МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра теоретической физики

Согласовано, декан ФФ
_____ Блинов В.Е.
подпись
«04» 04 2026 г.

Рабочая программа дисциплины

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Направление подготовки **03.04.02 Физика**

Направление подготовки **03.04.01 Прикладные математика и физика**

Направленность (профиль): **все профили подготовки**

Форма обучения **Очная**

Семестр	Общий объём	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачёт	Дифференцированный зачёт	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	144	32	32		58	18	2			2
Всего 144 часа / 4 зачётные единицы, из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции: ОПК-1										

Руководитель программы,
д.ф.-м.н. И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. 3

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. 4

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. 5

5. Перечень учебной литературы. 6

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. 7

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. 7

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. 7

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. 7

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. 8

1. **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

Задачей дисциплины "Квантовая физика" является ознакомление студентов с квантовыми явлениями в макроскопических системах. Наибольшее внимание уделяется обсуждению теории сверхпроводимости и теории сверхтекучести. В процессе обсуждения этих явлений напоминаются и систематизируются знания по квантовой механике, статистической физике и электродинамике.

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в области физики макроскопических систем. Все практические занятия проводятся в интерактивной форме. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе и планах дальнейших работ в институтах, в которых студенты планируют проходить научную практику. Материал курса увязывается с общефизическими и математическими дисциплинами, изучаемыми студентами-физиками (электродинамика, квантовая механика, статистическая физика и т. д.).

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося общепрофессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. (03.04.02 Физика) Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.	**ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные и прикладные знания, новейшие достижения в области физико-математических и естественных наук для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности. **ОПК - 1.2.** Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	**Знать** основы квантовых явлений в макроскопических системах; основные современные методы теоретического исследования макроскопических систем. **Уметь** решать типичные задачи по темам курса, делать оценки различных физических величин; применять оценки различных физических величин в профессиональной деятельности. **Владеть** простейшими математическими методами, необходимыми для решения задач и выполнения оценок различных физических величин; навыками постановки и решения задач в области квантовой физики с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований.
ОПК-1. (03.04.01 Прикладные математика и физика) Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.	**ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные и прикладные знания, новейшие достижения в области физико-математических и естественных наук для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности. **ОПК - 1.2.** Применяет современные экспериментальные и теоре-	

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
	тические методы, информационные технологии для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Квантовая физика» изучается в весеннем семестре студентами первого курса магистратуры физического факультета, обучающимися по направлению подготовки 03.04.02 Физик, 03.04.01 Прикладные математика и физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой теоретической физики. Особое внимание уделяется умению делать оценки различных физических характеристик. Этот навык, который основан на глубоком качественном понимании явлений, практически полностью отсутствует у студентов после окончания бакалавриата. Поэтому объяснение физического смысла квантовых явлений и обучение качественным методам их исследования является весьма важным и будет полезным как при изучении других курсов, так и в будущей профессиональной деятельности выпускников физического факультета НГУ.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Трудоемкость дисциплины – 4 з.е. (144 ч)
Форма промежуточной аттестации: 2 семестр – экзамен

Таблица 3.1

№	Вид деятельности	Семестр
		1
1	Лекции, ч	32
2	Практические занятия, ч	32
3	Лабораторные занятия, ч	
4	Занятия в контактной форме, ч, из них	68
5	из них аудиторных занятий, ч	64
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	2
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	76
10	Всего, ч	144

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

Лекции (32 ч) Таблица 4.1

Наименование темы и их содержание	Объем, час
1. Квантовые эффекты в макроскопических системах, квантовое вырождение, квазичастицы, методы определения спектра элементарных возбуждений.	2
2.Бозе-жидкость, свойства сверхтекучего гелия-4; спектр элементарных возбуждений, фононы и ротоны, критерий сверхтекучести Ландау.	2
3.Нормальная и сверхтекучая компонента, второй звук.	2
4.Вывод спектра элементарных возбуждений с помощью вариационного метода.	2
5.Квантование циркуляции скорости, вихри в сверхтекучем гелии.	2
6.Ферми-жидкость, поверхности Ферми, время жизни квазичастиц, возбуждения частица-дырка.	2
7.Теплоёмкость, плазмоны в электронном газе.	2
8. Идеальный кристалл, модель Дебая, оценка скорости звука и температуры Дебая, фононная теплоёмкость.	2
9.Квантование колебаний решётки, плавление металлов. Эффект Мёссбауэра, фактор Дебая-Уоллера.	2
10.Сверхпроводимость, эффект Мейснера, уравнение Лондонов, сверхпроводники первого и второго рода, глубина проникновения магнитного поля и корреляционная длина.	2
11.Уравнение Гинзбурга-Ландау, зависимость корреляционной длины и глубины проникновения магнитного поля от температуры.	2
12.Квантование магнитного потока, вихревые нити в сверхпроводниках, вычисление поля H_{c1}	4
13.Вычисление критических магнитных полей H_{c2} и H_{c3}.	2
14.Взаимодействие электронов вблизи поверхности Ферми. Фононный механизм притяжения, модель "желе".	2
15.Теория Бардина-Купера-Шриффера. Энергетическая щель, спектр возбуждений. Стационарный и нестационарный эффект Джозефсона.	2

Практические занятия (32 ч) Таблица 4.2

Содержание практического занятия	Объем, час
1.Свойства идеального бозе-газа.	2

2.Элементарные возбуждения в сверхтекучем гелии.	2
3.Двухжидкостная модель гелия II.	2
4.Вихри в сверхтекучем гелии. Тороидальный вихрь.	2
5.Свойства идеального вырожденного ферми-газа.	2
6.Время жизни квазичастиц.	2
7.Проводимость и теплопроводность металлов.	2
8.Модель Дебая. Модель кристаллической решётки.	2
9.Модель кристаллической решётки. Эффект Мёссбауэра. Фактор Дебая-Уоллера.	2
10.Сверхпроводимость. Эффект Мейснера.	2
11.Сверхпроводимость. Теория Гинзбурга-Ландау.	2
12.Теория Гинзбурга-Ландау. Два типа сверхпроводников, поверхностная энергия.	4
13.Решение уравнений Гинзбурга-Ландау для различных систем. Структура смешанного состояния.	2
14.Эффект Джозефсона.	2
15.Спектр возбуждений в теории Бардина-Купера-Шриффера	2

Самостоятельная работа студентов (58 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям	32
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	8
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Статистическая физика. Ч.2. Теория конденсированного состояния. — 1978. — 447 с.: ил. — (Теоретическая физика, т. IX).
2. Фейнман Р. Статистическая механика: курс лекций. — 2-е изд. — Москва: Мир, 1978. — 407 с.: ил.
3. Займан Дж. М. Принципы теории твердого тела. — Москва: Мир, 1974. — 472 с.: ил.
4. Тилли Д.Р., Тилли Дж. Сверхтекучесть и сверхпроводимость. — М.: Мир, 1977. — 304 с.: ил.
5. Пайнс Д., Нозьер Ф. Теория квантовых жидкостей: Нормальные ферми-жидкости. — М.: Мир, 1967. — 382 с.: черт.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

1. Тилли Д.Р., Тилли Дж. Сверхтекучесть и сверхпроводимость. — М.: Мир, 1977. — 304 с.: ил.
2. Пайнс Д., Нозьер Ф. Теория квантовых жидкостей: Нормальные ферми-жидкости. — М.: Мир, 1967. — 382 с.: черт.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:
- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется

согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путём опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции. Студентам необходимо успешно решить задачи из задания и обсудить их с преподавателем.

Промежуточная аттестация.

Освоение компетенции оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ОПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области квантовой физики в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ОПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда компетенция освоена не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Код компетенции	Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ОПК-1	**ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные и прикладные знания, новейшие достижения в области физико-математических и естественных наук для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	**Знать** основы квантовых явлений в макроскопических системах; основные современные методы теоретического исследования макроскопических систем.	Решение задач, экзамен.

