

**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**



**Рабочая программа дисциплины
КВАНТОВАЯ ФИЗИКА**

направление подготовки: **03.04.02 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, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	3
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.....	4
5. Перечень учебной литературы.....	7
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.	8
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. 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 знания и новейшие достижения физики для решения научно-исследовательских задач в избранной области. ОПК - 1.2. Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных научно-исследовательских задач.	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.

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

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										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзаменов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **144** академических часа / **4** зачётные единицы:

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 58 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультация и экзамен) – 22 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 68 часов.

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

Общая трудоемкость дисциплины «Квантовая физика» составляет 4 зачётные единицы/144 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины, основное содержание лекций	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	Квантовые эффекты в макроскопических системах, квантовое вырождение, квазичастицы, методы определения спектра элементарных возбуждений.	1	6	2	2	2	
2	Бозе-жидкость, свойства сверхтекучего гелия-4; спектр элементарных возбуждений, фононы и ротоны, критерий сверхтекучести Ландау.	2	8	2	2	4	
3	Нормальная и сверхтекучая компонента, второй звук.	3	8	2	2	4	
4	Вывод спектра элементарных возбуждений с помощью вариационного метода.	4	8	2	2	4	
5	Квантование циркуляции скорости, вихри в сверхтекучем гелии.	5	8	2	2	4	
6	Ферми-жидкость, поверхности Ферми, время жизни квазичастиц, возбуждения частица-дырка.	6	8	2	2	4	
7	Теплоёмкость, плазмоны в электронном газе.	7	8	2	2	4	
8	Идеальный кристалл, модель Дебая, оценка скорости звука и температуры Дебая, фононная теплоёмкость.	8	8	2	2	4	
9	Квантование колебаний решётки, плавление металлов. Эффект Мёссбауэра, фактор Дебая-Уоллера.	9	8	2	2	4	
10	Сверхпроводимость, эффект Мейснера, уравнение Лондонов, сверхпроводники первого и второго рода, глубина проникновения магнитного поля и корреляционная длина.	10	8	2	2	4	
11	Уравнение Гинзбурга-Ландау, зависимость корреляционной длины и глубины проникновения магнитного поля от температуры.	11	8	2	2	4	
12	Квантование магнитного потока, вихревые нити в сверхпроводниках, вычисление поля H_{c1} .	12-13	10	4	4	4	
13	Вычисление критических магнитных полей H_{c2} и H_{c3} .	14	8	2	2	4	
14	Взаимодействие электронов вблизи поверхности Ферми. Фононный механизм притяжения, модель "желе".	15	8	2	2	4	
15	Теория Бардина-Купера-Шриффера. Энергетическая щель, спектр возбуждений. Стационарный и нестационарный эффект Джозефсона.	16	8	2	2	4	
16	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
17	Консультации		2				2
18	Экзамен		2				2
	Всего		144	32	32	58	22

Программа лекций (32 часа)

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

Программа практических занятий (32 часа)

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

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.

5.1. Основная литература

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.

5.2. Дополнительная литература

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.

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

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ОПК - 1.1. Применяет фундаментальные знания и новейшие достижения физики для решения научно-исследовательских задач в избранной области.	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 научно-исследовательских задач.	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	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ОПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ОПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

		ки.	бые ошибки.		
Наличие навыков (владение опытом)	ОПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

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

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

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

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

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 $H = g \mathbf{S}_N \mathbf{S}_e \cdot \nabla(\mathbf{r}_N - \mathbf{r}_e)$ 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 $T \ll T_c$ 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.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<i>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</i>	
<i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования</i>	
<i>«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»</i>	
<i>(Новосибирский государственный университет, НГУ)</i>	
<i>Физический факультет</i>	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____	
1
2
Составитель	_____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)
« »	20 г.

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

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Квантовая физика»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Направленность (профиль): все профили подготовки**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного