

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Кемеровский государственный университет

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

Ф.В. Титов

2015 г.



Рабочая программа дисциплины

Физика фононов

Направление подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки  
«Физика конденсированного состояния»

Уровень магистратуры

Форма обучения

очная

Кемерово 2015

Рабочая программа дисциплины утверждена Ученым советом Физического факультета  
(протокол Ученого совета факультета № 7 от 20 февраля 2012 г.)

Утверждена с обновлениями Ученым советом Физического факультета  
(протокол Ученого совета факультета № 7 от 25 февраля 2013 г.)

Утверждена с обновлениями Ученым советом Физического факультета  
(протокол Ученого совета факультета № 9 от 17 февраля 2014 г.)

Утверждена с обновлениями Ученым советом Физического факультета  
(протокол Ученого совета факультета № 11 от 20 февраля 2015 г.)

Рабочая программа дисциплины одобрена на заседании кафедры теоретической физики  
Зав. кафедрой А. С. Поплавной

## **1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

В результате освоения ООП магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

<b>Коды компетенции</b>	<b>Результаты освоения ООП Содержание компетенций</b>	<b>Перечень планируемых результатов по дисциплине</b>
ОПК-6	Способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе	<p><b>Знать:</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>Основные методы решения задач в области физики колебательных состояний молекул;</li><li>Классические методы теоретического исследования колебательных состояний кристаллов;</li><li>Элементы феноменологической теории упругости, связь с динамикой кристаллической решетки;</li><li>Современные подходы к решению задач в области физики колебательных состояний кристаллов.</li></ol> <p><b>Уметь:</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>Соотносить возможности программного обеспечения и поставленных задач.</li><li>Задавать необходимые в программах параметры для моделирования колебательных свойств.</li><li>Вычислять термодинамические и механические характеристики молекул, кластеров и кристаллов.</li><li>Активно и целенаправленно применять полученные знания, навыки и умения при выполнении индивидуальной научно-исследовательской работы.</li></ol> <p><b>Владеть:</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>Навыками для применения специализированных программных пакетов в области физики колебательных состояний;</li><li>Методами теоретико-группового исследования физических свойств кристаллов.</li><li>Методами обработки полученных данных, а также визуализации результатов работы с применением современного программного обеспечения.</li></ol>

## **2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры**

Данная дисциплина реализуется в рамках дисциплин по выбору вариативной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» программы магистратуры и базируется на курсах естественнонаучных и профессиональных дисциплин, входящих в модули Математика, Физика, Теоретическая физика по направлению 03.03.02 Физика. Студенты, обучающиеся по

данному курсу должны знать основы математического анализа, аналитической геометрии, линейной алгебры, векторного и тензорного анализа, физики конденсированного состояния, основы механики сплошных сред, теории групп, теории симметрии в физике, методы электронной теории твердого тела.

Дисциплина изучается на 1 курсе во 2 семестре.

**3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 академических часа), из которых 36 часов – аудиторные занятия и 36 часов – самостоятельная работа; учебное время распределено в течение 1 семестра.

**3.1. Объём дисциплины по видам учебных занятий (в часах).  
Очная форма обучения**

<b>Вид учебной работы</b>	<b>Всего часов</b>
Общая трудоемкость дисциплины	72
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) (всего)	36
Аудиторная работа (всего):	36
в т. числе:	
Лекции	18
Семинары, практические занятия	18
в т. ч. в активной и интерактивной формах	9
Внеаудиторная работа (всего):	0
Самостоятельная работа обучающихся (всего)	36
Вид промежуточной аттестации обучающегося (зачет / экзамен)	Зачёт

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

**4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)**

**для очной формы обучения**

№ п/п	Раздел дисциплины	Общая трудоёмкость (часах)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости
			аудиторные учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся	
		всего	лекции	семинары, практические занятия		
1.	Общая теория динамики решетки в гармоническом приближении	30	8	10	12	Устный опрос, контроль выполнения домашнего задания
2.	Связь между микроскопической теорией и теорией упругости	10	4	2	4	Устный опрос, контроль выполнения домашнего задания
3.	Некоторые приложения общей теории колебаний решетки	10	4	2	4	Устный опрос, контроль выполнения домашнего задания
4.	Расчет динамики решетки кристаллов из первых принципов.	22	2	4	16	Индивидуальная работа

