Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"

Факультет физики

Рабочая программа дисциплины

Теория квантовых жидкостей

для образовательной программы «Физика»
направления подготовки 03.04.02 Физика
уровень высшего образования – магистратура

Разработчик программы:

Мельниковский Л.А., к.ф.-м.н., leva@kapitza.ras.ru

Декан Факультета физики Трунин М.Р. _____

Утверждена Координационным советом факультета физики
«30»___июня_____ 2017 г., № протокола__5_____

Академический руководитель
образовательной программы Лебедев В.В. _____

Москва, 2017

Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика программы.

1. Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, учебных ассистентов и студентов направления подготовки/специальности 03.04.02 «Физика», обучающихся по образовательной программе «Физика».

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом НИУ ВШЭ 03.04.02 «Физика» по подготовки магистров;
- Учебным планом университета по образовательной программе 03.04.02 «Физика» подготовки магистров, утвержденным в 2017 г.

2. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Низкотемпературная физика твердого тела» являются:

- формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических концепций и применением современных экспериментальных методик в области низкотемпературной физики конденсированного состояния;
- развитие умений, основанных на полученных знаниях, позволяющих на творческом уровне создавать и применять физические модели для решения задач низкотемпературной физики конденсированного состояния;
- получение практических навыков использования данных современных экспериментов для решения задач низкотемпературной физики конденсированного состояния.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Код по ФГОС/ НИУ	Компетенция	Дескрипторы- показатели достижения компетенций	Способы формирования
УК-2	Способен создавать новые теории, изобретать новые способы и инструменты профессиональной деятельности	РБ/СД – применять полученные знания для изучения сверхтекучести и ферми-жидкостных эффектов	Лекции, семинары, работа в малых группах
ОПК-5	Способен транслировать нормы здорового образа жизни, увлекать своим примером	РБ – знаком с техникой безопасности проведения лабораторных исследований (низкие температуры)	Семинары
ПК-1	Способен ставить задачи в области физики и проводить научные эксперименты и/или теоретические (аналитические и имитационные) исследования для их решения	РБ/СД – способен организовать экспериментальные работы в области сверхтекучести и ферми-жидкостных эффектов, развивать стандартные модельные подходы к описанию термодинамических,	Семинары, рефераты

		магнитных и транспортных свойств квантовых жидкостей	

4. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к вариативной части профессионального цикла дисциплин студентов, выбравшим специализацию на базовой кафедре «Физика низких температур». В соответствии с рабочим учебным планом по направлению «Физика» дисциплина читается студентам первого курса магистратуры.

Трудоемкость курса– 5 з.е
Общее количество часов – 190
Количество аудиторных часов 60, из них 40 часа лекций, 20 часов семинарских занятий.
Количество часов самостоятельной работы – 130.

Контроль: промежуточный контроль в форме контрольной работы в конце каждого модуля (решение 3-4 задач по теме курса), оценка за проектную деятельность (подготовку и представление реферативного доклада по теме курса); итоговый контроль в форме устного экзамена.

Дисциплина не привязана жёстко к другим дисциплинам магистерского цикла, не имеет строгих пререквизитов и не является пререквизитом для других курсов. Для освоения учебной дисциплины студенты должны владеть следующими знаниями и компетенциями:

- знания в области физики: квантовая механика, термодинамика, общая физика;
- знания в области математики: основы математического анализа (ряды, интегралы, преобразование Фурье), основы теории функций комплексного переменного, решение дифференциальных уравнений;
- общепрофессиональные компетенции: умение работать с литературой (в том числе англоязычной).

5. Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы		Самостоя-тельная работа
			Лекции	Семинары	
1	Теория сверхтекучести Основные эффекты и концепции.	**32**	6	3	23
2	Микроскопическое описание сверхтекучей жидкости, термодинамика	**31**	4	2	25
3	Макроскопическое описание сверхтекучей жидкости, уравнения гидродинамики	**34**	8	4	22
4	Исследование гидродинамики сверхтекучей жидкости	**43**	10	5	28
5	Ферми-жидкость.	**33**	6	3	24
6	Взаимодействие квазичастиц.	**17**	6	3	8
	ИТОГО:	190	40	20	130

6. Формы контроля знаний студентов:

Тип контроля	Форма контроля	модули		Параметры
		3	4	
Промежуточный	Контрольная работа	7-8 нед.	15-16 нед.	письменная работа 90-120 минут
	Проект	по ходу курса		Выступление на семинаре с реферативным докладом по тематике курса, 2 раза за семестр (15-20 минут, подготовка презентации)
	Текущая работа на семинаре	по ходу курса		Контролируется посещение занятий и активность на лекциях и семинарах
Промежу-точный (завершающий по дисциплине)	Экзамен		17 нед.	Устный экзамен, билет с 2 вопросами по теме курса. Итоговая оценка складывается по накопительной схеме из оценки за экзамен и результатов текущего контроля в ходе семестра.

