

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

УТВЕРЖДЕНО
Проректор по учебной работе

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Статистическая физика
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Математическое моделирование и компьютерные технологии Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
курс:	4
квалификация:	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: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

А.В. Михеенков, д-р физ.-мат. наук, доцент по кафедре, профессор

Е.В. Суровцев, канд. физ.-мат. наук, доцент

И.Я. Полищук, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

А.М. Белемук, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

А.А. Пухов, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической физики им. Л.Д. Ландау 22.01.2024

Аннотация

В настоящее время методы статистической физике активно используются в различных областях естествознания. К этим областям относятся, в первую очередь, физика и химия. Однако многие научные достижения в биологии и медицине также используют базовые принципы статистической физики. Важность изучения этого предмета связана также с тем, что многие положения статистического подхода к исследованию различных явлений используются современной экономикой и социологией.

Условно курс можно разделить на две части.

В первой части излагаются основы термодинамики и статистической физики. При этом изложение основано на методе различных статистических ансамблей. Это позволяет единым образом описывать равновесные свойства различных физических систем как в термодинамическом пределе (бесконечные системы), так и флуктуации в них. В качестве иллюстрации метода используются различные модели многочастичных систем, в которых частицы не взаимодействуют между собой.

Во второй части курса исследуются физические системы, в которых взаимодействием пренебречь нельзя. Основной целью этой части курса является изложение методов, которые позволяют свести задачу к ансамблю невзаимодействующих квазичастиц (фононы в кристаллах и слабонеидеальном сверхтекучем Бозе-газе, щелевые возбуждения в Ферми-газе с притяжением). (При этом, существенно используются знания, полученные студентами в курсах теории поля и квантовой механики.)

Наряду с этим, на основе общих принципов, изучаемых в первой части курса, излагается современный подход к исследованию критических явлений, основанный на функционале Гинзбурга-Ландау. Ввиду прикладного значения для современной физической химии и биологии часть лекционного материала и семинарских занятий посвящена изучению статистических и термодинамических свойств идеальных и неидеальных растворов.

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-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области

	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации
	ПК-2.2 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого научного коллектива
	ПК-2.3 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

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 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.

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	Бозе-газ	2	2		2
2	Информационная энтропия	2	2		3
3	Канонический ансамбль	4	4		2
4	Классический (больцмановский) газ	2	2		2
5	Микроканонический ансамбль	2	2		2
6	Принципы термодинамики	2	2		3
7	Сверхпроводимость	2	2		2
8	Сверхтекучесть	2	2		3
9	Фазовые переходы	2	2		2
10	Фазовые переходы II рода	4	4		3
11	Ферми-газ	2	2		2
12	Ферромагнетизм	2	2		2
13	Флуктуации параметра порядка	2	2		2
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 7 (Осенний)

1. Бозе-газ

Идеальный бозе-газ. Бозе-конденсация, теплоемкость, уравнение состояния бозе-газа. Концепция квазичастиц. Фотоны и фононы. Химический потенциал, давление и теплоемкость черного излучения и твердого тела.

2. Информационная энтропия

Информационная энтропия Гиббса. О законе возрастания энтропии как потере информации. Теорема Нернста. Представление чисел заполнения. Вторичное квантование бозе- и ферми-газа. Гамильтонианы идеальных газов в представлении чисел заполнения.

3. Канонический ансамбль

Распределение Гиббса (канонический ансамбль). Эквивалентность канонического и микроканонического распределений в термодинамическом пределе. Флуктуация энергии в ансамбле Гиббса. Статистическая сумма. Основная формула статистической физики.

4. Классический (больцмановский) газ

Больцмановский газ, вычисление его термодинамических величин. Ионизация и диссоциация. Большой канонический ансамбль. Температура вырождения.

5. Микроканонический ансамбль

Макроскопические системы. Средние значения. Эргодическая гипотеза. Статистическая независимость и закон больших чисел. Термодинамический предел. Число состояний, плотность числа состояний. Статистическая энтропия Больцмана. Функция распределения и матрица плотности. Уравнение Лиувилля.

6. Принципы термодинамики

Замкнутые системы. Термодинамические величины. Температура. Термодинамическое равновесие. Энтропия. Неравновесная энтропия и второй закон термодинамики. Термодинамические тождества и неравенства. Принцип минимальности термодинамических потенциалов. Термодинамические потенциалы в магнитном поле. Термодинамические флуктуации. Принцип Больцмана.