**4.2 Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание
1	<b>Общая теория динамики решетки в гармоническом приближении</b>	
<i>Содержание лекционного курса</i>		
1.1.	Динамика решетки в гармоническом приближении	Разложение потенциальной энергии, уравнения движения кристаллической решетки, свойства силовых констант.
1.2.	Механика пространственной решетки	Механика пространственной решетки. 1. Решетка Браве. 2. Колебания сложной решетки.
1.3.	Учет кулоновского взаимодействия	Метод Эвальда.
1.4.	Полуэмпирические модели расчета динамики кристаллической решетки	Полуэмпирические модели расчета динамики кристаллической решетки. Колебания решетки в приближении парного межатомного взаимодействия. Модель Китинга (Keating).

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование раздела дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
	решетки	
<b>Темы практических/семинарских занятий</b>		
1.1	Силовые константы	Учет симметрии при нахождении вида матриц силовых постоянных. Случай кубических решеток.
1.2.	Механика пространственной решетки халькопирита	Механика пространственной решетки халькопирита ( $ZnSiP_2$ ). Кристаллическая структура, элементы симметрии, таблица переходов атомов, преобразование связей.
1.3.	Механика пространственной решетки халькопирита	Получение общего вида матриц силовых постоянных в кристаллах со структурой халькопирита. Инвариантность энергии кристалла относительно его сдвига как целого, относительно его поворота как целого.
1.4.	Механика пространственной решетки халькопирита	Получение общего вида матриц силовых постоянных в кристаллах со структурой халькопирита. Условие отсутствия в кристалле внутренних напряжений. Параметры силовых постоянных для первых соседей в кристалле $ZnSiP_2$ .
1.5.	Механика пространственной решетки халькопирита	Вычисление фононных спектров $ZnSiP_2$ в модели Китинга (Keating).
2	<b>Связь между микроскопической теорией и теорией упругости</b>	
<b>Содержание лекционного курса</b>		
2.1.	Феноменологическая теория упругости кристаллов	Тензор деформации, тензор напряжения, термодинамика деформирования, закон Гука, свойства упругих постоянных. Вычисление механических характеристик кристаллов.
2.2.	Связь между микроскопической теорией и теорией упругости для простых решеток	Методы сравнения. Пространственная решетка с одним атомом в элементарной ячейке.
<b>Темы практических/семинарских занятий</b>		
2.1.	Свойства упругих постоянных	Нахождение вида тензора упругих постоянных. Алгоритм нахождения упругих постоянных кристаллов с использованием программного комплекса Crystal09.
3	<b>Некоторые приложения общей теории колебаний решетки</b>	
<b>Содержание лекционного курса</b>		
3.1.	Термодинамика кристаллов	Термодинамические соотношения при малых отклонениях из состояния равновесия.
3.2.	Термодинамика кристаллов	Термодинамика кристаллов в гармоническом приближении. Термодинамические величины. Тепловые свойства и их связь со спектром.
<b>Темы практических/семинарских занятий</b>		
3.1.	Термодинамика кристаллов	Спектр частот и теплоемкость. Модель Эйнштейна. Модель Дебая.
4	<b>Расчет динамики</b>	

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание
	<b>решетки кристаллов из первых принципов.</b>	
<i>Содержание лекционного курса</i>		
4.1.	Расчет динамики решетки кристаллов из первых принципов.	Многочастичная теория динамики решетки. Метод функционала плотности и динамика решетки. Основы вариационной теории линейного отклика.
<i>Темы практических/семинарских занятий</i>		
4.1.	Расчет динамики решетки кристаллов из первых принципов.	Вычисление фононного спектра кристаллов с помощью программы Quantum ESPRESSO.
4.2.	Некоторые приложения общей теории колебаний решетки	Вычисление термодинамических характеристик кристаллов на основе фононной плотности состояний.

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Электронная структура и колебательные спектры алмазоподобных полупроводниковых сверхрешеток [Текст] / А. В. Копытов, Е. Н. Малышева, Ю. И. Полягалов, А. С. Поплавной // Теория физических и физико-химических свойств сложных кристаллических соединений с различным типом химической связи / [под общ. ред. А. С. Поплавного [и др.]]. - Кемерово, 2012. - С. 325-375.