	ОПК - 1.2. Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	**Уметь** решать типичные задачи по темам курса, делать оценки различных физических величин; применять оценки различных физических величин в профессиональной деятельности. **Владеть** простейшими математическими методами, необходимыми для решения задач и выполнения оценок различных физических величин; навыками постановки и решения задач в области квантовой физики с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований.	Решение задач, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Квантовая физика»

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	**Шкала оценивания**
Решение заданий: – задание решено правильно, – работа оформлена аккуратно, четкие рисунки и чертежи, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий. «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы. В ответах на вопросы преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности. **Экзамен:** – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.	*Отлично*
Решение заданий: – задание решено правильно, – работа оформлена аккуратно, четкие рисунки и чертежи, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок. «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимо-	*Хорошо*

сти, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. Отвечает на дополнительные вопросы. В ответах на вопросы преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности. **Экзамен:** – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в объяснении отдельных процессов и явления, а также при формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	
Решение заданий: – задание решено правильно, - работа оформлена неаккуратно – неосознанность и неосновательность выбранных методов анализа, – нет осмысленности в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, – корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок. «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. При ответах на вопросы допускает ошибки **Экзамен:** – теоретический и фактический материал в слабой степени подкреплен ссылками на научную литературу и источники, – частичное понимание и неполное изложение причинно-следственных связей, – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, в объяснении процессов и явлений, а также затруднений при формулировке собственных суждений, – корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок, – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	*Удовлетворительно*
Решение заданий: – задание решено неправильно, – компилятивное, неосмысленное, нелогичное и неаргументированное изложение материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. На дополнительные вопросы не отвечает. **Экзамен:** – фрагментарное и недостаточное представление теоретического и фактического материала, не подкрепленное ссылками на научную литературу и источники,	*Неудовлетворительно*

– непонимание причинно-следственных связей, – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Обучающимся преподаватель предоставляет лекции в виде электронного конспекта. Примеры страниц из конспекта:

Содержание отдельных разделов и тем.

1. **Квантовые эффекты в макроскопических системах, квантовое вырождение, квазичастицы, методы определения спектра элементарных возбуждений.**

2. **Бозе-жидкость, свойства сверхтекучего гелия-4:**
• Температура фазового перехода второго рода при нормальном давлении $T_c = 2.18K$. Лямбда-точка: теплоемкость вблизи фазового перехода имеет вид

$$c_v = a_1\,\vartheta(T_c - T) + a_2\,\vartheta(T - T_c) - b\ln(c|T - T_c|)\,,$$

где $a_{1,2}$, b, c, некоторые константы, $\vartheta(x)$- тэта функция. При очень низких температурах теплоемкость пропорциональна T^3. Температура конденсации Бозе-Эйнштейна идеального газа равна

$$T_{BE} = \frac{2\pi\hbar^2}{m k_B}\left(\frac{n}{2.612}\right)^{2/3}\,,$$

где m- масса, n- плотность (число частиц в единице объема). $T_{BE} = 3.2\,K$ для параметров He^4.
• Сверхтекучий гелий не кипит, теплопроводность бесконечна.
• Нулевая вязкость при протекании через капилляры при скорости меньше критической. Критическая скорость зависит от диаметра капилляра, что связано с возможностью рождения вихрей. Критическая скорость возрастает с уменьшением диаметра капилляра. При вращении цилиндра в ванне со сверхтекучим гелием вязкость не равна нулю.
• Термо-механический эффект.
• Сверхтекучий гелий, налитый в стакан, ползет по стенкам стакана и выливается из него.
• спектр элементарных возбуждений, спектр Ландау:
Фононная часть спектра

$$\epsilon(p) = up\,, \quad u = 2.4\cdot 10^4\,\frac{\text{см}}{\text{сек}}\,.$$

Ротонная часть спектра

$$\epsilon(p) = \Delta + \frac{(p-p_0)^2}{2m^*}\,, \quad \frac{\Delta}{k_B} = 8.7K\,, \quad \frac{p_0}{\hbar} = 1.9\cdot 10^8\,\text{см}^{-1}\,, \quad m^* = 0.16\,m(\text{He}^4)\,,$$

1 Сверхтекучесть

1.1 Семинар 1.(Напоминание свойств идеального бозе-газа)

Задача 1: Показать, что в случае идеального бозе-газа существует температура $T_0 \neq 0$, такая, что $\mu(T_0) = 0$, где μ – химический потенциал. Найти T_0 как функцию плотности числа частиц $n = N/V$.

