



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

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета / Н.М. Буднев  
« 20 » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Рабочая программа дисциплины**

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

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы: академический бакалавриат

Направленность (профиль): Солнечно-земная физика

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:  
физического факультета  
Протокол № 8 от «19» июня 2017 г.

Зам. председателя к.ф.-м.н., доцент  
Чумак В.В Чумак

Рекомендовано кафедрой:  
теоретической физики  
Протокол № 8  
от «31» мая 2017 г.  
Зав.кафедрой к.ф.-м.н., доцент  
Ловцов С.В. Ловцов

Иркутск 2017 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
6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ .....	6
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 .....	13

### 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)	37/1,03	37	

Вид промежуточной аттестации (экзамен)	27/0,75	27	
<b>Контактная работа (всего)</b>	84/2,3	84	
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 разреженного 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 односторонней 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	3
2.		Тема 2	2	2	1	3
3.		Тема 3	2	2	1	3
4.		Тема 4	2	2	1	3
5.		Тема 5	2	2	1	3
6.		Тема 6	2	2	1	3
7.	Раздел 2	Тема 7	2	2	1	3
8.		Тема 8	2	2	1	3
9.		Тема 9	2	2	1	3
10.		Тема 10	2	2	1	3
11.		Тема 11	2	2	1	3
12.		Тема 12	2	2	1	3
13.		Тема 13	2	2	1	3
14.		Тема 14	2	2	1	3
15.		Тема 15	2	2	1	3

16.		Тема 16	2	2	1	3
17.		Тема 17	2	2	1	3
18.		Тема 18	2	2	1	3
19.	Раздел 3	Тема 19	-	-	1	1
20.		Тема 20	-	-	2	2
21.		Тема 21	-	-	2	2
22.		Тема 22	-	-	2	2
23.		Тема 23	-	-	2	2
24.		Тема 24	-	-	2	2
25.		Тема 25	-	-	2	2
26.		Тема 26	-	-	2	2
27.		Тема 27	-	-	2	2
28.		Тема 28	-	-	2	2

### 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 Н-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 $n$ 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, пре-	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.	доставляемым 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-образа	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 Сторонние сайты	2
17	Статистика гравитационного поля, созданного случайным распределением звезд	Внеаудиторная, решение задач	Изучить модель Хольцмарка		2
17	Плотность тока	Внеаудиторная, решение задач	Вывести уравнение баланса в случае «экранированного» источника нейтронов		2
17	Односторонние токи. Граничные условия на границе среда – вакуум	Внеаудиторная, решение задач	Найти выражение для одностороннего тока в пренебрежении временной задержкой		2
17	Точечный источник в среде с поглощением и рассеянием	Внеаудиторная, решение задач	Решить уравнение диффузии при наличии точечного источника нейтронов в среде		2
18	Лэнгмюровские колебания плазмы	Внеаудиторная, решение задач	Рассмотреть эволюцию системы, которая определяется дальнедействующими силами		2

18	Перенос в среде без поглощения и источников	Внеаудиторная, решение задач	Решить уравнение теплопроводности в среде без поглощения и источников		2
18	Среда с поглощением при наличии источника без рассеяния	Внеаудиторная, решение задач	Решить уравнение диффузии в среде с поглощением при наличии источника без рассеяния		2
18	Уравнение переноса пучков нейтронов в активной среде	Внеаудиторная, решение задач	Решить уравнение переноса пучков нейтронов в активной среде		2

## 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.)

### 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:

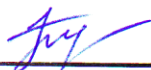
1. лекции, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;
- практические занятия, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- консультации –еженедельно для всех 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.

### Разработчики:

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

доцент  
кафедры теоретической физики

И.А. Первалова

  
\_\_\_\_\_

доцент кафедры  
теоретической физики

А.Э. Растегин

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики

«31» мая 2017 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.**