

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Кафедра теоретической физики

Авторы-составители: **Демин Виталий Анатольевич
Кадыров Дальво Ибрагимович
Циберкин Кирилл Борисович**

Рабочая программа дисциплины
КООПЕРАТИВНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ
Код УМК 91826

Утверждено
Протокол №5
от «03» июня 2021 г.

Пермь, 2021

1. Наименование дисциплины

Кооперативные эффекты в твердых телах

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.04.02** Физика

направленность Физика акустических и гидродинамических волновых процессов

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Кооперативные эффекты в твердых телах** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.04.02 Физика (направленность : Физика акустических и гидродинамических волновых процессов)

ПК.1 Способен использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики

Индикаторы

ПК.1.1 Определяет цели и задачи современных научных исследований в области физики

ПК.2 Способен принимать участие в разработке новых задач, методов и подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности

Индикаторы

ПК.2.2 Разрабатывает физические и математические модели, проводит компьютерное моделирование физических и технологических процессов

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	03.04.02 Физика (направленность: Физика акустических и гидродинамических волновых процессов)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	2
Объем дисциплины (з.е.)	3
Объем дисциплины (ак.час.)	108
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	36
Проведение лекционных занятий	24
Проведение практических занятий, семинаров	12
Самостоятельная работа (ак.час.)	72
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (2 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Кооперативные эффекты в твердых телах. Первый триместр

Обменное взаимодействие. Приближенные методы

Обменное взаимодействие

Обменный интеграл. Происхождение обменного взаимодействия. Перекрытие антисимметричных и симметричных волновых функций.

Теория Хартри-Фока. Теория экранировки Томаса-Ферми и Линдхарда

Электроны в металлах. Приближение Хартри-Фока. Модель Хартри-Фока для свободных электронов. Спектр. Энергия когезии в металлах. Экранировка в металлах. Приближение Томаса-Ферми. Теория Линдхарда. Осцилляции Фриделя.

Теория Ферми-жидкости

Электроны в металле как Ферми-жидкость. Элементы теории Ферми-жидкости. Слабо неидеальный Ферми-газ с отталкиванием. Концепция квазичастиц. Магнитная восприимчивость Ферми-жидкости. Нулевой звук в Ферми-жидкости.

Квазичастицы в металлах и полупроводниках

Электроны проводимости в металлах. Плазмоны.

Электронный газ в металле как плазма. Элементы теории плазмы. Плазменная частота свободного электронного газа. Квантование плазменных колебаний. Плазмон - квант плазменных колебаний. Влияние на оптические и электрические свойства металла. Диэлектрическая проницаемость. Экранировка поля электромагнитной волны. Отражение света. Поверхностные плазмоны. Поверхностный плазмонный резонанс. Рассеяние и дифракция света на металлах.

Полупроводники. Электроны и дырки. Экситоны.

Электроны и дырки в полупроводниках. Бестоковые возбуждения. Свободные экситоны- экситоны Ванье-Мотта. Связанные экситоны - экситоны Френкеля. Электронно-дырочная жидкость в полупроводнике. Критическая концентрация электронов и дырок. Биэкситоны. Экранировка кулоновского взаимодействия. Время жизни капель электронно-дырочной жидкости.

Полярны. Связь поляронов с оптическими фотонами и электронами

Электроны в диэлектриках. Решёточная поляризация и деформация. Виртуальные фононы. Поляронный эффект в рассеянии электронов на фононах. Магнетофононный резонанс. Полярны слабой и сильной связи.

Возникновение волн зарядовой плотности в квазиодномерных структурах. Электрон-фононное взаимодействие. Учёт дисперсии фононов.

Коллективные эффекты при низких температурах

Сверхпроводимость. Теория БКШ

Теория Лондонов. Магнитная восприимчивость сверхпроводников. Глубина проникновения и длина когерентности. Теория Бардина-Купера- Шриффера. Вихри Абрикосова. Теория Гинзбурга-Ландау. Высокотемпературная сверхпроводимость. Сверхпроводящие керамические материалы. Купраты, ферропниктиды.