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

### **6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине (модулю)**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка – <i>по желанию</i>	наименование оценочного средства
1.	Общая теория динамики решетки в гармоническом приближении	<b>ОПК-6</b> <b>Знать 1, 2</b> <b>Владеть 2</b>	Устный опрос, контроль выполнения домашнего задания
2.	Связь между микроскопической теорией и теорией упругости	<b>ОПК-6</b> <b>Знать 3</b> <b>Владеть</b>	Устный опрос, контроль выполнения домашнего задания
3.	Некоторые приложения общей теории колебаний решетки	<b>ОПК-6</b> <b>Знать 3</b> <b>Уметь 3</b>	Устный опрос, контроль выполнения домашнего задания
4.	Расчет динамики решетки кристаллов из первых принципов.	<b>ОПК-6</b> <b>Знать 1, 4</b> <b>Уметь 1, 2, 3, 4</b> <b>Владеть 1, 3</b>	Индивидуальное задание

## **6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы**

### **6.2.1. Зачет**

1. Гармоническое приближение, разложение потенциальной энергии.
2. Уравнение движения кристаллической решетки в гармоническом приближении
3. Свойства силовых констант
4. Динамика кристаллической решетки. Общая теория.
5. Учет кулоновского взаимодействия. Основные положения метода Эвальда.
6. Полуэмпирические подходы к вычислению фононных спектров.
7. Колебания решетки в приближении парного межатомного взаимодействия.
8. Метод Китинга.
9. Тензор деформации, тензор напряжения, закон Гука.
10. Свойства упругих постоянных.
11. Вычисление механических характеристик кристаллов.
12. Методы сравнения микроскопической теории и теории упругости.
13. Термодинамические соотношения при малых отклонениях из состояния равновесия.
14. Термодинамика кристаллов в гармоническом приближении. Термодинамические величины.
15. Термодинамика кристаллов в гармоническом приближении. Тепловые свойства и их связь со спектром.
16. Модель Эйнштейна.
17. Модель Дебая.
18. Основные положения многочастичной теории динамики решетки. Метод функционала плотности и динамика решетки.
19. Вычисление термодинамических характеристик кристаллов на основе фононной плотности состояний.

#### ***Домашние задания.***

1. *Общая теория динамики решетки в гармоническом приближении.*

*К практическому занятию 1.1.:*

- 1) Найти вид матрицы силовых постоянных для первых, вторых и третьих соседей гранецентрированной кубической решетки.
- 2) Найти вид матрицы силовых постоянных для первых, вторых и третьих соседей простой кубической решетки.
- 3) Найти вид матрицы силовых постоянных для первых, вторых и третьих соседей объемно-центрированной кубической решетки.

*К практическому занятию 1.2.:*

- 4) Для гранецентрированной кубической решетки в приближении первых соседей найти частоты  $\omega$  в точках  $\vec{L} = \frac{1}{2}(\vec{b}_1 + \vec{b}_2 + \vec{b}_3)$ ,  $\vec{X} = \frac{1}{2}(\vec{b}_1 + \vec{b}_2)$ ,  $\vec{W} = \frac{1}{4}(\vec{b}_1 + \vec{b}_2) + \frac{1}{2}(\vec{b}_2 + \vec{b}_3)$ .
- 5) Для объемно-центрированной кубической решетки в приближении первых соседей найти частоты  $\omega$  в точках  $\vec{P} = \frac{1}{4}(\vec{b}_1 + \vec{b}_2 + \vec{b}_3)$ ,  $\vec{N} = \frac{1}{2}\vec{b}_3$ ,  $\vec{L} = \frac{1}{2}(\vec{b}_1 + \vec{b}_2 + \vec{b}_3)$

*К практическим занятиям 1.3.-1.4.*

- 6) Получить матрицы силовых постоянных в кристаллах со структурой халькопирита (закончить вычисления, начатые на практических занятиях).

*К практическому занятию 1.5.:*

- 7) Вычислить и построить фононные спектры для кристаллов со структурой халькопирита ( $\text{CuAlS}_2$ ,  $\text{CuGaS}_2$ ,  $\text{CuInS}_2$ ,  $\text{AgGaS}_2$ ,  $\text{AgGaSe}_2$ ,  $\text{AgInSe}_2$ ) в модели Китинга.

