



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
**Кафедра теоретической физики**

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета

/Н.М. Буднев  
«20» апреля 2024 г.



**Рабочая программа дисциплины**

Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.01.02 Физическая кинетика

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Солнечно-земная физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол №42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель \_\_\_\_\_  
Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №7  
От «15» марта 2024 г.

И.о. зав. кафедрой \_\_\_\_\_  
С.В. Ловцов

**Иркутск 2024 г.**

## Содержание

I. Цели и задачи дисциплины.....	3
II. Место дисциплины в структуре ОПОП .....	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины .....	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля).....	3
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	4
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	4
4.3. Содержание учебного материала .....	4
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	6
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС) .....	7
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	8
4.5. Примерная тематика курсовых работ .....	8
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):.....	8
а) список литературы.....	8
б) периодические издания .....	8
в) список авторских методических разработок.....	8
г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	9
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	9
VII. Образовательные технологии.....	9
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации .....	9
Приложение: фонд оценочных средств	

## I. Цели и задачи дисциплины

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

## II. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физическая кинетика» входит в часть, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 и является дисциплиной по выбору (ДВ).. «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».

## III. Требования к результатам освоения дисциплины

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

- Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1).

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	ПК-1
Индикаторы компетенции	ИДК <sub>пк 1.1</sub> знает основополагающие принципы, понятия физической кинетики.
Результаты обучения	<b>Знает:</b> основополагающие принципы, понятия и гипотезы, лежащие в основе кинетических уравнений; приближения, заложенные при выводе соответствующих уравнений <b>Умеет:</b> адекватно сопоставлять данный конкретный случайный процесс способу его описания (выбор уравнения); <b>Владеет:</b> методами решения соответствующих уравнений в требуемом приближении.

## IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единицы, 180 часов, в том числе 99 часа контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 44 часа.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

#### 4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися				
					Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации		
1	1-28	7	180	44	34	50	1	55	Практическое задание; вопросы и задачи к экзамену
Итого:			180	44	34	50	1	55	

#### 4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
7	Тема 1-28	Задание в виде задачи	После пройденных тем	55	Демонстрация готовых решений	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ.

### 4.3. Содержание учебного материала

#### Содержание разделов и тем дисциплины

##### 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 скоростью 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. Односкоростное диффузное 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

#### **4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ**

№	№ раздела и темы дисциплины	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.	4	Задание на семинаре в виде задачи	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.	4			
3.	Раздел 1, Тема 3	Случайные блуждания в 3-мерном пространстве.	4			
4.	Раздел 1, Тема 4	Интегральное уравнение Смолуховского (Чепмена-Колмогорова).	4			
5.	Раздел 1, Тема 5	Соответствие решения Маркова для плотности вероятности перехода при произвольных случайных блужданиях уравнению Смолуховского.	4			
6.	Раздел 1, Тема 6	Формула Маркова для плотности вероятности и ее Фурье-образа	4			
7.	Раздел 2, Тема 7	Уравнение Фоккера-Планка для плотности вероятности перехода	4			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			

9.	Раздел 2, Тема 9	Броуновское движение. Уравнение Ланжевена.	2		
10.	Раздел 2, Тема 10	Уравнение Больцмана для разреженного газа.	2		
11.	Раздел 2, Тема 11	Вывод Н-теоремы Больцмана.	2		
12.	Раздел 2, Тема 12	Симметризация уравнения Больцмана по кинетическим переменным	2		
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		
15.	Раздел 2, Тема 15	Функция распределения по числу частиц при радиоактивном распаде	2		
16.	Раздел 2, Тема 16	Однокоростное диффузное уравнение и граничные условия	2		
17.	Раздел 2, Тема 17	Статистика гравитационного поля, созданного случайным распределением звезд	2		
18.	Раздел 2, Тема 18	Лэнгмюровские колебания плазмы	2		

#### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Часы
	Сечения ядерных процессов и их связь с макроскопическими характеристиками нейтронных потоков	Внеаудиторная, решение задач	Вычислить эффективное сечение радиационного захвата и эффективное сечение упругого рассеяния.	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ и Стронские сайты	10
	Однокоростное диффузное уравнение и граничные условия	Внеаудиторная, решение задач	Решить поставленную задачу диффузии в N-мерном случае.		6
	Уравнение баланса числа частиц в однокоростной модели	Внеаудиторная, решение задач	Вывести уравнение баланса числа частиц в однокоростной модели		8
	Статистика гравитационного поля, созданного случайным распределением звезд	Внеаудиторная, решение задач	Изучить модель Хольцмарка		6

	Плотность тока	Внеаудиторная, решение задач	Вывести уравнение баланса в случае «экранированного» источника нейтронов		6
	Односторонние токи. Граничные условия на границе среда – вакуум	Внеаудиторная, решение задач	Найти выражение для одностороннего тока в пренебрежении временной задержкой		6
	Точечный источник в среде с поглощением и рассеянием	Внеаудиторная, решение задач	Решить уравнение диффузии при наличии точечного источника нейтронов в среде		6
	Лэнгмюровские колебания плазмы	Внеаудиторная, решение задач	Рассмотреть эволюцию системы, которая определяется дальнедействующими силами		6

#### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

В разделе 4.3.2 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. 5, а затем решит предложенные геометрические задачи. Оценка самостоятельной работы студентов проводится в виде контрольных опросов на практических занятиях.

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ.

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

##### а) список литературы

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.)

##### 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.)

##### б) периодические издания

- нет.



в) список авторских методических разработок

- нет.

г) 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;

## **VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Учебная аудитория для проведения занятий. 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.

## **VII. Образовательные технологии**

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- 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.

## **VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации**

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

Форма проведения промежуточной аттестации — экзамен.

### **8.1.1. Оценочные средства для входного контроля**

Входной контроль не проводится.

### **8.1.2. Оценочные средства текущего контроля**

Примеры заданий текущего контроля

1. Для схемы Бернулли последовательных испытаний с вероятностью успеха  $p$ , записать вероятность

$k$  успехов в  $N$  испытаниях, среднее значение  $E(k)$  и дисперсию  $D(k)$ .

2. Записать выражения для вероятности биномиального распределения и двух его предельных случаев.

3. Пусть  $X_1, X_2, \dots, X_N$  – независимые одинаково распределенные случайные величины. Для случайной величины  $Z = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_j$  выразить среднее значение и дисперсию через  $\mu = E(X)$  и  $\sigma = D(X)$ .

### 8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

#### 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-образ).
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).

**Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенций, указанных выше п.3:**

1	Фронт ударной волны в разреженном газе имеет толщину порядка	1) среднего расстояния между молекулами 2) размера молекулы 3) длины свободного пробега
2	Интеграл столкновений Больцмана принимает во внимание столкновения	1) двух частиц 2) трех частиц 3) любого числа частиц
3	Число слагаемых разложения Крамерса-Мойала, входящих в правую часть уравнения Фоккера-Планка, равно	1) 1 2) 2 3) 3
4	В процессе независимого рождения частиц с постоянной в единицу времени скоростью их число описывается распределением	1) Пуассона 2) биномиальным 3) Стьюдента

Разработчики:



доцент кафедры теоретической физики

И.А. Перевалова




доцент кафедры теоретической физики

А.Э. Растегин

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики

«15» марта 2024 г.

Протокол №7 И.о. зав. кафедрой  С.В. Ловцов

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