Эффекты Джозефсона

Джозефсоновский контакт. Стационарный и нестационарный эффект Джозефсона. Туннелирование

куперовских пар. Генерация и поглощение. Уравнение синус-Гордона.

Сверхтекучесть жидкого гелия. Фонон-ротонный спектр

Слабонеидеальный бозе-газ. Главные члены гамильтониана. Дисперсионное соотношение для элементарных возбуждений над бозе-конденсатом. Две ветви энергетического спектра квазичастиц. Эффективные массы фононов и ротонов. Теплоёмкость жидкого гелия при низких температурах.

Магнитоупорядоченные вещества

Ферромагнетизм. Антиферромагнетизм

Ферромагнитный порядок. Точка Кюри. Теория эффективного поля Вейсса. Магнитная восприимчивость ферромагнетика. Доменная структура ферромагнетиков. Кривая намагничивания. Ферромагнитный резонанс. Магнитная структура антиферромагнетиков. Точка Нееля. Температурная зависимость восприимчивости в рамках обобщенной теории Вейсса.

Косвенное обменное взаимодействие. Эффект Кондо

Косвенный обмен. 14 видов магнетиков. Магнитная структура ферромагнетиков и геликоидальных магнетиков.

Магноны. Спиновые волны

Распространение спиновых отклонений в кристалле. Уравнения движения намагниченности. Дисперсионное соотношение классических спиновых волн. Решёточные модели магнетиков. Модель Гейзенберга. Квантовая теория спиновых волн. Представление Холстейна-Примакова. Бозевское приближение для спиновых операторов. Спиновые волны. Намагниченность и теплоемкость.

Структурные фазовые переходы. Фазовые переходы металл-диэлектрик

Теория Гинзбурга-Ландау. Критические явления и критические индексы. Ферромагнетик вблизи точки Кюри. Антиферромагнетик вблизи точки Нееля.

Понятие структурного фазового перехода. Изменение типа симметрии кристаллической решётки. Полиморфизм. Домены и сверхструктуры. Теория Ландау. Переходы металл-диэлектрик. Переход Мотта. Локализация Андерсона.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Черевко, А. Г. Физика конденсированного состояния. Часть 1. Кристаллы и их тепловые свойства : учебное пособие / А. Г. Черевко. — Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. — 81 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/69566.html>
2. Айнбиндер, Р. М. Физика сверхпроводников. Вихревые структуры и токовое состояние в сверхпроводниках с планарными дефектами и гетероструктурах ферромагнетик – сверхпроводник II рода / Р. М. Айнбиндер. — Саратов : Вузовское образование, 2014. — 89 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/19529>
3. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. Т. 9. Статистическая физика, Ч. 2: Теория конденсированного состояния / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; ред. Л. П. Питаевский. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004, ISBN 5-9221-0296-6.-496

Дополнительная:

1. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. Т. 5. Статистическая физика, Ч. 1 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. — 5-е изд., стер. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010, ISBN 978-5-9221-0054-0.-616
2. Дегтяренко, Н.Н. Введение в физику неупорядоченных конденсированных систем : учебное пособие / Н.Н. Дегтяренко. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. — 228 с. — ISBN 978-5-7262-1509-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/620002>

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://library.psu.ru/node/738> Электронные ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ

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

Образовательный процесс по дисциплине **Кооперативные эффекты в твердых телах** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем: Электронные мультимедийные учебники и учебные пособия, в том числе предоставляемые цифровой библиотекой ПГНИУ «ELiS». Пакет офисных программ "LibreOffice".

Дополнительный перечень используемых информационных технологий и программного обеспечения определяется читающими курс преподавателями.

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (student.psu.ru).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для проведения лекционных и практических занятий, мероприятий текущего контроля необходимы аудитории, оснащенные проекционным оборудованием, маркерной или меловой доской, ноутбук, презентационное программное обеспечение. Для самостоятельной работы студентов, проведения групповых и индивидуальных консультаций требуются аудитории, оснащенные ПК с доступом к локальной сети ПГНИУ и сети Интернет.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Кооперативные эффекты в твердых телах**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ПК.1

Способен использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.1.1 Определяет цели и задачи современных научных исследований в области физики</p>	<p>Знать современные методологические научные подходы, реализуемые в теории кооперативных эффектов в конденсированных средах; Уметь использовать полученные знания для установления однозначной связи макроскопическими явлениями и возникающими в системе элементарными возбуждениями основного энергетического состояния; Владеть основными принципами концепции элементарных возбуждений и квазичастиц в конденсированных средах, а также их приложениями к вычислению статистических макроскопических характеристик конденсированных сред, таких как вязкость, теплоёмкость, теплопроводность и др., к исследованию фазовых переходов.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает современные методологические научные подходы, реализуемые в теории кооперативных эффектов в конденсированных средах. Не умеет использовать полученные знания для установления однозначной связи макроскопическими явлениями и возникающими в системе элементарными возбуждениями основного энергетического состояния. Не владеет основными принципами концепции элементарных возбуждений и квазичастиц в конденсированных средах, а также их приложениями к вычислению статистических макроскопических характеристик конденсированных сред, таких как вязкость, теплоёмкость, теплопроводность и др., к исследованию фазовых переходов</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания современных методологических научных подходов, реализуемых в теории кооперативных эффектов в конденсированных средах. Демонстрирует частично сформированное умение использовать полученные знания для установления однозначной связи макроскопическими явлениями и возникающими в системе элементарными возбуждениями основного энергетического состояния. Имеет представление об основных принципах концепции элементарных возбуждений и квазичастиц в конденсированных средах, а также их</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>приложениями к вычислению статистических макроскопических характеристик конденсированных сред, таких как вязкость, теплоёмкость, теплопроводность и др., к исследованию фазовых переходов.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания современных методологических научных подходов, реализуемых в теории кооперативных эффектов в конденсированных средах. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения использовать полученные знания для установления однозначной связи макроскопическими явлениями и возникающими в системе элементарными возбуждениями основного энергетического состояния. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет концепцией элементарных возбуждений и квазичастиц в конденсированных средах, а также ее приложениями к вычислению статистических макроскопических характеристик конденсированных сред, таких как вязкость, теплоёмкость, теплопроводность и др., к исследованию фазовых переходов.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания современных методологических научных подходов, реализуемых в теории кооперативных эффектов в конденсированных средах. Сформированное умение использовать полученные знания для установления однозначной связи макроскопическими явлениями и возникающими в системе элементарными возбуждениями основного энергетического состояния. Успешное и систематическое применение представлений концепции элементарных возбуждений и квазичастиц в конденсированных средах, а также их приложениями к вычислению</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Отлично</p> статистических макроскопических характеристик конденсированных сред, таких как вязкость, теплоёмкость, теплопроводность и др., к исследованию фазовых переходов.

