

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор высшей школы  
программной инженерии  
А.В. Малеев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Дополнительные главы дискретной математики
<b>по направлению:</b>	Программная инженерия
<b>профиль подготовки:</b>	Разработка программно-информационных систем высшая школа программной инженерии высшая школа программной инженерии МФТИ - Яндекс
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 48 час.

Всего часов: 108, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.В. Созыкин, канд. техн. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании высшей школы программной инженерии МФТИ - Яндекс 05.03.2020

## Аннотация

В курсе рассматриваются вопросы интерактивной компьютерной верификации доказательств на основе теоретико-типового подхода, получившей в последние десятилетия значительное распространение как в приложениях к математике (верификация решения "задачи о четырех красках" и др.), так и к практике программирования

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- дать представление об основных законах и явлениях статистической физики, обучить применению современных методов термодинамики, статистической механики и кинетики в работе с физическими системами, научить студентов решать элементарные задачи и делать несложные оценки, и наконец, сформировать общекультурные и профессиональные навыки физика-исследователя. Односеместровый курс "Методы статистической физики в вычислительной математике и теории информации" сопровождается регулярной индивидуальной работой преподавателя со студентами в процессе сдачи домашних заданий, консультаций, а также самостоятельных занятий.

#### Задачи дисциплины

- изучение математических основ статистической физики;
- приобретение слушателями теоретических знаний в области современного статистического анализа.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-7 Способен применять в практической деятельности основные концепции, принципы, теории и факты, связанные с информатикой	ОПК-7.3 Умеет выявлять узкие места в процессе разработки и предлагать методы и инструменты для его оптимизации
ПК-2 Способен формализовать и алгоритмизировать поставленную задачу	ПК-2.1 Способен формализовать и алгоритмизировать поставленную задачу

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные принципы лежащие в основании статистической физики, что такое статистический ансамбль, общие свойства и различия между микроканоническим, каноническим и большим каноническим ансамблями. Круг явлений, в которых возможно применение методов статистической физики.

уметь:

- зная законы поведения частиц, из которых построена система (молекулы, атомы, ионы, кванты и т. д.), устанавливать законы поведения макроскопического количества вещества.

владеть:

- методами нахождения термодинамических характеристик вещества пользуясь статистическими ансамблями и законами взаимодействия отдельных частиц.

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

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Термодинамика	6	6		8
2	Микроканоническое и каноническое распределения	6	6		8
3	Химическое равновесие	6	4		8
4	Квантовые газы	4	4		8
5	Неидеальные газы. Фазовые переходы	4	6		8
6	Кинетическое уравнение	4	4		8
Итого часов		30	30		48
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		108 час., 3 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Термодинамика

Энергия, энтропия, энтальпия, свободная энергия. Теплота, поглощаемая при зарядке конденсатора. Теплота, при удалении заряда от диэлектрика.

##### 2. Микроканоническое и каноническое распределения

Больцмановский газ. Энергия и теплоемкость осциллятора - из микроканонического распределения. Двухуровневая система - модель резины. Теплоемкость при высоком вырождении верхнего уровня. Газ в объеме с потенциальной ямой. Диэлектрическая проницаемость газа диполей. (Классические диполи, высокие температуры). Охлаждение методом размагничивания парамагнитных солей: цилиндрический образец на оси соленоида, теплоемкость в отсутствие магнитного поля  $C = VaT^3$ . Молекулярные пучки - опыт Штерна. Заполнение откачанного сосуда (при разных соотношениях размера отверстия и длины свободного пробега). Эффект Кнудсена. Скоро ли появится в комнате молекула с энергией 2, 3, 4 эВ? Теплоемкости  $H_2O$ ,  $CO_2$  в зависимости от температуры. Поправки к теплоемкости двухатомного газа, вызванные ангармоничностью колебаний. Об учете в статистической сумме дискретных уровней атома водорода. Атмосфера планеты.