Задача 2: Найти зависимость числа частиц в конденсате N_0 от температуры.
Ответ:

$$N_0 = N\left(1 - \left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2}\right).$$

Задача 3: Найти зависимость химического потенциала от температуры вблизи точки T_0.
Ответ:

$$|\mu| = \frac{9\zeta^2(3/2)T_0}{16\pi}\left(\frac{T - T_0}{T_0}\right)^2.$$

Задача 4: Показать, что в двумерном газе не происходит конденсации Бозе-Эйнштейна.

Примеры заданий по курсу «Квантовая физика»

1. Вычислить энтропию и теплоемкость ротонов в сверхтекучем He-4 и ротонный вклад в плотность нормальной компоненты жидкости; сравнить с соответствующими фононными величинами.

2. Медленный ион с зарядом Ze рождает в сверхтекучем гелии тороидальный вихрь и начинает двигаться вместе с ним в электрическом поле E. Найти зависимость от времени радиуса тороидального вихря, его энергии, импульса и пройденного пути.

3. Найти скорость, с которой устанавливается равновесное распределение ядерных спинов в металле, если релаксация обусловлена взаимодействием $H=g\,\mathbf{S}_N\mathbf{S}_e\,\delta(\mathbf{r}_N - \mathbf{r}_e)$ спинов $\mathbf{S}_N$ ядер со спинами $\mathbf{S}_e$ электронов проводимости. Считать $S_N=1/2$. Оценить величину константы g. Что изменится, если металл будет находиться в сверхпроводящем состоянии?

4. Найти распределение тока и магнитного поля в области контакта сверхпроводник-диэлектрик-сверхпроводник. Внешнее магнитное поле лежит в плоскости контакта и параллельно его поверхности. Пренебречь толщиной диэлектрика по сравнению с глубиной проникновения магнитного поля.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ ПО КВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ

СВЕРХТЕКУЧЕСТЬ

- Спектр элементарных возбуждений сверхтекучего гелия-4.
- Критерий сверхтекучести Ландау.
- Вклад фононов и ротонов в теплоемкость сверхтекучего гелия-4.
- Вихри в сверхтекучем гелии.
- Квантование циркуляции в сверхтекучем гелии.
- Плотность нормальной компоненты в сверхтекучем гелии.
- Второй звук в сверхтекучем гелии.
- Оценить критическую скорость протекания сверхтекучего гелия через капилляр диаметром 0.1 мм, при которой начинают рождаться вихри.

НОРМАЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ

- Фононная и электронная теплоемкость металлов.

- Квантование колебаний решетки. Модель Дебая.
- Эффект Мёссбауэра, фактор Дебая-Уоллера.
- Поверхность Ферми, время жизни квазичастиц, возбуждения частица-дырка.
- Колебания решетки, оценка скорости звука.
- Оценить температуру плавления металла.
- Радиус Дебая для вырожденного электронного газа.

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

- Эффект Мейснера.
- Уравнение Лондонов.
- Длина когерентности в сверхпроводниках.
- Сверхпроводники первого и второго рода.
- Оценить величину критического магнитного поля в сверхпроводнике первого рода.
- Квантование магнитного потока в сверхпроводниках.
- Энергетическая щель, спектр возбуждений в сверхпроводниках.
- Стационарный и нестационарный эффект Джозефсона.
- Уравнение Гинзбурга-Ландау.
- Глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник.
- Зависимость от температуры глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводник в модели Гинзбурга-Ландау.
- Зависимость от температуры корреляционной длины в модели Гинзбурга-Ландау.
- Критическое поле H_{c2} в сверхпроводниках второго рода.
- Оценить теплоемкость сверхпроводника при $T << T_c$ в модели БКШ.
- Оценить разность между теплоемкостью нормального металла и сверхпроводника в модели Гинзбурга-Ландау.

Пример экзаменационного билета

1. Спектр элементарных возбуждений в сверхтекучем гелии. Критерий сверхтекучести Ландау.
2. Стационарный и нестационарный эффект Джозефсона.
3. Практическое задание: вычислить коэффициент линейного расширения металла в модели Дебая.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям стандартов, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.