7. Сверхпроводимость

Микроскопическая теория сверхпроводимости неидеального ферми-газа. Гамильтониан БКШ. Неустойчивость Купера. Энергетическая щель. Термодинамика сверхпроводника, скачок теплоемкости. Теория Гинзбурга-Ландау. Сверхпроводящий ток. Уравнение Лондонов. Эффект Мейсснера. Сверхпроводники I и II рода. Вихри Абрикосова. Верхнее и нижнее критические магнитные поля. Квантование магнитного потока. Эффект Джозефсона.

8. Сверхтекучесть

Микроскопическая теория сверхтекучести неидеального бозе-газа. Преобразование Боголюбова. Элементарные возбуждения. Критерий сверхтекучести Ландау.

9. Фазовые переходы

Условия равновесия фаз. Химическое равновесие. Формула Саха. Фазовые переходы I и II рода. Изменение симметрии фазы. Параметр порядка.

10. Фазовые переходы II рода

Теория фазовых переходов II рода (теория «среднего поля») в применении к ферромагнетику и сверхпроводнику.

11. Ферми-газ

Идеальный ферми-газ. Химический потенциал, давление и теплоемкость электронов в металле. Парамагнетизм Паули. Диамагнетизм Ландау. Эффект де Гааза-ван Альфена.

12. Ферромагнетизм

Микроскопическая теория ферромагнетизма в приближении самосогласованного поля. Гамильтониан Гейзенберга. Магноны. Закон Блоха.

13. Флуктуации параметра порядка

Флуктуации параметра порядка и корреляционная длина. Флуктуационная теплоемкость. Критерий применимости теории «среднего поля». Масштабная инвариантность. Критические индексы.

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

Стандартная аудитория, желательно, с мультимедийным проектором.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 5, Ч. 1 : Статистическая физика : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2005, 2010 .— 616 с.
2. Лекции по статистической физике [Текст] : учеб. пособие для вузов / Л. А. Максимов, А. В. Михеенков, И. Я. Полищук ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т .— М. : МФТИ, 2011 .— 328 с.
1. 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. 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)

Программой не предусмотрено.

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.

Экзамен проводится в устной форме. Экзаменационные билеты могут содержать наряду с теоретическими вопросами, также и типовые задачи. Форма билета определяется лектором и зависит от лекционного потока.

Традиционная форма билета содержит 2 теоретических вопроса и одну типовую задачу. Ответ студента оценивается по 10-балльной шкале.

Билеты также могут состоять из 3 – 5 относительно простых вопросов и вопроса (вопросов) повышенной сложности. Простые вопросы оценивают уровень знаний. Сложные вопросы оценивают уровень умений и навыков.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Математическое моделирование и компьютерные технологии Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
курс:	4
квалификация:	бакалавр

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

Разработчики:

А.В. Михеенков, д-р физ.-мат. наук, доцент по кафедре, профессор
Е.В. Суровцев, канд. физ.-мат. наук, доцент
И.Я. Полищук, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор
А.М. Белемук, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент
А.А. Пухов, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации
	ПК-2.2 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого научного коллектива
	ПК-2.3 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

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

1. Определить коэффициент теплового расширения, заданный в переменных (P, T) , с помощью уравнения ван-дер-Ваальса, записанного в виде $P=f(V/N, T)$.
2. Система представляет собой ячейки адсорбционных центров. В каждой ячейке находится протон либо без электрона, \square с энергией равной нулю, либо с одним электроном, с проекцией спина, равной $\square/2$, и с энергией равной \square . Определить зависимость энтропии системы S от полной энергии E .
3. Определить низкотемпературное поведение химического потенциала и теплоёмкости одномерного ультрарелятивистского бозе-газа
4. Рассмотреть $u-v$ преобразование Боголюбова в пределе длинных волн и вычислить температурную поправку к числу надконденсатных ультрарелятивистских частиц в двумерном неидеальном Бозе-газе.
5. Определить спиновый магнитный момент и спиновую магнитную восприимчивость сверхпроводника, помещённого во внешнее магнитное поле H .

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

1. Запишите критерий Ландау сверхтекучести квантовой жидкости со спектром возбуждений .
2. Для воды из-под крана критерий сверхтекучести выполнен, почему же она не сверхтекуча?
3. Запишите выражение для гамильтониана системы тождественных взаимодействующих частиц в представлении вторичного квантования для большого канонического ансамбля .
4. Запишите преобразования Боголюбова, связывающего операторы \hat{a} и \hat{b} и их э.с.
5. Запишите выражение для скорости боголюбовского звука .
6. Запишите выражение для спектра возбуждений 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 число надконденсатных частиц при нулевой температуре?
9. Как зависит от температуры теплоемкость сверхтекучей жидкости ?
10. Как зависит от температуры плотность нормальной компоненты сверхтекучей жидкости?

