

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

УТВЕРЖДЕНО

**Проректор по учебной работе и
довузовской подготовке**

А.А. Воронов

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине: Статистическая физика

по направлению: Прикладные математика и физика

профиль подготовки: Биофизика и биоинформатика
Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики
кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау

курс: 4

квалификация: бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 4

Программу составил: А.В. Михеенков, д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической физики им. Л.Д. Ландау 23.05.2020

Аннотация

Курс статистической физики состоит из пяти основных глав.

Глава I представляет собой краткое напоминание основ термодинамики. Замкнутые системы, термодинамические величины, температура, энтропия и так далее. В качестве примера разбирается термодинамика фазовых переходов I рода.

Глава II – одна из важнейших – посвящена изложению основных принципов и базовых положений статистической физики. Понятие среднего, эргодическая гипотеза, энтропия Больцмана и Гиббса. Каноническое и большое каноническое распределения... Завершается глава кратким изложением вторичного квантования и разделом «Квантование колебаний решетки, фононы».

Глава III – идеальные газы. Классический больцмановский газ, идеальные ферми- и бозе-газы. Низкотемпературный предел: бозе-конденсация и вырожденный ферми-газ.

Глава IV – фазовые переходы I и II. Теория фазовых переходов Ландау, критерий ее применимости, флуктуации параметра порядка, критические индексы.

Глава VI – низкотемпературные свойства конденсированных сред. Здесь основные темы – слабонеидеальный бозе-газ и сверхтекучесть, ферромагнетик в приближении среднего поля и стандартная теория сверхпроводимости.

Глава VII – коллективные возбуждения. В этой главе часть вопросов предполагает факультативное изучение. Основные обязательные темы – спиновые волны и спиновые стекла.

Предполагается сдача двух заданий. По желанию в задания, кроме обязательных задач, могут быть добавлены дополнительные (упражнения), часть из которых будет затем включена в экзаменационные билеты. При неизменности общего состава курса последовательность изложения может отличаться от представленной выше.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Дать студентам знания, необходимые для описания различных физических явлений в области приложений как классической, так и квантовой статистической физики, и методы построения соответствующих математических моделей. Показать соответствие системы постулатов, положенных в основу статистической физики, существующим экспериментальным данным, что позволяет считать теорию достоверной в области её применимости. Дать навыки, позволяющие понять адекватность теоретической модели соответствующему физическому явлению и определить пределы её применимости.

Задачи дисциплины

- Изучение математического аппарата как классической, так и квантовой статистической физики;
- изучение методов решения задач как классической, так и квантовой статистической физики;
- изучение методов описания макроскопических систем частиц и их термодинамических свойств, в том числе систем, взаимодействующих с внешними полями;
- овладение студентами методов классической и квантовой статистической физики для описания свойств различных конкретных физических систем.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их 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

ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
---	---

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- Постулаты и принципы как классической, так и квантовой статистической физики, методы описания макроскопических систем частиц различной природы, а также постулаты термодинамики;
- основные уравнения термодинамики и свойства термодинамических потенциалов;
- основные методы математического аппарата систем многих частиц, формализм чисел заполнения (метод вторичного квантования), аппарат статистического усреднения операторов;
- основные методы решения задач как классической, так и квантовой статистической физики, включая анализ термодинамических свойств и поведения макроскопических систем во внешних полях;
- методы и способы описания конденсированного состояния вещества;
- методы описания низкотемпературных свойств сильновзаимодействующих систем.

уметь:

- Пользоваться аппаратом якобианов в приложении к термодинамике;
- пользоваться аппаратом теории вероятностей;
- пользоваться аппаратом вероятностных функций распределения;
- решать термодинамические задачи с учетом внешних полей;
- решать задачи о поведении макроскопических систем в заданном внешнем поле;
- применять метод теории среднего поля для решения задач о фазовых переходах второго рода;
- решать задачи про флуктуации термодинамических величин макроскопических систем;
- решать задачи про флуктуации параметра порядка сильновзаимодействующих систем.

владеть:

- Основными методами математического аппарата как классической, так и квантовой статистической физики;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных как со свойствами макроскопических систем различной природы, так и с их термодинамическими свойствами.

