнения	
4.	задач	Раздел 3. Элементы теории переноса	
5.	Экзамен	Все разделы	ОПК-2, 3, ПК-1

Демонстрационный вариант контрольной работы

Задача 1. Проверить, что решение Маркова для плотности вероятности перехода при произвольных случайных блужданиях удовлетворяет уравнению Смолуховского.

Задача 2. Вычислить и дать физическую интерпретацию предельному значению плотности вероятности перехода за время $t = 0$.

Пример вопросов для собеседования

1. Дать определение марковского процесса.
2. Записать математически принцип согласования высших порядков с низшими.
3. Записать уравнение Чепмена - Колмогорова, дать его физическую интерпретацию.
4. Вывести уравнение Ланжевена, как частный случай второго закона Ньютона.

Примерный перечень вопросов и заданий к экзамену

1. Задача о «случайных блужданиях» в одномерном случае. Распределение Бернулли. Переход к непрерывным переменным (время-координата).
2. Вывод уравнения Больцмана для разреженного газа.
3. Предельный случай больших времен и малых отклонений от начальной точки в задаче о случайных блужданиях в одномерном случае. Вычисление коэффициента диффузии, его физический смысл.
4. Точное односкоростное уравнение переноса нейтронов (фазовая плотность и фазовый поток, индикатриса рассеяния, вывод линеаризованного уравнения Больцмана). Граничные условия для раздела двух сред и границы среда – вакуум.
5. Случайные блуждания в 3-мерном пространстве. Теорема Маркова. Связь между Фурье-образом плотности вероятности попадания после N шагов в точку \vec{R} и плотностями вероятности случайных перемещений на один шаг.
6. Понятие о совместной плотности вероятности W_n порядка n . Ее положительная определенность. Условие согласованности с плотностями вероятности низших порядков. Понятие плотности вероятности перехода от одного значения случайной величины к другому значению за время t . «Чисто случайные» процессы. Определение марковского процесса через совместную плотность вероятности и плотность вероятности перехода. Вывод интегрального уравнения Смолуховского (Чепмена-Колмогорова).
7. Точное решение односкоростного уравнения переноса нейтронов для чисто поглощающих сред.
8. Доказательство того, что решение Маркова для плотности вероятности перехода при произвольных случайных блужданиях удовлетворяет уравнению Смолуховского. Предельное значение плотности вероятности перехода за время $t = 0$.

9. Вычисление плотности вероятности случайных 3-мерных блужданий для гауссовских распределений случайных перемещений (формула Маркова для плотности вероятности и ее Фурье-образа).
10. Уравнение Фоккера-Планка для плотности вероятности перехода.
11. Физический смысл коэффициентов переноса $A(y)$ и $B(y)$. Вычисление коэффициентов переноса $A(y)$ и $B(y)$, возникающих в уравнении Фоккера - Планка для броуновского движения (с использованием следствий уравнения Ланжевена).
12. Симметризация уравнения Больцмана по кинетическим переменным (различные представления интеграла столкновений с учетом законов сохранения энергии и импульса).
13. Броуновское движение. Уравнение Ланжевена. Корреляции во времени случайных величин. Вычисление среднего значения квадрата скорости броуновской частицы. «Потеря» информации о начальных условиях.
14. Равновесное решение уравнения Больцмана.
15. Вывод H-теоремы Больцмана. Анализ допущений, используемых при выводе уравнения Больцмана.
16. Основное кинетическое уравнение Паули (master equation).
17. Функция распределения по числу частиц при радиоактивном распаде (вывод из основного кинетического уравнения Паули).
18. Односкоростное диффузное уравнение и граничные условия (основные приближения диффузионной теории, ток нейтронов, вывод диффузионного уравнения).
19. Простейшие диффузионные задачи (точечный источник в бесконечной среде, бесконечный плоский источник, модельная задача на вычисление критического размера).
20. Интегральное уравнение Пайерлса (вывод из точного односкоростного уравнения переноса нейтронов).
21. Функция Грина для односкоростного уравнения переноса нейтронов. Кинематика упругого рассеяния (связь угла рассеяния в лабораторной системе и системе центра масс).

Разработчики:

доцент кафедры теоретической физики

И.А. Перевалова

доцент кафедры теоретической физики

А.Э. Растегин

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики

«13» мая 2016 г.

Протокол № 8 Зав. кафедрой _____ С.В. Ловцов

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.

**Лист согласования, дополнений и изменений
на 2017/2018 учебный год**

К рабочей программе дисциплины Б1.В.ОД.5 Физическая кинетика по направлению 03.03.02 Физика профилю Физика конденсированного состояния

В рабочую программу дисциплины вносятся следующие дополнения: нет дополнений.

Изменения одобрены Ученым советом физического факультета,
протокол №8 от 19.06.2017 г.

Зав. кафедрой теоретической физики



С.В. Ловцов