

# Общая физика: термодинамика и статистическая физика

## Лекторы:

Андрей Кудлис

## Ассистент:

Максим Коробков

Леонид Герчиков

Александр Смирнов

Сюзанна Асадулина



## Язык:

Русский

## Трудоемкость:

6 з.е.

## Форма контроля:

Экзамен

## Образовательная программа:

Теоретическая и экспериментальная физика

2 семестр

Беспроводные технологии

2 семестр

## Пререквизиты:

Общая физика: механика

Лекции (ак.час)*	Практические занятия (ак.час)	Лабораторные занятия (ак.час)
64	64	64
*1 академический час = 45 минутам		

Термодинамика и статистическая физика - второй раздел пятисеместрового курса общей физики. Первая часть раздела посвящена термодинамике. Студенты изучат начала термодинамики, познакомятся с методом термодинамических потенциалов и его приложениями. Во второй части рассматриваются элементы статистической физики: распределения Максвелла, Больцмана и Гиббса, статистическая сумма и энтропия. Также в курс входят вопросы теории переноса и элементы гидродинамики.

## Содержание курса

### 2 семестр

#### Общая физика: термодинамика и статистическая физика

##### Структура курса

Тема	Разделы	Лекции (ак. час)	Практ. (ак. час)
1	Основные понятия, задачи и методы молекулярной физики. Макроскопические параметры, термодинамическая система, термодинамические параметры, термодинамическое равновесие. Нулевое начало термодинамики. Термическое и калорическое уравнения состояния.	2	2
2	Идеальный газ. Связь давления идеального газа с кинетической энергией молекул. Уравнение состояния идеального газа. Внутренняя энергия идеального газа. Идеально-газовое определение температуры.	2	2
3	Работа, внутренняя энергия, теплота. Первое начало термодинамики. Теплоёмкость. Теплоёмкости при постоянном объёме и постоянном давлении, соотношение Майера для идеального газа. Адиабатический и политропический процессы. Адиабата и политропа идеального газа. Скорость звука в газах.	2	2
4	Циклические процессы. Тепловые машины. КПД тепловой машины. Цикл Карно. Теоремы Карно. Холодильная машина и тепловой насос. Обратимые и необратимые процессы. Второе начало термодинамики. Эквивалентные формулировки второго начала. Неравенство Клаузиуса.	2	2
5	Термодинамическое определение энтропии. Изменение энтропии в необратимых процессах, закон возрастания энтропии. Энтропия идеального газа. Неравновесное расширение идеального газа в пустоту.	2	2
6	Термодинамические функции и их свойства. Преобразования термодинамических функций. Термодинамические потенциалы: внутренняя энергия, энтальпия, свободная энергия, энергия Гиббса. Соотношения Максвелла. Максимальная работа системы при контакте с термостатом. Максимальная полезная работа.	2	2
7	Примеры применения термодинамических потенциалов. Термодинамика излучения (свойства идеального газа фотонов). Адиабатическое растяжение резинового и металлического стержней. Тепловое расширение твёрдых тел.	4	4
8	Поверхностные явления. Краевые углы, смачивание и несмачивание. Формула Лапласа. Свободная и внутренняя энергия единицы поверхности.	2	2
9	Фаза и агрегатное состояние. Классификация фазовых переходов (I и II рода). Экстенсивные и интенсивные величины. Химический потенциал. Условия равновесия фаз для переходов I рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Кривая фазового равновесия «жидкость-пар», зависимость давления насыщенного пара от температуры. Фазовые диаграммы. Тройная точка. Диаграмма состояния «лёд-вода-пар». Критическая точка.	4	4
10	Метастабильные состояния. Перегретая жидкость и переохлаждённый пар. Зависимость давления пара от кривизны поверхности жидкости. Кипение. Роль зародышей в образовании фазы.	2	2
11	Газ Ван-дер-Ваальса как модель реального газа. Внутренняя энергия и энтропия газа Ван-дер-Ваальса. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса и изотермы реальной системы. Правило Максвелла (правило рычага). Критические параметры и приведённое уравнение состояния. Адиабата газа Ван-дер-Ваальса. Неравновесное расширение газа Ван-дер-Ваальса в пустоту.	4	4
12	Элементы гидродинамики идеальной жидкости. Линии тока, стационарное ламинарное течение. Уравнение Бернулли для сжимаемой и несжимаемой жидкости. Изоэнтропическое течение идеального газа, истечение газа из отверстия. Эффект Джоуля-Томсона, температура инверсии.	2	2
13	Элементы теории вероятностей. Частотное определение вероятности. Дискретные и непрерывные случайные величины, плотность вероятности. Условие нормировки. Средние величины и дисперсия. Независимые случайные величины. Нормальный закон распределения как предел распределения для суммы большого числа независимых слагаемых (без вывода). Зависимость дисперсии суммы независимых слагаемых от их числа («закон $\sqrt{N}$ »).	4	4

