

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Физико-математический институт

Авторы-составители: **Петров Данил Александрович**
Макаров Дмитрий Владимирович

Рабочая программа дисциплины
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
Код УМК 98972

Утверждено
Протокол №9
от «16» мая 2023 г.

Пермь, 2023

1. Наименование дисциплины

Физика конденсированного состояния

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в Блок « ОК.В.00 » образовательной программы по научным специальностям:

Научная специальность: **1.3.8** Физика конденсированного состояния

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Физика конденсированного состояния** у обучающегося должны быть сформированы следующие планируемые результаты обучения:

1.3.8 Физика конденсированного состояния

УРО.3 Проводит анализ новых направлений исследований и обосновывает перспективы их проведения в соответствующей области знаний

4. Объем и содержание дисциплины

Научная специальность	1.3.8 Физика конденсированного состояния
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	7
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 промежуточной аттестации	Экзамен (7 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Физика конденсированного состояния [аспирантура]

Силы связи в твердых телах

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием.

Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO_3 .

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

Симметрия твердых тел

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле.

Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

Дефекты в твердых телах

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

Дифракция в кристаллах

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

Колебания решетки

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

Тепловые свойства твердых тел

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Анггармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

Электронные свойства твердых тел

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.

Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

Магнитные свойства твердых тел

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков.

Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник Нормальный и аномальный скин-эффекты.

Толщина скин-слоя.

Сверхпроводимость

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

Физика жидких кристаллов

Классификация жидких кристаллов. Термотропные и лиотропные жидкие кристаллы. Нематики, холестерики, смектики - их структура, свойства, характер упорядочения.

Континуальная теория Озеена-Франка. Свободная энергия ориентационных деформаций. Упругие модули. Типы деформаций. Условия равновесия деформированного состояния жидкого кристалла.

Переход Фредерикса. Влияние энергии поверхностного сцепления на пороговые поля перехода Фредерикса.

Флуктуации директора в нематическом жидком кристалле. Корреляция компонент директора в нематическом жидком кристалле. Корреляционная длина флуктуаций. Переход холестерик - нематик в магнитном поле.

Скалярные и тензорные параметры порядка. Теория Ландау - де Жена фазового перехода нематический жидкий кристалл - изотропная жидкость.

Теория среднего поля Майера - Заупе. Уравнения самосогласования. Ориентационное упорядочение нематического жидкого кристалла и фазовый переход в изотропную жидкость в модели Майера - Заупе.

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 аудиторные 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. 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. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. Физика твердого тела: Учеб. / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов. - Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 1993, ISBN 5-230-03839-х. - 490.
3. Байков, Ю. А. Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. — 6-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2024. — 294 с. — ISBN 978-5-93208-863-0. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. <https://www.iprbookshop.ru/137746.html>
4. Дмитриев, А. В. Основы статистической физики материалов : учебник / А. В. Дмитриев. — Москва : Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2004. — 672 с. — ISBN 5-211-04830-X. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/13062>
5. Сонин А. С. Введение в физику жидких кристаллов: учеб. пособие для физ. спец. вузов / А. С. Сонин. - М.: Наука, 1983-Библиогр.: с. 314-315. - Предм. указ.: с. 316-319

Дополнительная:

1. Захлевных А. Н. Термодинамика твердого тела: учебное пособие для студентов физических факультетов по дисциплинам "Термодинамика и статическая физика", "Физика твердого тела" / А. Н. Захлевных. - Пермь: Издательство Пермского государственного университета, 2010, ISBN 978-5-7944-1512-4. - 50. - Библиогр.: с. 49
2. Вонсовский С. В. Магнетизм / С. В. Вонсовский. - Москва: Наука, 1984. - 208.
3. Захлевных А. Н. Физика фазовых переходов в жидких кристаллах: учебно-методическое пособие / А. Н. Захлевных. - Пермь, 2007, ISBN 5-7944-0891-X. - 127. - Библиогр.: с. 121-126
4. 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. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/69566.html>
5. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела: учебное пособие : перевод с английского / Ч. Киттель ; пер.: А. А. Гусев, А. В. Пахнев ; ред. А. А. Гусев. - Москва: Наука, 1978. - 792.

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<https://journals.ioffe.ru/journals/1> Журнал "Физика твердого тела"

<https://elibrary.ru/> Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU

https://tvkultura.ru/video/show/brand_id/20898/episode_id/156422/video_id/156422/viewtype/ Academia.

Алексей Бобровский. "Необыкновенные превращения ЖК-полимеров"

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

Образовательный процесс по дисциплине **Физика конденсированного состояния** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС)
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.
- Интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта и т.д.)

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения

- приложение, позволяющее просматривать PDF-файлы
- офисный пакет приложений «LibreOffice».