6.1 Критерии оценки знаний, навыков

Знания студентов в ходе семестра (промежуточный контроль) оцениваются при помощи контрольных работ, по результатам проектной деятельности и текущей работы на семинарах. Итоговый контроль знаний осуществляется в формате устного экзамена.

Контрольная работа проводится в конце 3 и 4модуля, в работе предлагается 3-4 задачи по пройденным темам. В ходе решения задач контрольной работы студент должен продемонстрировать умение применять полученные знания, интерпретировать результаты экспериментальной работы, строить и применять физические модели разных явлений. Время на решение задач: 90-120 минут, в ходе решения допускается использование литературы. Задачи могут иметь разный максимальный балл за их решение, суммарный балл за все задачи контрольной равен 10. По результатам работы ставится оценка по 10-бальной шкале, равная сумме набранных баллов.

Проектная деятельность осуществляется в форме подготовки реферативных докладов по темам курса и их представлении на семинарах. В результате подготовки проектов студент

должен продемонстрировать навык работы с современной научной литературой и другими источниками информации, навык критического анализа информации, научиться применять полученные знания для анализа экспериментальных результатов, понимать принципы и методы организации экспериментов в физике конденсированного состояния. За семестр готовится 2 доклада длительностью 15-20 минут. По результатам ставится 10-бальная оценка, определяемая уровнем подготовки доклада и продемонстрированным уровнем понимания разобранной темы.

Текущая работа на семинаре оценивается по степени участия студента в обсуждении докладов по 10-бальной шкале. При посещении менее 75% занятий оценка за текущую работу не может превышать 5, при посещении менее 50% занятий оценка за текущую работу равна 0.

Промежуточный (завершающий по дисциплине) экзамен в устной форме проводится в конце 2 модуля. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса по теме курса. Время на подготовку 1 час, время на ответ билета 40 минут. При ответе студент должен продемонстрировать понимание связанных с билетами тем курса, навыки аргументированного представления научных результатов, навыки применения моделей и методик описания физических явлений. При подготовке допускается использование литературы. Экзамен оценивается по 10-бальной шкале.

Формирование оценки:

Итоговая оценка (ИО) по курсу складывается накопительным образом из оценок за работу в ходе семестра (ОС) и оценку за экзамен (ОЭ) и равна ИО=0.5 ОС+0.5 ОЭ.

Оценка за работу в семестре равна ОС= 0.6 ($КР_1$ + $КР_2$) + 0.4 (Пр+Сем), где $КР_{1,2}$ - оценки за первую (вторую) контрольную, Пр и Сем – оценки за реферативные доклады (проектную деятельность) и текущую работу на семинарах, соответственно.

Студенты, у которых ОС = 10, освобождаются от устного экзамена и получают итоговую оценку 10. Студенты с оценкой ОС = 8 или ОС = 9 могут отвечать только на половину билета (1 вопрос, по выбору) на устном экзамене.

Оценки за работу в семестре и итоговая оценка округляются арифметически (при превышении целого числа менее чем на 0.5 балла — в меньшую сторону, при превышении на 0.5 балла и более — в большую). Примеры формирования оценки приведены в приложении 1.

Оценка контрольной работы:

Производится одним из следующих способов:

1 способ оценивания

За каждую задачу в задании назначается определенное количество баллов (в сумме 10), эти баллы сообщаются при раздаче задач. При оценивании суммируются баллы за верно решенные задачи. За задачи, решенные с недочетами в обоснованиях или незначительными ошибками, может быть начислено уменьшенное количество баллов.

2 способ

8-10 решены верно все задачи (возможны небольшие недочеты в обоснованиях или вычислениях, чем и обусловлено различие в начисляемых баллах);

6-7 решены верно не менее 2/3 всех задач;

4-5 решены верно не менее половины всех задач.