14	Распределение Максвелла: распределения частиц по компонентам скорости и абсолютным значениям скорости. Доля молекул, лежащих в заданном интервале скоростей. Наиболее вероятная, средняя и среднеквадратичная скорости. Распределение Максвелла по энергиям. Элементы молекулярно-кинетической теории. Плотность потока частиц, движущихся в заданном направлении. Среднее число и средняя энергия частиц, вылетающих в вакуум через малое отверстие в сосуде.	4	4
15	Распределение Больцмана в поле внешних сил. Барометрическая формула. Распределение Максвелла—Больцмана.	2	2
16	Основы статистической физики классических идеальных систем. Фазовое пространство. Макро- и микросостояния. Статистический вес макросостояния. Статистическое определение энтропии. Аддитивность энтропии независимых подсистем. Закон возрастания энтропии. Третье начало термодинамики (теорема Нернста). Распределение Гиббса–Больцмана для идеального газа. Понятие о каноническом распределении Гиббса	2	2
17	Зависимость статистического веса и энтропии от числа частиц в системе. Изменение энтропии при смешении газов, парадокс Гиббса. Приложения статистической физики. Классическая теория теплоёмкостей: закон равномерного распределения энергии теплового движения по степеням свободы. Теплоёмкость кристаллов (закон Дюлонга–Пти)	2	2
18	Элементы квантовой теории теплоёмкостей. Замораживание степеней свободы, характеристические температуры. Зависимость теплоёмкости газов от температуры.	2	2
19	Статистическая температура. Свойства двухуровневой системы, инверсная заселённость.	2	2
20	Флуктуации. Связь вероятности флуктуации с изменением энтропии системы. Флуктуации аддитивных величин, зависимость флуктуаций от числа частиц. Флуктуация числа частиц в выделенном объёме. Флуктуация энергии системы в жёсткой термостатированной оболочке. Флуктуация объёма в изотермическом и адиабатическом процессах. Влияние флуктуаций на чувствительность измерительных приборов (пружинные весы, газовый термометр).	4	4
21	Столкновения. Эффективное газокинетическое сечение. Длина свободного пробега. Распределение молекул по длинам свободного пробега. Число столкновений молекул в единице объёма. Явления молекулярного переноса: диффузия, теплопроводность, вязкость. Законы Фика, Фурье и Ньютона. Коэффициенты переноса в газах.	2	2
22	Уравнение диффузии и теплопроводности. Температуропроводность. Стационарные и квазистационарные распределения концентрации и температуры.	2	2
23	Диффузия как процесс случайных блужданий. Задача о случайных блужданиях, среднеквадратичное смещение частицы при большом числе шагов. Законы расплывания облака частиц и распространения тепла за счёт теплопроводности.	2	2
24	Броуновское движение макроскопических частиц. Подвижность. Закон Эйнштейна–Смолуховского для смещения броуновской частицы. Связь подвижности отдельной частицы и коэффициента диффузии облака частиц (соотношение Эйнштейна).	2	2
25	Стационарное ламинарное течение вязкой жидкости/газа по прямолинейной трубе, формула Пуазейля. Течение разрежённого газа по прямолинейной трубе. Явления переноса в разрежённых газах: эффект Кнудсена (эффузия), зависимость коэффициента теплопроводности разрежённого газа от давления.	2	2
26	Безразмерные параметры и законы подобия для течений. Число Рейнольдса. Число Кнудсена. Эффект Магнуса и подъёмная сила при обтекании крыла (качественное объяснение).	2	2

#### Наименования лабораторных работ:

- 2.01 Изучение законов идеального газа на примере воздуха
- 2.02 Определение отношения изобарной и изохорной теплоемкостей методом Клемана-Дезорма
- 2.03 Определение отношения изобарной и изохорной теплоемкостей методом стоячих волн
- 2.04 Определение коэффициента вязкости жидкости
- 2.05 Определение изменения энтропии при плавлении олова
- 2.06 Измерение теплоемкости тел
- 2.07 Определение показателя адиабаты воздуха с использованием осциллятора Фламмерсфельда
- 2.08 Определение коэффициента вязкости воздуха методом капилляра
- 2.09 Определение коэффициента теплопроводности воздуха методом нагретой нити
- 2.10 Измерение теплоты парообразования воды
- 2.11 Проверка законов Бойля-Мариотта и Шарля

#### Рекомендуемые ресурсы

1. Савельев, И. В. Сборник вопросов и задач по общей физике: учебное пособие : / И. В. Савельев. — 9-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019 — 292 с.
2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учебное пособие : в 5 томах / Д. В. Сивухин. — 6-е изд., стереот. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 2 : Термодинамика и молекулярная физика — 2021. — 544 с. — ISBN 978-5-9221-1514-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185719>
3. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учебное пособие : в 5 томах / Д. В. Сивухин. — 6-е изд., стереот. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2020 — Том 3 : Электричество — 2020. — 565 с. — ISBN 978-5-9221-1643-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185725>
4. Иродов, И. Е. Задачи по общей физике : учебное пособие / И. Е. Иродов ; художник Н. А. Лозинская, В. А. Прокудин. — 14-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 434 с. — ISBN 978-5-93208-513-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/172247>
5. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учебное пособие : в 5 томах / Д. В. Сивухин. — 6-е изд., стереот. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2020 — Том 1 : Механика — 2020. — 560 с. — ISBN 978-5-9221-1512-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185713>. — Режим доступа: для авторизованных пользователей
6. Иродов, И. Е. Механика. Основные законы : учебное пособие / И. Е. Иродов ; художник Н. А. Лозинская. — 15-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 312 с. — ISBN 978-5-93208-519-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/172250>
7. Савельев, И. В. Основы теоретической физики : учебник для вузов / И. В. Савельев. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. — Том 1 : Механика. Электродинамика — 2022. — 496 с. — ISBN 978-5-8114-9042-4 (том 1), 978-5-8114-0618-0 (общий). — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/183764>
8. Бутиков, Е. И. Физика : учебное пособие : в 3 книгах / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Книга 1 : Механика — 2021. — 352 с. — ISBN 978-5-9221-0107-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185570>
9. Бутиков, Е. И. Физика : учебное пособие : в 3 книгах / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2020 — Книга 2 : Электродинамика. Оптика — 2020. — 340 с. — ISBN 978-5-9221-0108-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185576>

## Политика оценивания

**Оценочные средства дисциплины: лабораторная работа, проект, контрольная работа, коллоквиум, экзамен.**

**За семестр можно набрать максимум 103 балла:**

- 25 баллов за лабораторные работы
- 15 баллов за проект
- по 15 баллов за каждую из двух контрольных работ (в середине и в конце семестра)
- 10 баллов за коллоквиум (в середине семестра)
- 20 баллов за экзамен
- 3 дополнительных балла (на усмотрение семинаристов, либо на экзамене за выдающийся ответ)

Допускается получение дробных баллов

**Оценка за семестр формируется исходя из суммарного количество баллов, полученных за период обучения:**

- больше 90 - отлично
- больше 74 и до 90 - хорошо
- больше 60 и до 74 - удовлетворительно

**Лабораторные работы:**

- в течение семестра проводится 11 лабораторных работ;
- для допуска к экзамену необходимо получить за все лабораторные работы совокупно не менее 15 баллов;
- по сдачам отчетов вводятся жесткие дедлайны: до конца VII недели (27/03/2022) по первой половине семестра и до конца XIII недели (30/04/2022) по второй половине семестра. Если студент не сдает отчеты к этим датам и при этом не набирает необходимых 15 баллов, он автоматически не допускается до первой попытки сдачи экзамена;

**Проекты:**

- в процессе групповой работы студенты работают над проектом под руководством научного руководителя, по окончании проекта студентом готовится отчет и проводится публичная защита;
- проектная деятельность студентов проводится в первом и втором модуле семестра и оценивается максимально 15 баллами;

**Домашнее задание:**

- в семестре предусмотрены две сдачи домашних заданий в середине и конце семестра, проходящих до контрольных работ;
- сдача домашнего задания своему семинаристу заключается в решении в присутствии семинариста нескольких задач из набора, ранее заданных на дом, или полностью им аналогичных;
- за каждое из двух домашних заданий можно набрать до 6 баллов, которые затем прибавляются к баллам, полученным за контрольную работу (но не более 15 в сумме);

- каждое домашнее задание сдается один раз, но у студентов будет возможность перерешать домашние задачи на устном экзамене, если при сдаче задания они не набрали 6 баллов;

#### **Контрольные работы:**

- в семестре проводятся две контрольные работы в середине и в конце семестра;
- на каждой работе будет предложено 5-6 задач, каждая оценивается в 2-3 балла, на написание работы отводится до 3,5 часов;
- работа является обязательной к посещению и не предусматривает переписывания, кроме уважительных и форс-мажорных случаев;

#### **Коллоквиум и экзамен:**

- на коллоквиуме и экзамене студент получает билет с двумя теоретическими вопросами;
- билеты на коллоквиуме - по первой половине семестра, билеты на экзамене - по второй половине семестра;
- если студент захочет повысить оценку за коллоквиум или пересдать его, если не сдавал, он сможет сдавать экзамен в конце семестра по всем темам;
- при условии хорошей подготовки на экзамене можно добрать баллы, чтобы повысить итоговую оценку, получив дополнительные задачи (если до более высокой оценки не хватает не более 4 баллов);
- на коллоквиум допускаются все студенты;
- допуском к экзамену является получение не менее 15 баллов за лабораторные работы и прохождение защиты проекта;
- при отсутствии допуска к экзамену студент автоматически отправляется на пересдачу, для которой действуют те же правила допуска.

Вопросы лектору можно задавать после лекций или направлять в форме личных сообщений через ИСУ или на данном портале, <https://study.physics.itmo.ru> (сообщения, отправленные любым другим способом, скорее всего, останутся без ответа).