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	Принципы термодинамики	2	2		4
2	Микроканонический ансамбль	2	2		4
3	Канонический ансамбль	2	2		3
4	Информационная энтропия	2	2		4
5	Классический (больцмановский) газ	2	2		3
6	Ферми-газ	2	4		3
7	Бозе-газ	2	4		3
8	Ферромагнетизм	2	2		3
9	Сверхтекучесть	2	2		3
10	Сверхпроводимость	4	2		3
11	Фазовые переходы	2	2		4

5. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика [Текст]. В 10 т. Т. 9. Ч. 2. Статистическая физика. Теория конденсированного состояния : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - М. : Физматлит, 2000-2005. - 496 с.

Дополнительная литература

1. Термодинамика, статистическая физика и кинетика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин .— / 3-е изд., перераб. — Новосибирск : Изд-во Новосибир. ун-та, 2000, 2001 .— 608 с.
2. Введение в современную статистическую физику [Текст] : курс лекций для вузов / Р. О. Зайцев .— 2-е изд., испр. — М. : Едиториал УРСС, 2006 .— 400 с.
3. Задачи по теоретической физике [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Белоусов, С. Н. Бурмистров, А. И. Тернов .— Долгопрудный : Интеллект, 2013 .— 584 с.

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

Не используются

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

Ссылка страницы кафедры на официальном сайте университета
http://mipt.ru/education/chair/theoretical_physics//

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

Индивидуальная работа предполагает самостоятельное выполнение студентом определенного в «Задании» набора упражнений и задач в соответствии с тематикой семинарских занятий. При необходимости студент получает консультацию по выполнению отдельных задач у преподавателя ведущего занятия как во время проведения семинарских занятий, так и во внеурочное время по согласованию с преподавателем. «Задание» раздается всем студентам в виде учебно-методического материала, содержащего программу курса и упражнения, и задачи, включенные в два домашних задания. Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем или вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Биофизика и биоинформатика Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

Разработчик: А.В. Михеенков, д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их 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
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Статистическая физика» обучающийся должен:

знать:

- Постулаты и принципы как классической, так и квантовой статистической физики, методы описания макроскопических систем частиц различной природы, а также постулаты термодинамики;
- основные уравнения термодинамики и свойства термодинамических потенциалов;
- основные методы математического аппарата систем многих частиц, формализм чисел заполнения (метод вторичного квантования), аппарат статистического усреднения операторов;
- основные методы решения задач как классической, так и квантовой статистической физики, включая анализ термодинамических свойств и поведения макроскопических систем во внешних полях;
- методы и способы описания конденсированного состояния вещества;
- методы описания низкотемпературных свойств сильно взаимодействующих систем.

уметь:

- Пользоваться аппаратом якобианов в приложении к термодинамике;
- пользоваться аппаратом теории вероятностей;
- пользоваться аппаратом вероятностных функций распределения;
- решать термодинамические задачи с учетом внешних полей;
- решать задачи о поведении макроскопических систем в заданном внешнем поле;
- применять метод теории среднего поля для решения задач о фазовых переходах второго рода;
- решать задачи про флуктуации термодинамических величин макроскопических систем;
- решать задачи про флуктуации параметра порядка сильно взаимодействующих систем.

владеть:

- Основными методами математического аппарата как классической, так и квантовой статистической физики;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных как со свойствами макроскопических систем различной природы, так и с их термодинамическими свойствами.

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

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Допуск к экзамену по дисциплине «Статистическая физика» проводится преподавателем по итогам работы студента в семестре в случае успешного освоения дисциплины. В случае если студент не усвоил дисциплину, и результаты его работы в семестре оказались неудовлетворительными, проводится дополнительный опрос на предмет выявления знаний. Дополнительный опрос проводится в виде тестов, содержание которых полностью соответствует содержанию тестовых опросов студентов в течение семестра.

Оценка уровня студентов для допуска к экзамену складывается из оценок трех позиций: знаний, умений и навыков.