Оценка ответа на экзамене (в конце семестра)

8-10 – обучающийся знает все определения (из части курса, прочитанной в данном и предыдущих семестрах), умеет приводить примеры, знает и понимает формулировки и доказательства всех теорем. Верно и с подробными обоснованиями решает задачу билета. Различие в начисляемых баллах связано с тем, что возможны отдельные неточности в формулировках или доказательствах, которые исправляются самостоятельно (при указании на их наличие) или не искажают смысл.

6-7 – обучающийся знает все определения и формулировки теорем (из части курса, прочитанной в данном и предыдущих семестрах), может привести основные примеры, знает и понимает доказательства основных теорем (из части курса, прочитанной в данном семестре), может решить задачу билета самостоятельно или при незначительной помощи преподавателя.

4-5 – обучающийся знает и понимает все определения (всего прочитанного курса) и все формулировки теорем (хотя бы из данного семестра), может привести простейшие примеры, знает и понимает отдельные доказательства.

7. Содержание дисциплины

7.1. Содержание лекций

Аудиторные часы указаны в начале каждого пункта, например, (Л4+С2) означает 4 лекционных часа и 2 семинарских часа.

1. Раздел 1. (Л8+С4) Основные эффекты и концепции.

Основные эффекты и концепции.

1.1. Общие свойства вещества при низких температурах. Квантовые эффекты. Элементарные возбуждения.
1.2. Свойства жидкого гелия-4. Основные эксперименты. Качественное объяснение сверхтекучести.
1.3. Теория сверхтекучести Л.Д.Ландау. Коллективный характер элементарных возбуждений. Звуковые колебания как элементарные возбуждения.

2. Раздел 2. Микроскопическое описание сверхтекучей жидкости, термодинамика.

2.1. Уравнения гидродинамики. Звуковые волны. Квантование уравнений гидродинамики. Фононы.
2.2. Коротковолновые элементарные возбуждения. Ротоны. Термодинамика сверхтекучего гелия. Температурная зависимость теплоемкости.

3. Раздел 3. Макроскопическое описание сверхтекучей жидкости, уравнения гидродинамики

3.1. Определение сверхтекучести. Описание сверхтекучего переноса вещества. Преобразования Галилея для элементарных возбуждений.
3.2. Две скорости макроскопического движения. Плотность нормальной компоненты, ее температурная зависимость.
3.3. Бозе-конденсация и сверхтекучесть. Волновая функция конденсата --- параметр порядка сверхтекучей жидкости. Связь скорости сверхтекучей компоненты с фазой параметра порядка. Потенциальность сверхтекучего движения.
3.4. Уравнения двухскоростной гидродинамики сверхтекучей жидкости.

4. Раздел 4. Исследование гидродинамики сверхтекучей жидкости

4.1. Звук в сверхтекучей жидкости. Характер колебаний в волнах первого и второго звуков. Второй звук при очень низких температурах.
4.2. Течение сверхтекучей жидкости через капилляры. Термомеханический эффект.

4.3. Перенос тепла в сверхтекучей жидкости. Эффективная теплопроводность. Явление сверхтеплопроводности.

4.4. Сверхтекучая жидкость в неодносвязных сосудах. Квантование циркуляции сверхтекучей скорости.

Парадокс с вращением сверхтекучей жидкости. Термодинамика вращения, вихревые нити. Вычисление плотности вихревых нитей. Обьяснение парадокса

5. Раздел 5. (Л4+С2) Ферми-жидкость.
   5.1. Свойства жидкого гелия-3. Ферми-жидкости в физике конденсированного вещества и в физике атомного ядра.
   5.2. Длина свободного пробега частиц в классических газах и жидкостях, квантовых Ферми-газах и Ферми-жидкостях. Теория Ферми-жидкости Л.Д.Ландау.
   5.3. Квазичастицы Ландау. Энергия Ферми-жидкости. Энергия квазичастиц. Основное состояние Ферми-жидкости. Эффективная масса квазичастиц. Теплоемкость.
6. Раздел 6. Взаимодействие квазичастиц.
   6.1. Функция Ландау в широком и узком смысле. Сферические гармоники Функции Ландау. Вычисление эффективной массы квазичастиц.
   6.2. Звуковые колебания в Ферми-жидкости. Скорость обычного звука. Нулевой звук. Скорость нулевого звука.
   6.3. Кинетические явления в Ферми-жидкости. Коэффициенты вязкости и теплопроводности.

8. Образовательные технологии

Лекции, семинары и самостоятельное изучение материала, связанного с темой лекции.

9. Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента

9.1 Контрольная работа

Примеры задач для контрольной работы:

1. Оцените температуру Бозе конденсации газа ультрахолодных атомов в магнитной ловушке.
2. Найдите критическую скорость для газа невзаимодействующих возбуждений поверхности сверхтекучего гелия – капиллярно-гравитационных волн.
3. Определите (с точностью до численного коэффициента) температурную зависимость поверхностного натяжения жидкого гелия вблизи абсолютного нуля.
4. Опишите движение заряженного вихревого кольца в однородном электрическом поле.
5. Определите магнитную восприимчивость Ферми жидкости.
6. Оцените энергию Ферми для вещества нейтронной звезды.

9.2 Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

Примеры вопросов экзаменационных билетов устного экзамена:

1. Раздел 1
   1. Квантовые жидкости, фазовая диаграмма жидкого гелия-4 и гелия-3.
   2. Критерий сверхтекучести Ландау
2. Раздел 2
   1. Квантование звукового поля.
   2. Теплоемкость гелия-4 при низкой температуре

3. раздел 3
    1. Уравнения гидродинамики сверхтекучей жидкости.
    2. Плотность нормальной компоненты при низкой температуре.
4. Раздел 4
    1. Первый и второй звук в сверхтекучей жидкости
    2. Квантованные вихревые нити, вихревые кольца.
5. Раздел 5
    1. Квазичастицы в ферми жидкости, затухание и энергия.
    2. Теплоемкость ферми жидкости.
6. Раздел 6
    1. Условие устойчивости ферми жидкости.
    2. Звук в ферми жидкости.

10. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

10.1 Основная литература

1. Л.Д Ландау, Е.М.Лифшиц. Статистическая физика. Часть I. М., Наука 1995.
2. Е.М.Лифшиц, Л.П.Питаевский. Статистическая физика. Часть 2. М., Наука 1978.
3. Л.Д Ландау, Е.М.Лифшиц. Гидродинамика. М., Наука 1986.
4. И.М.Халатников. Теория сверхтекучести. М., Наука 1971.

11. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудитория, оборудованная проектором и демонстрационным экраном.

Приложение 1

Пример подсчёта оценки за дисциплину

Итоговая оценка (ИО) по курсу складывается накопительным образом из оценок за работу в ходе семестра (ОС) и оценку за экзамен (ОЭ) и равна ИО=0.5 ОС+0.5 ОЭ.

Оценка за работу в семестре равна ОС= 0.3 ($КР_1$ + $КР_2$) + 0.2 (Пр+Сем), где $КР_{1,2}$ - оценки за первую (вторую) контрольную, Пр и Сем – оценки за реферативные доклады (проектную деятельность) и текущую работу на семинарах, соответственно.

Студенты, у которых ОС = 10, освобождаются от устного экзамена и получают итоговую оценку 10. Студенты с оценкой ОС = 8 или ОС = 9 могут отвечать только на половину билета (1 вопрос, по выбору) на устном экзамене.

Оценки за работу в семестре и итоговая оценка округляются арифметически (при превышении целого числа менее чем на 0.5 балла — в меньшую сторону, при превышении на 0.5 балла и более — в большую).

Связь 10-бальной и 5-бальной шкал оценок:

- 8, 9, 10 - «отлично»
- 5, 6, 7 - «хорошо»
- 3, 4 - «удовлетворительно»
- 0, 1, 2 - «неудовлетворительно»

Пример 1:

Студент А. написал контрольные работы на оценку 10 и 9, за проектную деятельность оценка 9, за текущую работу 10. Оценка за работу в семестре ОС=0.3(10+9)+0.2(10+9)=9.5, округляется до 10. Студент освобождается от устного экзамена с оценкой «отлично» (10).

Пример 2

Студент Б написал контрольные работы на 6 и 8, за проектную деятельность имеет оценку 6, посетил 40% занятий. За плохое посещение оценка за текущую работу устанавливается равной 0. Оценка за работу в семестре ОС=0.3(6+8)+0.2(6+0)=5.4, округляется до 5. От экзамена не освобождается, при экзамене сданном на оценку 8 получает итоговую оценку ИО=0.5*5+0.5*8=6.5, округляется до 7. Итоговая оценка: «хорошо» (7).