##### 3. Химическое равновесие

Степень диссоциации молекул двухатомного газа ( $AB \rightarrow A+B$ ). Зависимость степени диссоциации от температуры при постоянном объеме. Теплота реакции, теплоемкости при постоянных объеме и давлении.

##### 4. Квантовые газы

Оценки для электронного газа в металле. Ферми-газ в осцилляторном поле.

Полупроводник n-типа. Оценка примесного уровня (как водородоподобного). Число электронов в примесном состоянии с учетом кулоновского отталкивания. Бозе-газ в поле тяжести. (Конденсация Бозе-Эйнштейна). Белый карлик, нейтронная звезда (Оценка радиуса - с применением теоремы вириала.) Оценка размера «плотной» части атома по Томасу – Ферми (учитываем только взаимодействие электронов с ядром).

## 5. Неидеальные газы. Фазовые переходы

Оценки для броуновского движения. За какое время капля радиуса 1 мкм в разреженном газе приобретет тепловую скорость? Каков коэффициент диффузии таких капелек? Доля полной интенсивности рэлеевской линии, приходящаяся на дублет Мандельштама - Бриллюена. Шумы в электрических цепях. Корреляционная функция токов в RC цепочке.

## 6. Кинетическое уравнение

Эффект Холла. Пространственная дисперсия диэлектрической проницаемости плазмы. Закон дисперсии ионного звука (при условии, что температура газа электронов много больше температуры газа ионов, вклады в проводимость - от электронов статический, от ионов ( $Li^{2/2}$ )). В окрестности точки встречи пучков ускорителя распределения частиц по поперечному сечению пучков и по углам независимы. Найти распределение по поперечному сечению пучков и по углам на расстоянии  $z$  от точки встречи. Выразить светимость, получаемую при соударении. Затухание поперечного ультразвука в металле при условии, что длина свободного пробега электронов мала по сравнению с длиной волны звука.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Дискретная математика для программистов, учебное пособие / Р. Хаггарт . — Москва, Техносфера, 2012.— URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/337430/reading> (дата обращения: 26.11.2020). - Полный текст (Режим доступа : из сети МФТИ / Удаленный доступ)
2. Дискретная математика, Электронная версия печатной публикации / А. Н. Макоха, П. А. Сахнюк, Н. И. Червяков. — Москва, Физматлит, 2005

-

### Дополнительная литература

-

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

- Асанов М.О., Баранский В.А., Расин В.В. Дискретная математика: графы, матроиды, алгоритмы. - [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_cid=25&p11\\_id=536](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=536)

## 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, MATLAB, Maple и др.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

1. Рекомендуется успешно сдавать контрольные работы, так как это упрощает итоговую аттестацию по предмету.
2. Для подготовки к итоговой аттестации по предмету лучше всего пользоваться материалами лекций.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Программная инженерия
<b>профиль подготовки:</b>	Разработка программно-информационных систем высшая школа программной инженерии МФТИ - Яндекс высшая школа программной инженерии
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	А.В. Созыкин, канд. техн. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-7 Способен применять в практической деятельности основные концепции, принципы, теории и факты, связанные с информатикой	ОПК-7.3 Умеет выявлять узкие места в процессе разработки и предлагать методы и инструменты для его оптимизации
ПК-2 Способен формализовать и алгоритмизировать поставленную задачу	ПК-2.1 Способен формализовать и алгоритмизировать поставленную задачу

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Дополнительные главы дискретной математики» обучающийся должен:

### знать:

- основные принципы лежащие в основании статистической физики, что такое статистический ансамбль, общие свойства и различия между микроканоническим, каноническим и большим каноническим ансамблями. Круг явлений, в которых возможно применение методов статистической физики.

### уметь:

- зная законы поведения частиц, из которых построена система (молекулы, атомы, ионы, кванты и т. д.), устанавливать законы поведения макроскопического количества вещества.