Критерии оценивания**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 зачетной недели оценку «неудовлетворительно» (менее 20% усвоения материала), или не сдавшие оба задания, считаются не усвоившими материал и не выполнившими задания курса, поэтому к дифференцируемому зачету не допускаются.

4б. Критерии оценивания (дифференцируемого зачета)

Итоговая оценка на дифференцируемом зачете выставляется в соответствии со схемой:

Оценка Баллы Критерии

Отлично 10 10 баллов за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 8.

9 9 баллов за дифференцируемый зачет и 10 баллов за работу в семестре

9 9 баллов за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 8.

8 8 баллов за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 6.

7 7 баллов за дифференцируемый зачет и более 8 баллов за работу в семестре

Хорошо 7 7 баллов за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 5.

6 6 баллов за дифференцируемый зачет и более 8 баллов за работу в семестре

6 6 баллов за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 5.

5 5 баллов за дифференцируемый зачет и более 7 баллов за работу в семестре

5 5 баллов за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 3.

удовлетворительно 4 4 балла за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 3.

3 3 балла за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре 3.

неудовлетворительно 2 2 балла за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре 3.

1 1 балл за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре 3.

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

Студенты, допущенные к дифференцируемому зачету, отвечают на вопросы билета, имея возможность на подготовку не менее 1 часа. Ответы представляются в письменном виде, по которым проводится устное собеседование.

Оценка за ответ на билет выставляется в соответствии со следующим критериями:

Студент, не ответивший правильно ни на один вопрос, получает оценку неудовлетворительно (1 или 2)

Студент, ответивший правильно

только на 1 вопрос, получает оценку «удовлетворительно» (3 или 4 балла), в зависимости от полноты правильного ответа и ответов на другие дополнительные вопросы;

на 2 вопроса, получает оценку «хорошо» (5, 6 или 7 баллов), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на другие вопросы;

на все 3 вопроса, получает 8 баллов («отлично») и возможность ответа на дополнительные вопросы повышенной сложности для получения оценки «отлично» с баллами 9 или 10.

Во время проведения дифференцируемого зачета студенты могут пользоваться программой дисциплины и сборниками домашних заданий. Учебной, учебно-методической и справочной литературой пользоваться во время дифференцируемого зачета, а не допускается. Во время дифференцируемого зачета должны быть также выключены мобильные телефоны.

Перед началом зачетной недели студенты получают перечень вопросов, ответы на которые необходимо знать для успешной сдачи дифференцируемого зачета. Формулировки вопросов в билетах студенты узнают во время консультаций.

Студенты, получившие итоговую оценку «отлично» (10) и решившие и защитившие задачи повышенной сложности домашнего задания, могут получить дополнительные зачетные единицы по курсу.

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

Допуск к дифференцируемому зачету 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 дифференцируемому зачету 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 ?
10. Как зависит от температуры T плотность нормальной компоненты ρ_n сверхтекучей жидкости?

Пример контрольной работы:

1. Определить коэффициент теплового расширения, заданный в переменных (P, T) , с помощью уравнения ван-дер-Ваальса, записанного в виде $P=f(V/N, T)$.
2. Система представляет собой ячейки адсорбционных центров. В каждой ячейке находится протон либо без электрона, – с энергией равной нулю, либо с одним электроном, с проекцией спина, равной $\pm 1/2$, и с энергией равной ε . Определить зависимость энтропии системы S от полной энергии E .
3. Определить низкотемпературное поведение химического потенциала и теплоемкости одномерного ультрарелятивистского бозе-газа
4. Рассмотреть u - v преобразование Боголюбова в пределе длинных волн и вычислить температурную поправку к числу надконденсатных ультрарелятивистских частиц в двумерном неидеальном Бозе-газе.
5. Определить спиновый магнитный момент и спиновую магнитную восприимчивость сверхпроводника, помещенного во внешнее магнитное поле H .

Каждая задача контрольной работы оценена в определенную сумму баллов в зависимости от сложности и уровня (знания, умения и навыки). Полная сумма баллов примера контрольной работы равна 25.

Конкретные условия набора баллов за работу в семестре могут зависеть от лекционного потока и определяются лектором. Общим остается следующее правило.

В течение семестра студент набирает сумму баллов по результатам тестовых опросов (например, 50 баллов), по результатам сдачи двух заданий (например, 80 баллов) и по результатам двух контрольных (например, 100 баллов). Кроме того, за решение задач повышенной сложности домашнего задания студент может набрать премиальные (бонусные) баллы по двум заданиям (например, 30 баллов). Полный балл оценивается в данном случае суммой 230 баллов. По результатам итогового рейтинга студент может набрать некоторую сумму, которая оценивается в % относительно полного балла.