2. *Связь между микроскопической теорией и теорией упругости*

- 1) Найти вид матрицы упругих постоянных для кристаллов ромбической сингонии
  - 2) Найти вид матрицы упругих постоянных для кристаллов тетрагональной сингонии
  3. *Некоторые приложения общей теории колебаний решетки*
  - 1) Вычислить термодинамические характеристики кристаллов со структурой халькопирита ( $\text{CuAlS}_2$ ,  $\text{CuGaS}_2$ ,  $\text{CuInS}_2$ ,  $\text{AgGaS}_2$ ,  $\text{AgGaSe}_2$ ,  $\text{AgInSe}_2$ ) на основе фононной плотности состояний
  4. Расчет динамики решетки кристаллов из первых принципов. Задание к индивидуальной работе.
  - 1) Вычислить фононный спектр для кубических кристаллов  $\text{MCl}$ ,  $\text{MO}$ ,  $\text{MF}_2$ , описать его особенности (20).
  - 2) Представить вычисленные термодинамические характеристики в сравнении с известными экспериментальными данными (10).
- В скобках указан максимальный балл за правильно выполненное задание.

### **6.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций**

Студенту при сдаче теоретического материала и решении индивидуального задания необходимо показать свою способность демонстрировать углубленные знания в области математики и естественных наук. При сдаче индивидуального задания необходимо решить поставленные нем задачи и ответить на поставленные вопросы. Если студент пропустил занятие, он может его «отработать» – прйти с выполненным заданием к преподавателю в часы назначенных консультаций.

#### **б) критерии оценивания компетенций (результатов)**

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который:

- полно раскрывает содержание учебного материала в объеме, предусмотренном программой, изучил основную литературу по вопросам дисциплины и ознакомился с дополнительной;
- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;
- обладает достаточными знаниями для продолжения обучения и дальнейшей профессиональной деятельности;
- умеет увязать теорию и практику при решении задач и анализе конкретных ситуаций;
- допустил незначительные неточности при изложении материала, не искажающие содержание ответа по существу вопроса.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который:

- имеет пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине, не может дать четкого определения основных понятий;
- не умеет решать задачи и не может разобраться в конкретной ситуации;
- не может успешно продолжать дальнейшее обучение в связи с недостаточным объемом знаний.

#### **в) описание шкалы оценивания**

Максимальная сумма баллов, набираемых студентом по дисциплине – 122 балла.

• Непосещение занятий оценивается в (-2) балла. Для ликвидации задолженностей по пропущенным занятиям необходимо принести и показать законспектированные фрагменты лекций и практических занятий.

• Посещение занятий оценивается в 2 балла. Итого максимальный балл за посещение лекций – 18, за посещение практических занятий – 18.

• Работа на практическом занятии у доски оценивается в 2 балла, самостоятельная работа на месте максимально в 2 балла (с обязательным показом решенных задач). Итого максимальный балл за работу на практических занятиях – 36 баллов.

• Максимальное количество баллов, которое студент может получить за выполнение индивидуального задания – 30 баллов.

На зачёте студенту предлагается:

1. один теоретический вопрос из произвольных (по выбору преподавателя) разделов. Полный и правильный ответ оценивается в 10 баллов.
2. подробно объяснить ход решения одной из домашних задач (по выбору преподавателя), сами задачи на зачете не решаются ввиду объемности их решения. Полный и правильный ответ оценивается в 10 баллов.
3. защитить выполненную заранее индивидуальную работу (30 баллов), для чего необходимо ответить на поставленные преподавателем вопросы.

В результате за зачёт студент имеет возможность набрать 50 баллов; некоторые студенты, проявившие активность при изучении курса и набравшие по итогам текущей аттестации 80 баллов, по усмотрению преподавателя, ведущего занятия, на зачёте освобождаются от ответов на 1 и 2 вопросы и автоматически получают 20 баллов.

В зависимости от суммарного количества набранных баллов студенту выставляются следующие итоговые оценки:

- 0-70 баллов – «не засчитено»;  
70-122 балла – «засчитено».