### владеть:

- методами нахождения термодинамических характеристик вещества пользуясь статистическими ансамблями и законами взаимодействия отдельных частиц.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль состоит из сдачи слушателями задач для самостоятельного решения. Прилагается примеры задания для решения в системе Coq и нескольких задач теоретического характера

Задачи по курсу

1. Приведите, если возможно, следующие термы к  $\beta\eta$ -нормальной форме: а)  $(\lambda x y. x x y)(\lambda x y. u x)(\lambda x. x)(\lambda x y. x u x)$ ; б)  $(\lambda x y. x x y)((\lambda x y. u x)(\lambda x. x))(\lambda x y. x u x)$ .
2. Проверьте, равны ли (в смысле  $=\beta\eta$ ) следующие термы: а)  $(\lambda x y. x x y)(\lambda x y. u x y)(\lambda x y. u x x)$  и  $(\lambda x y. x x y)(\lambda x y. u x x)(\lambda x y. u x y)$ ; б)  $(\lambda x. x x)(\lambda x y. u x y)(\lambda x y. x x y)$  и  $(\lambda x y. u x x)(\lambda x y. u x y)(\lambda x y. x x y)$ .
3. (головная нормальная форма) Докажите, что терм  $M$  является  $\beta$ -нормальным тогда и только тогда, когда он имеет вид  $\lambda x_1 \dots \lambda x_n. y N_1 \dots N_m$ , где все термы  $N_i$  являются  $\beta$ -нормальными,  $n, m > 0$  и любые переменные среди  $y, x_1, \dots, x_n$  могут совпадать.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Список вопросов к дифференцированному зачету:

1. Статистический вес макроскопического состояния системы. Микроканоническое распределение. Энтропия.

2. Вычислить число столкновений со стенкой в 1 сек. частиц релятивистского вырожденного ферми-газа.
3. Условия термодинамического равновесия.
4. Решить уравнение кинетического баланса для двухуровневой системы, рассмотрев частные случаи изолированной системы и системы в термостате.
5. Формула Эйнштейна для флуктуаций основных термодинамических величин.
6. Применить соотношение симметрии кинетических коэффициентов к системе, в которой возможны электрический ток и поток тепла под действием электрического поля и градиента температуры.
7. Большой канонический ансамбль.
8. Проверить формулу Найквиста для классического газа электронов в проводнике.
9. Эквивалентность ансамблей в термодинамическом пределе.
10. Построить изотермы бозе-эйнштейновского газа.
11. Возможна ли бозе-конденсация в двумерном или одномерном газе частиц со степенным законом дисперсии?
12. Квантовое вырождение и условия применимости классической статистики.
13. Вывести барометрическую формулу из стационарного решения уравнения Фоккера-Планка.
14. Классическое равнораспределение энергии по степеням свободы.
15. Сколько тепла выделится в реакции при температуре  $27^\circ \text{C}$  и давлении 1 ат.? (Энергия диссоциации равна 5.12 эВ, энергия разрыва связи равна 1.04 эВ).
16. Классическое равнораспределение энергии по степеням свободы.
17. Как зависит от времени временная корреляционная функция компонент электрического поля равновесного электромагнитного излучения?
18. Вывод свойств классического идеального газа из микроканонического ансамбля.
19. Найти изменение химического потенциала вырожденного электронного газа, обусловленное ориентацией спинов электронов при включении слабого магнитного поля.
20. Вывод свойств классического идеального газа из канонического ансамбля.
21. Принцип минимального производства энтропии для стационарных состояний открытых систем.
22. Вывод свойств классического идеального газа из большого канонического ансамбля.
23. Вычислить разность для газа вандер-Ваальса.
24. Распределение Максвелла-Больцмана.
25. Найти коэффициент диффузии заряженной броуновской частицы в среде с коэффициентом трения  $\gamma$ , температурой  $T$  при наличии постоянного магнитного поля  $H$ .

#### Критерии оценивания

- оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений
- оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений
- оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, и правильное обоснование принятых решений
- оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал, и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;



- оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет фрагментарно основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач
- оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает формулировок основных понятий дисциплины.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.