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




РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

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 объем** | **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 | Зачет | Дифференцированный зачет | Экзамен |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | 144 | 32 | 32 | | 58 | 18 | 2 | | | 2 |
| * Всего 144 часа/4 зачетные единицы, из них:<br>- контактная работа 68 часов | | | | | | | | | | |
| Компетенции: ОПК-1(03.04.02 Физика, 03.04.01 Прикладные математика и физика) | | | | | | | | | | |

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

Новосибирск, 2026

**Содержание**

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с установленными в программе индикаторами достижения компетенций ..... 3

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы ..... 4

3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося ..... 5

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного 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 установленными в программе индикаторами достижения компетенций**

| 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.<br>**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** современные разделы физики конденсированного состояния: низкоразмерные микро- и нано объекты, их оптические и структурные свойства, иметь представление о современных исследованиях и достижениях в области физики конденсированного состояния, существующих проблемах и методах их решения.<br>**Уметь** строить математические модели для исследования кинетических явлений в неупорядоченных структурах, двумерных и |

| Результаты освоения образовательной программы (компетенции) | Индикаторы | Результаты обучения по дисциплине |
|---|---|---|
| **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.<br>**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. | трехмерных топологических изоляторах, теории переноса заряда и спина в квазиодномерных структурах.<br>**Владеть** основным математическим аппаратом, который используется для решения задач физики конденсированного состояния |

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» является одной из дисциплин по выбору по направлению подготовки **03.04.02 Физика**, **03.04.01 Прикладные математика и физика**. Курс «Физика конденсированного состояния» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата. Для успешного усвоения этого курса студенты должны владеть математическим аппаратом: математическим анализом, линейной алгеброй и аналитической геометрией, обыкновенными дифференциальными уравнениями и уравнениями в частных производных, теорией функций комплексного переменного, методами математической физики. Из физических дисциплин является обязательным знание основ классической и квантовой механики, электродинамики, статистической физики и термодинамики.

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

Трудоемкость дисциплины – 4 з.е. (144 ч)
Форма промежуточной аттестации: 1 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 отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

Лекции (32 ч)

Таблица 4.1

| Наименование темы и их содержание | Объем, час |
|---|---|
| **Раздел 1.** Структура кристаллов Прямая и обратная решетки. Теорема Блоха. | 2 |
| **Раздел 2.** Фононный спектр кристаллов. Фононы в неупорядоченных средах. Локализованные состояния. | 2 |
| **Раздел 3.** Ангармонизм. Кристаллов.Тепловое расширение. Вклад нелинейности в теплоемкость. | 2 |
| **Раздел 4.** Электроны в кристаллах. Зонная теория. | 4 |
| **Раздел 5.** Функции Ванье. Приближение огибающих ВФ. | 4 |
| **Раздел 6.** Приближение эффективной массы. К-р теория возмущений. | 2 |
| **Раздел 7.** Взаимодействующие электроны в кристаллической решетке. Теория Ландау. Эффект Кондо. | 4 |
| **Раздел 8.** Сверхпроводимость. Сверхпроводники первого и второго рода. Вихри Абрикосова. Эффект Джозефсона. | 2 |
| **Раздел 9.** Электроны в низкоразмерных структурах. Жидкость Латтинжера. Квантовый эффект Холла | 2 |
| **Раздел 10.** Электроны с линейным спектром: графен, топизоляторы. | 2 |
| **Раздел 11.** Электроны в неупорядоченных структурах. Теория слабой локализации. Прыжковая проводимость. | 2 |
| **Раздел 12.** Спиновые структуры в магнитном поле. Модели Изинга, Гайзенберга и пр. Фазовые переходы. Магнитный момент во внешнем поле. ЭПР, ЯМР. | 2 |
| **Раздел 13.** Комплексная диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кроннига. Скин-эффект (в т.ч. аномальный) | 2 |

Практические занятия (32 ч) Таблица 4.2

| Содержание практического занятия | Объем, час |
|---|---|
| **Занятие 1.** Структура кристаллов Прямая и обратная решетки. | 2 |
| **Занятие 2.** Фононы в неупорядоченных средах. Локализованные состояния | 2 |
| **Занятие 3.** Тепловое расширение твердых тел. Ангармонизм. Вклад нелинейности в теплоемкость | 2 |
| **Занятие 4.** Эффект Мессбауэра | 2 |
| **Занятие 5.** Электроны в кристаллах. Зонная теория. Функции Ванье. | 2 |
| **Занятие 6.** Приближение огибающих ВФ. Гран условия на огибающие при прохождении электроном границы раздела. | 2 |
| **Занятие 7.** К-р теория возмущений. | 2 |
| **Занятие 8.** Взаимодействующие электроны в кристаллической решетке. Теория Ландау. | 2 |
| **Занятие 9.** Эффект Кондо. | 2 |
| **Занятие 10.** Сверхпроводимость. Сверхпроводники первого и второго рода. Вихри Абрикосова. Эффект Джозефсона. | 2 |
| **Занятие 11.** Электроны в низкоразмерных структурах. Жидкость Латтинжера. Квантовый эффект Холла | 2 |
| **Занятие 12.** Электроны с линейным спектром: графен, топизоляторы | 2 |
| **Занятие 13.** Электроны в неупорядоченных структурах. Теория слабой локализации. Прыжковая проводимость и пр. | 2 |
| **Занятие 14.** Спиновые структуры в магнитном поле. Модели Изинга, Гайзенберга и пр. | 2 |
| **Занятие 15.** Фазовые переходы. Магнитный момент во внешнем поле. ЭПР, ЯМР. | 2 |
| **Занятие 16.** Комплексная диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кроннига. Скин-эффект (в т.ч. аномальный) | 2 |

Самостоятельная работа студентов (38 ч) Таблица 4.3

| Перечень занятий на СРС | Объем, час |
|---|---|
| Подготовка к практическим занятиям, решение задач | 55 |
| Подготовка к контрольной работе | 3 |
| Подготовка к экзамену | 18 |

## 5. Перечень учебной литературы

1. Займан Дж. Принципы теории твердого тела / Дж. Займан; пер. с англ. под ред. В.Л. Бонч-Бруевича Москва: Мир, 1974472 с. ил. ; 22 см. Пер. изд.: Principles of the Theory of Solids / J.M. Ziman. - 2 ed. - Cambridge: Cambridge University Press, 1972 В б-ке имеется издание в электронном виде на CD-ROM Библиогр.: с.455-464 Предм. указ.: с.465-469 Principles of the Theory of Solids2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1972 (35 экз)

2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель; пер. А.А. Гусева, А.В. Пахнева; под общ. ред. А.А. Гусева Москва : Наука, 1978790, [1] с. : ил. ; 22 см.Пер. изд.: Introduction to Solid State Physics/ Charles Kittel.- 4th ed. - New York [et al.]: John Wiley and Sons Библиогр.: с.769-791 (51 экз)

3. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников: [Учеб. пособие для физ. спец. вузов] / А.И. Ансельм 2-е изд., доп. и перераб. М.: Наука., 1978615 с.: ил. (32 экз.)

4. Кузнецов Е.А., Шапиро Д.А. Методы математической физики : курс лекций : [для студентов 3-го курса Физ. фак. НГУ] / Е.А. Кузнецов, Д.А. Шапиро ; М-во образования и науки РФ, Новосиб. нац. исслед. гос. ун-т, Физ. фак., Каф. теорет. физикиНовосибирск : Редакционно-издательский центр НГУ, 2011 (25 экз.)

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

5. Галицкий В. М., Карнаков Б. М., Коган В. И. Задачи по квантовой механике. М.: Наука, 1981.
6. Брагинский Л. С., Магарилл Л. И., Махмудиан М. М., Погосов А. Г. , Чаплик А. В., Энтин М. В. Сборник задач по теории твердого тела. Новосибирск, НГУ, 2013.

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

### *7.1 Ресурсы сети Интернет*

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет;
- «Российская национальная платформа открытого образования» (http://openedu.ru/), edX (www.edx.org);
- Веб-страницы ведущих международных центров СИ.

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС, электронную почту.

### *7.2 Современные профессиональные базы данных:*

National Institute of Standard and Technology. NIST, https://www-s.nist.gov.

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

### *8.1 Перечень программного обеспечения*

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий приложения для работы с документами и презентациями.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

### *8.2 Информационные справочные системы*

Не используются.

## 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, занятий семинарского типа, 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

Перечень результатов обучения по дисциплине и индикаторов их достижения представлен в разделе 1.

### *10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине*

***Текущий контроль успеваемости:***

Текущий контроль успеваемости осуществляется контролем посещения занятий обучающимся и выполнения запланированных работ, в том числе: проверки домашних заданий, семестрового задания и проведения контрольных работ.

***Промежуточная аттестация:***

Окончательная оценка по дисциплине происходит на экзамене. Экзамен проводится в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ОПК-1. Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции сформированы не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физики конденсированного состояния вещества в профессиональной деятельности.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

***Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине***

Таблица 10.1

| Код компетенции | Индикатор | Результат обучения по дисциплине | Оценочное средство |
|---|---|---|---|
| ОПК- 1 | **ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные и прикладные знания, новейшие достижения в области физико- | **Знать** современные разделы физики конденсированного состояния: низкоразмерные микро- и нано объекты, их | Вопросы по материалам предыдущих лекций, проверка |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | математических и естественных наук для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности. | оптические и структурные свойства, иметь представление о современных исследованиях и достижениях в области физики конденсированного состояния, существующих проблемах и методах их решения. | домашних заданий, 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** строить математические модели для исследования кинетических явлений в неупорядоченных структурах, двумерных и трехмерных топологических изоляторах, теории переноса заряда и спина в квазиодномерных структурах.<br>**Владеть** основным математическим аппаратом, который используется для решения задач физики конденсированного состояния. | Вопросы по материалам предыдущих лекций, проверка домашних заданий, экзамен. |

Таблица 10.2

| **Критерии оценивания результатов обучения** | **Шкала оценивания** |
|---|---|
| **Решение заданий:**<br>– задание решено правильно,<br>– работа оформлена аккуратно, четкие рисунки и чертежи,<br>– осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала,<br>– точность и корректность применения терминов и понятий.<br>«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.<br>**Письменная контрольная (тестовая) работа**:<br>– не менее 95% ответов должны быть правильными.<br>**Экзамен:**<br>– самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в | *Отлично* |

| | |
|---|---|
| объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений,<br>– точность и корректность применения терминов и понятий,<br>– наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы.<br>При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности. | |
| **Решение заданий:**<br>– задание решено правильно,<br>– работа оформлена аккуратно, четкие рисунки и чертежи,<br>– осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в формулировке собственных суждений,<br>– точность и корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок.<br>«Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. Отвечает на дополнительные вопросы.<br>В ответах на вопросы преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.<br>**Письменная контрольная (тестовая) работа**:<br>– не менее 80% ответов должны быть правильными.<br>**Экзамен:**<br>– самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в объяснении отдельных процессов и явления, а также при формулировке собственных суждений,<br>– точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок,<br>– наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок. | *Хорошо* |
| **Решение заданий:**<br>– задание решено правильно,<br>- работа оформлена неаккуратно<br>– неосознанность и неосновательность выбранных методов анализа,<br>– нет осмысленности в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации,<br>– корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок.<br>«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.<br>**Письменная контрольная (тестовая) работа**:<br>– не менее 50% ответов должны быть правильными.<br>**Экзамен:**<br>– теоретический и фактический материал в слабой степени подкреплен ссылками на научную литературу и источники,<br>– частичное понимание и неполное изложение причинно-следственных связей,<br>– самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, в объяснении процессов и явлений, а также затруднений при формулировке собственных суждений,<br>– корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок, | *Удовлетвори тельно* |

| | |
|---|---|
| – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы. | |
| **Решение заданий:**<br>– задание решено неправильно,<br>– компилятивное, неосмысленное, нелогичное и неаргументированное изложение материала,<br>– грубые ошибки в применении терминов и понятий,<br>«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.<br>**Письменная контрольная (тестовая) работа**:<br>– присутствие многочисленных ошибок (более 70% ответов содержат ошибки).<br>**Экзамен:**<br>– фрагментарное и недостаточное представление теоретического и фактического материала, не подкрепленное ссылками на научную литературу и источники,<br>– непонимание причинно-следственных связей,<br>– отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала,<br>– грубые ошибки в применении терминов и понятий,<br>– отсутствие ответов на дополнительные вопросы. | *Неудовлетво-рительно* |

***Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения***

**Семестровое задание** (выполнение в течение семестра)

1. Показать, что кристалл, имеющий четыре оси третьего порядка, образующие попарно четырехгранные углы, есть кристалл с кубической решеткой.
2. Показать, что не может существовать простая пространственная решетка с гексагональной плотной упаковкой.
3. Найти закон дисперсии для поперечных колебаний плоской квадратной решетки (период решетки, упругие константы и масса атомов известны).
4. Найти $E(k_x, k_y)$ для электрона в простой треугольной решетке в приближении сильной связи (ближайших соседей). Как изменится ответ, если учесть соседей, следующих за ближайшими.
5. Найти энергию локального уровня в одномерной цепочке δ-функций с вакансией: $U(x) = -g \sum_{n=-\infty}^{+\infty}{}' \delta(x + n \cdot a), \quad n \neq 0.$

**Пример контрольной работы**

1. Фононный спектр одномерной решетки имеет вид

$$\omega = 2\sqrt{\frac{\alpha}{m}\left|\sin\frac{ka}{2}\right|}.$$

Определить температурную зависимость фононной компоненты теплоемкости при низких температурах.

2. Электронный спектр одномерной решетки имеет вид

$$\varepsilon(k) = 2t\cos ka.$$

Считая уровень Ферми заданным, определить температурную зависимость электронной компоненты теплоемкости при низких температурах.

3. Электронный спектр двумерной решетки сильной связи имеет вид

$$\varepsilon(\mathbf{k}) = 2t\left(\cos k_x a + \cos k_y a\right).$$

Определить эффективную массу дна зоны проводимости. Предполагая последнюю заполненной наполовину, изобразить поверхность Ферми.

## Вопросы к экзамену

1. Фононы в неупорядоченных средах.
2. Локализованные фононные состояния
3. Тепловое расширение твердых тел. Ангармонизм.
4. Вклад нелинейности в теплоемкость
5. Эффект Мессбауэра
6. Электроны в кристаллах. Зонная теория.
7. Функции Ванье.
8. Приближение огибающих волновых функций.
9. Гран условия на огибающие при прохождении электроном границы раздела.
10. К-р теория возмущений
11. Взаимодействующие электроны в кристаллической решетке. Теория Ландау.
12. Эффект Кондо.
13. Сверхпроводимость. Модель БКШ.
14. Сверхпроводники первого и второго рода. Вихри Абрикосова.
15. Эффект Джозефсона.
16. Электроны в низкоразмерных структурах.
17. Жидкость Латтинжера.
18. Квантовый эффект Холла
19. Электроны с линейным спектром: графен,
20. Электроны с линейным спектром: топологические изоляторы
21. Электроны в неупорядоченных структурах. Теория слабой локализации.
22. Прыжковая проводимость
23. Спиновые структуры в магнитном поле.
24. Модель Изинга,
25. Модель Гайзенберга.
26. Фазовые переходы в магнетиках.
27. Магнитный момент во внешнем поле. ЭПР,ЯМР.
28. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кроннига. Скин-эффект (в т.ч. аномальный)

## Пример экзаменационного билета

1. Приближение огибающих волновых функций.

2. Модель Изинга

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