ПК.2

Способен принимать участие в разработке новых задач, методов и подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.2.2 Разрабатывает физические и математические модели, проводит компьютерное моделирование физических и технологических процессов</p>	<p>Знать основные представления теории сверхтекучести, сверхпроводимости. Уметь описывать основное состояние бозе- и ферми-систем при низких температурах, находить спектр элементарных возбуждений. Иметь опыт формулировки и исследования физической модели по выбранной тематике из области физики конденсированного состояния и физики низких температур.</p>	<p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основные представления теории сверхтекучести, сверхпроводимости. Не умеет описывать основное состояние бозе- и ферми-систем при низких температурах, находить спектр элементарных возбуждений. Имеет представление о принципах формулировки и исследования физической модели по выбранной тематике из области физики конденсированного состояния и физики низких температур.</p> <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания основных представлений теории сверхтекучести, сверхпроводимости. Демонстрирует частично сформированное умение описывать основное состояние бозе- и ферми-систем при низких температурах, находить спектр элементарных возбуждений. Иметь опыт формулировки и исследования физической модели по выбранной тематике из области физики конденсированного состояния и физики низких температур.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных представлений теории сверхтекучести, сверхпроводимости. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения описывать основное состояние бозе- и ферми-систем при низких температурах, находить спектр элементарных возбуждений. В целом демонстрирует успешную реализацию</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>формулировки и исследования физической модели по выбранной тематике из области физики конденсированного состояния и физики низких температур.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания основных представлений теории сверхтекучести, сверхпроводимости. Сформированное умение описывать основное состояние бозе- и ферми-систем при низких температурах, находить спектр элементарных возбуждений. Успешное и систематическое применение навыков формулировки и исследования физической модели по выбранной тематике из области физики конденсированного состояния и физики низких температур.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Обменное взаимодействие Входное тестирование	Знания базовых элементов квантовой механики, статистической физики, теории конденсированного состояния вещества
ПК.1.1 Определяет цели и задачи современных научных исследований в области физики	Поляроны. Связь поляронов с оптическими фотонами и электронами Письменное контрольное мероприятие	Владение основными приближенными методами описания взаимодействия частиц, методом вторичного квантования. Умение оперировать аппаратом теории многих частиц.
ПК.2.2 Разрабатывает физические и математические модели, проводит компьютерное моделирование физических и технологических процессов	Сверхтекучесть жидкого гелия. Фонон-ротонный спектр Письменное контрольное мероприятие	Владение методами вторичного квантования при описании электрон-фононного взаимодействия, сверхпроводимости, сверхтекучести. Знание основных физических особенностей низкотемпературных явлений и эффекта Джозефсона
ПК.2.2 Разрабатывает физические и математические модели, проводит компьютерное моделирование физических и технологических процессов	Структурные фазовые переходы. Фазовые переходы металл-диэлектрик Итоговое контрольное мероприятие	Владение подходами вторичного квантования для описания магнитоупорядоченных веществ, косвенных взаимодействий. Умение описывать характеристики намагничивания конденсированных средах, динамику вектора намагниченности.

Спецификация мероприятий текущего контроля

Обменное взаимодействие

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.5 часа**
 Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**
 Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**
 Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Классификация магнитных соединений. Диа- и парамагнетики, вещества с магнитным порядком	4
Распределения Гиббса, Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Основные особенности ферми- и бозе-систем	3
Волновая функция, плотность вероятности, свойства финитного и инфинитного движения	3

Поляроны. Связь поляронов с оптическими фотонами и электронами

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**
 Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**
 Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**
 Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Теория Хартри-Фока для электронов в металлах. Экранировка в электронных системах. Ферми-жидкость.	7
Экситоны в полупроводниках.	7
Поляроны. Электронные состояния в диэлектриках.	6
Теория плазмонов. Электронный газ. Свойства металлов	6
Обменное взаимодействие. Перекрытие волновых функций	4

Сверхтекучесть жидкого гелия. Фонон-ротонный спектр

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**
 Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**
 Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**
 Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Теория Бардина-Купера- Шриффера. Вихри Абрикосова. Теория Гинзбурга-Ландау.	8
Теория сверхпроводимости Лондонов. Магнитная восприимчивость сверхпроводников. Сверхпроводники первого и второго рода.	8
Стационарный и нестационарный эффект Джозефсона.	5
Электрон-фононное взаимодействие. Неустойчивость Пайерлса-Фрелиха	5
Уравнение синус-Гордона.	4

Структурные фазовые переходы. Фазовые переходы металл-диэлектрик

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.5 часа**
 Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**
 Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**
 Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Магнитные фазовые переходы. Структурные фазовые переходы. Переходы металл-диэлектрик.	9
Намагниченность и теплоемкость спиновых волн в ферро- и антиферромагнетике	9
Модель Гейзенберга. Представление Холстейна-Примакова.	8
Ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Косвенное обменное взаимодействие.	8
Понятие спиновой волны. Классическая теория спиновых волн.	6