## ***7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины***

### ***a) основная литература:***

1. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела : учеб. пособие / Г. И. Епифанов. - СПб. : Лань, 2011. - 288 с. : рис., табл. - (Учебники для вузов. Специальная литература). [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2023](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2023) (дата последнего обращения: 27.01.15)

### ***б) дополнительная литература:***

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. В 10 т. [Текст] : Учеб.пособие для вузов. Т. 7. Теория упругости / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - 5-е изд., стер. - М. : Физматлит, 2001. - 259 с ил.
2. Электронная структура и колебательные спектры алмазоподобных полупроводниковых сверхрешеток [Текст] / А. В. Копытов, Е. Н. Малышева, Ю. И. Полягалов, А. С. Поплавной // Теория физических и физико-химических свойств сложных кристаллических соединений с различным типом химической связи / [под общ. ред. А. С. Поплавного [и др.]]. - Кемерово, 2012. - С. 325-375.
3. Зиненко, В. И. Основы физики твердого тела [Текст] : Учеб. пособие для вузов / В. И. Зиненко, Б. П. Сорокин, П. П. Турчин. - М. : Физматлит, 2001. - 335 сил. - Библиогр.:с.332.
4. Кацнельсон, А. А. Введение в физику твердого тела [Текст] / А. А. Кацнельсон. - Москва: МГУ, 1984. - 293 с.
5. Матухин, Вадим Леонидович. Физика твердого тела : учеб. пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. - СПб. : Лань, 2010. - 218 с. : рис., табл. - (Учебники для вузов. Специальная литература) [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=262](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=262) (дата последнего обращения: 27.01.15)
6. Шалимова, Клавдия Васильевна. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2010. - 391 с. : рис., табл. - (Учебники для вузов.

Специальная литература) [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=648](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=648)) (дата последнего обращения: 27.01.15)

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

### ***в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:***

1. Некоммерческое свободно распространяемое программное обеспечение - программа для визуализации кристаллических структур PowderCell 2.3 – ([http://www.ccp14.ac.uk/ccp/web-mirrors/powdcell/a\\_v/v\\_1/powder/e\\_cell](http://www.ccp14.ac.uk/ccp/web-mirrors/powdcell/a_v/v_1/powder/e_cell)) (дата последнего обращения: 27.01.15)
2. Кристаллографический сайт [The crystallographic site at the Condensed Matter Physics Dept. of the University of the Basque Country] (<http://www.cryst.ehu.es>) (дата последнего обращения: 27.01.15)
3. Некоммерческое свободно распространяемое программное обеспечение – программа для расчета электронных и колебательных свойств твердых тел Quantum ESPRESSO (<http://www.quantum-espresso.org>) (дата последнего обращения: 27.01.15)
4. Некоммерческое свободно распространяемое программное обеспечение - программа для визуализации кристаллических структур и результатов первопринципных расчетов XCrySDen (<http://www.xcrysden.org>) (дата последнего обращения: 27.01.15)

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных и индивидуальных заданий, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

### **9.1. Советы по планированию и организации времени, необходимого для изучения дисциплины.**

Рекомендуется следующим образом организовать время, необходимое для изучения дисциплины:

- Изучение конспекта лекции в тот же день после лекции – 15-20 минут.
- Изучение конспекта за день перед следующей лекцией – 20-25 минут.
- Изучение теоретического материала по учебнику и конспекту – 1.5-2.5 часа в неделю.
- Подготовка к практическому занятию либо выполнение индивидуального задания – 2.5-3.5 часа.
- Всего в неделю – около 4.5-6.5 часа.

### **9.2. Описание последовательности действий студента («сценарий изучения дисциплины»).**

Для понимания материала и качественного его усвоения рекомендуется такая последовательность действий:

1. После прослушивания лекции и окончания учебных занятий, при подготовке к занятиям следующего дня нужно сначала просмотреть и обдумать текст лекции, прослушанной сегодня, разобрать рассмотренные примеры.

2. При подготовке к лекции следующего дня нужно просмотреть текст предыдущей лекции, подумать о том, какая может быть тема следующей лекции.
3. В течение недели выбрать время для работы с литературой в библиотеке и для решения задач.
4. При подготовке к практическим занятиям повторить основные понятия и формулы по теме домашнего задания, изучить примеры. Решая упражнение или задачу, – предварительно понять, какой теоретический материал нужно использовать. Наметить план решения, попробовать на его основе решить 1-2 аналогичные задачи.