Оценка за работу в семестре выставляется в соответствии со схемой, приведенной в следующем разделе. Студент допускается к дифференцируемому зачету при условии сдачи двух заданий и оценки за работу в семестре равной или большей 3 (по десятибалльной шкале).

Итоговая зачетная оценка за выставляется студенту с учетом оценки его работы в семестре. Дифференцируемый зачет проводится в устной форме. Билеты к дифференцируемому зачету могут содержать наряду с теоретическими вопросами также и задачи. Форма билета определяется лектором и зависит от лекционного потока. Типовые задачи могут даваться также и в форме дополнительных вопросов к билету. Ответ студента оценивается по 10-балльной шкале.

Типичная форма билета содержит 3 теоретических вопроса разного уровня сложности. Пример типичной формы билета из трех вопросов приведен ниже:

1. Вычислите химпотенциал μ и энергию E идеального нерелятивистского ферми-газа в вырожденном состоянии ($T \ll \varepsilon_F$) с точностью $\propto (T/\varepsilon_F)^2$ включительно.

Воспользуйтесь разложением
$$\int_0^\infty \frac{f(\varepsilon)d\varepsilon}{\exp(\varepsilon - \mu)/T + 1} = \int_0^\mu f(\varepsilon)d\varepsilon + \frac{\pi^2 T^2}{6} f'(\mu) + \dots$$

Вычислите теплоемкость газа C_V и выясните, при какой температуре $C_V \propto N$.

2. Каноническое распределение Гиббса. Статистическая сумма Z и свободная энергия F . Распределение макроскопической системы по состояниям $\rho(E)$ и по энергии $w(E)$.
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 зачетной недели оценку «неудовлетворительно» (менее 20% усвоения материала), или не сдавшие оба задания, считаются не усвоившими материал и не выполнившими задания курса, поэтому к дифференцируемому зачету не допускаются.

4б. Критерии оценивания (дифференцируемого зачета)

Итоговая оценка на дифференцируемом зачете выставляется в соответствии со схемой:

Оценка	Баллы	Критерии
Отлично	10	10 баллов за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 8. 9 баллов за дифференцируемый зачет и 10 баллов за работу в семестре
	9	9 баллов за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 8.
	8	8 баллов за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 6. 7 баллов за дифференцируемый зачет и более 8 баллов за работу в семестре
Хорошо	7	7 баллов за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 5. 6 баллов за дифференцируемый зачет и более 8 баллов за работу в семестре
	6	6 баллов за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 5. 5 баллов за дифференцируемый зачет и более 7 баллов за работу в семестре

	5	5 баллов за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 3.
удовлетворительно	4	4 балла за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре не ниже 3.
	3	3 балла за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре 3.
неудовлетворительно	2	2 балла за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре 3.
	1	1 балл за дифференцируемый зачет и оценка за работу в семестре 3.

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

Студенты, допущенные к дифференцируемому зачету, отвечают на вопросы билета, имея возможность на подготовку не менее 1 часа. Ответы представляются в письменном виде, по которым проводится устное собеседование.

Оценка за ответ на билет выставляется в соответствии со следующим критериями:

Студент, не ответивший правильно ни на один вопрос, получает оценку неудовлетворительно (1 или 2)

Студент, ответивший правильно

только на 1 вопрос, получает оценку «удовлетворительно» (3 или 4 балла), в зависимости от полноты правильного ответа и ответов на другие дополнительные вопросы;

на 2 вопроса, получает оценку «хорошо» (5, 6 или 7 баллов), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на другие вопросы;

на все 3 вопроса, получает 8 баллов («отлично») и возможность ответа на дополнительные вопросы повышенной сложности для получения оценки «отлично» с баллами 9 или 10.

Во время проведения дифференцируемого зачета студенты могут пользоваться программой дисциплины и сборниками домашних заданий. Учебной, учебно-методической и справочной литературой пользоваться во время дифференцируемого зачета, а не допускается. Во время дифференцируемого зачета должны быть также выключены мобильные телефоны.

Перед началом зачетной недели студенты получают перечень вопросов, ответы на которые необходимо знать для успешной сдачи дифференцируемого зачета. Формулировки вопросов в билетах студенты узнают во время консультаций.

Студенты, получившие итоговую оценку «отлично» (10) и решившие и защитившие задачи повышенной сложности домашнего задания, могут получить дополнительные зачетные единицы по курсу.