Знания студентов оцениваются в результате проведения еженедельного опроса пройденного материала. Опрос проводится в письменной форме в виде тестовых вопросов. Пример тестовых вопросов приведен ниже.

Умения и навыки студентов определяются по итогам сдачи домашних заданий. Всего студентам предлагается два домашних задания. Задание содержит три типа задач и упражнений. Типовые задачи и упражнения разбираются на семинарских (практических) занятиях. Аналогичные задачи и упражнения студенты должны решить самостоятельно, используя рекомендованную литературу. Кроме того, студентам предлагаются специально помеченные задачи повышенной сложности. Решение таких задач требует от студента навыков и представляет собой оценку навыков решения задач повышенной сложности.

Навыки студентов проверяются в результате решения контрольных работ, которые проводятся во время аудиторных занятий. Задачи аналогичны типовым задачам, включенным в домашние задания, как рассматриваемым на семинарских (практических) занятиях, так и предлагаемым для самостоятельного решения. Задания контрольных работ оценены в определенную сумму баллов, что позволяет оценить уровень умения и навыков студентов.

Вопросы, включенные в тестовые опросы, охватывают основные понятия, рассмотренные на предыдущей лекции.

Пример вопросов тестового задания:

1. Запишите критерий Ландау сверхтекучести квантовой жидкости со спектром возбуждений $\varepsilon(p)$.
2. Для воды из-под крана критерий сверхтекучести ($v < v_c$) выполнен, почему же она не сверхтекуча?
3. Запишите выражение для гамильтониана системы тождественных взаимодействующих частиц в представлении вторичного квантования для большого канонического ансамбля (T, V, μ) .
4. Запишите преобразования Боголюбова, связывающего операторы \hat{a}_p и \hat{b}_p и их э.с.
5. Запишите выражение для скорости боголюбовского звука c .
6. Запишите выражение для спектра возбуждений $\varepsilon(p)$ в слабонеидеальном вырожденном бозе-газе.
7. Что больше: фазовая скорость фонона в слабонеидеальном бозе-газе или гидродинамическая скорость боголюбовского звука в нем?
8. Как зависит от константы взаимодействия U_0 число надконденсатных частиц $N - N_0$ при нулевой температуре?
9. Как зависит от температуры T теплоемкость сверхтекучей жидкости C_V ?

3. Функционал Гинзбурга – Ландау. Уравнение для комплексного параметра порядка $\psi(\mathbf{r})$.

4. Критерии оценивания

4а. Критерии оценивания (оценка за работу в семестре)

Оценка	Набранные баллы
отлично (10)	более 90%
отлично (9)	от 80% до 90% включительно
хорошо (8)	от 70% до 80% включительно
хорошо (7)	от 60% до 70% включительно
хорошо (6)	от 50% до 60% включительно
удовлетворительно (5)	от 40% до 50% включительно
удовлетворительно (4)	от 30% до 40% включительно
удовлетворительно (3)	от 20% до 30% включительно
неудовлетворительно (2)	Не получена удовлетворительная оценка в период зачетной сессии. Требуется дополнительное тестирование

Студенты, получившие за работу в семестре к началу экзаменационной сессии оценку «неудовлетворительно» (менее 20% усвоения материала), или не сдавшие оба задания, считаются не усвоившими материал и не выполнившими задания курса, поэтому к экзамену не допускаются.

4б. Критерии оценивания (экзамен)

Итоговая оценка на экзамене выставляется в соответствии со схемой:

Оценка	Баллы	Критерии
Отлично	10	10 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 8. 9 баллов за экзамен и 10 баллов за работу в семестре
	9	9 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 8.
	8	8 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 6. 7 баллов за экзамен и более 8 баллов за работу в семестре
Хорошо	7	7 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 5. 6 баллов за экзамен и более 8 баллов за работу в семестре
	6	6 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 5. 5 баллов за экзамен и более 7 баллов за работу в семестре
	5	5 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 3.
удовлетворительно	4	4 балла за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 3.
	3	3 балла за экзамен и оценка за работу в семестре 3.
неудовлетворительно	2	2 балла за экзамен и оценка за работу в семестре 3.
	1	1 балл за экзамен и оценка за работу в семестре 3.