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 лекционных и практических занятий требуется аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций, проведения текущего контроля требуется аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Для самостоятельной работы студентов требуется аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета. Помещения Научной библиотеки ПГНИУ

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами 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
Физика конденсированного состояния**

Планируемые результаты обучения по дисциплине и критерии их оценивания

Планируемый результат обучения	Знания, умения и навыки	Критерии оценивания результатов обучения
УРО.3 Проводит анализ новых направлений исследований и обосновывает перспективы их проведения в соответствующей области знаний	Знать: основы теории конденсированного состояния; методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред, основы термодинамических и микроскопических моделей фазовых переходов в упорядоченных средах. Уметь: применять методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред к расчету конкретных физических явлений. Владеть: основными методами оценки физических величин различных систем; навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с изучением физических свойств макроскопических объектов	Неудовлетворительно Не знает основы теории конденсированного состояния; методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред, основы термодинамических и микроскопических моделей фазовых переходов в упорядоченных средах. Не умеет применять методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред к расчету конкретных физических явлений. Не владеет основными методами оценки физических величин различных систем; навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с изучением физических свойств макроскопических объектов. Удовлетворительно Демонстрирует частично сформированное знание основ теории конденсированного состояния; методов термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред, основ термодинамических и микроскопических моделей фазовых переходов в упорядоченных средах. Демонстрирует частично сформированное умение применять методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред к расчету конкретных физических явлений. Демонстрирует частично сформированное владение основными методами оценки физических величин различных систем; навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с изучением физических свойств макроскопических объектов. Хорошо Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание основ теории конденсированного состояния; методов термодинамического и микроскопического описания

Планируемый результат обучения	Знания, умения и навыки	Критерии оценивания результатов обучения
		Хорошо конденсированных сред, основ термодинамических и микроскопических моделей фазовых переходов в упорядоченных средах. Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение применять методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред к расчету конкретных физических явлений. Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение основными методами оценки физических величин различных систем; навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с изучением физических свойств макроскопических объектов. Отлично Знает основы теории конденсированного состояния; методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред, основы термодинамических и микроскопических моделей фазовых переходов в упорядоченных средах. Умеет применять методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред к расчету конкретных физических явлений. Владеет основными методами оценки физических величин различных систем; навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с изучением физических свойств макроскопических объектов.

Оценочные средства

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Устное собеседование по вопросам

**Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации :
время отводимое на подготовку 2**

Показатели оценивания

Не знает основы теории конденсированного состояния; методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред, основы термодинамических и микроскопических моделей фазовых переходов в упорядоченных средах.	Неудовлетворительно
---	----------------------------

Не умеет применять методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред к расчету конкретных физических явлений. Не владеет основными методами оценки физических величин различных систем; навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с изучением физических свойств макроскопических объектов.	Неудовлетворительно
Демонстрирует частично сформированное знание основ теории конденсированного состояния; методов термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред, основ термодинамических и микроскопических моделей фазовых переходов в упорядоченных средах. Демонстрирует частично сформированное умение применять методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред к расчету конкретных физических явлений. Демонстрирует частично сформированное владение основными методами оценки физических величин различных систем; навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с изучением физических свойств макроскопических объектов.	Удовлетворительно
Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание основ теории конденсированного состояния; методов термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред, основ термодинамических и микроскопических моделей фазовых переходов в упорядоченных средах. Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение применять методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред к расчету конкретных физических явлений. Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение основными методами оценки физических величин различных систем; навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с изучением физических свойств макроскопических объектов.	Хорошо
Знает основы теории конденсированного состояния; методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред, основы термодинамических и микроскопических моделей фазовых переходов в упорядоченных средах. Умеет применять методы термодинамического и микроскопического описания конденсированных сред к расчету конкретных физических явлений. Владеет основными методами оценки физических величин различных систем; навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с изучением физических свойств макроскопических объектов.	Отлично

Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

1. Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве.
2. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса.
3. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.
4. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции.
5. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания.

6. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
7. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость.
8. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.
9. Колебания решетки. Квантование колебаний. Фононы.
10. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
11. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.
12. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков.
13. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.
14. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.
15. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Анггармонические колебания.
16. Спиновые волны, магноны.
17. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).
18. Сверхпроводимость. Критическая температура.
19. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции.
20. Основные приближения зонной теории. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.
21. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.
22. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях.
23. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.
24. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.
25. Жидкокристаллическое состояние вещества. Термотропные и лиотропные жидкие кристаллы. Скалярный и тензорный параметр порядка.
26. Анизотропия свойств жидких кристаллов: магнитных, оптических, диэлектрических, вязкоупругих. Связь диамагнитной и оптической анизотропии жидкого кристалла с параметром порядка.
27. Свободная энергия Озеена-Франка.
28. Переходы Фредерикса в магнитных и электрических полях. Пороговое поле деформации жидкого кристалла.
29. Жидкокристаллическое состояние в растворах жестких стержней. Теория Онзагера.
30. Жидкокристаллическое упорядочение в термотропных жидких кристаллах. Теория среднего поля Майера-Заупе.
31. Теория Ландау-де Жена.
32. Флуктуации параметра порядка при подходе к точке фазового перехода.