### **9.3. Рекомендации по использованию материалов учебно-методического комплекса.**

Рекомендуется использовать методические указания и материалы по курсу «Физика фононов», текст лекций, а также электронные пособия, имеющиеся на факультетском сервере.

### **9.4. Рекомендации по работе с литературой.**

Теоретический материал курса становится более понятным, когда дополнительно к прослушиванию лекций изучаются и книги по теории групп. Литературу по курсу желательно изучать в библиотеке. Полезно использовать несколько учебников, однако легче освоить курс, придерживаясь одного учебника и конспекта. Рекомендуется, кроме «заучивания» материала, добиться понимания изучаемой темы дисциплины. С этой целью после прочтения очередной главы желательно выполнить несколько простых упражнений на соответствующую тему. Кроме того, очень полезно мысленно задать себе и попробовать ответить на следующие вопросы: о чем эта глава, какие новые понятия в ней введены, каков их смысл, для чего служат и какими свойствами обладают используемые здесь математические модели.

### **9.5. Советы по подготовке к зачету.**

Дополнительно к изучению конспектов лекций необходимо пользоваться учебниками по теории групп. Вместо «заучивания» материала важно добиться понимания изучаемых тем дисциплины. При подготовке к зачету нужно освоить теорию: разобрать определения всех понятий, рассмотреть примеры и самостоятельно решить несколько типовых задач из каждой темы. При решении задач всегда необходимо комментировать свои действия и не забывать о содержательной интерпретации.

### **9.6. Указания по выполнению домашних и индивидуальных заданий.**

При выполнении домашних и индивидуальных заданий необходимо сначала прочитать теорию и изучить примеры по каждой теме. Решая конкретную задачу, предварительно следует понять, что требуется от Вас в данном случае, какой теоретический материал нужно использовать, наметить общую схему решения. Если Вы решали задачу «по образцу» рассмотренного на аудиторном занятии или в методическом пособии примера, то желательно после этого обдумать процесс решения и попробовать решить аналогичную задачу самостоятельно.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

1. Лекции с применением мультимедийных материалов, мультимедийная аудитория;
2. Компьютерный класс с возможностью подключения к сети "Интернет" для доступа к ресурсам п.8.

Технологии, используемые при активной и интерактивной формах обучения	
Неимитационные	Имитационные
Активные (проблемные) лекции и семинары	Кейс-технологии
Тематическая дискуссия	Анализ конкретных ситуаций

(пресс-конференции)	
Мозговая атака	Групповой тренинг
Презентация	

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

При освоении дисциплины необходимы учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий, мультимедийное оборудование, программное обеспечение для компьютерных презентаций, компьютерный класс с выходом в Интернет, возможностью установки программного обеспечения п.8, а также проведения расчетов.

## **12. Иные сведения и материалы**

**Цели освоения дисциплины.** Целями освоения дисциплины «Физика фононов» является формирование базовых знаний в области физики колебательных состояний молекул, кластеров, кристаллов и является фундаментальной составляющей в подготовке по программе «Физика конденсированного состояния». Помимо фундаментального значения, «Физика фононов» является основой для многих прикладных направлений, технологий, благодаря чему его изучение необходимо как будущим научным работникам, преподавателям, так и практическим специалистам.

### ***12.1. Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья***

Организационно-педагогическое сопровождение студента с ОВЗ направлено на контроль освоения образовательной программы в соответствии с графиком учебного процесса и типовым или индивидуальным учебным планом и включает в себя, при необходимости, контроль за посещаемостью занятий, помочь в организации самостоятельной работы, организацию индивидуальных консультаций, контроль по результатам текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации.

Для студентов с ОВЗ по слуху предусматривается применение сурдотехнических средств, таких как, техники для усиления звука, видеотехники, мультимедийной техники и других средств передачи информации в доступных формах для лиц с нарушениями слуха.

Для студентов с ОВЗ по зрению предусматривается применение технических средств усиления остаточного зрения, в том числе, специальные возможности операционных систем (электронные лупы, видеоувеличители), возможность масштабирования текста и другие средства передачи информации в доступных формах для лиц с нарушениями зрения.

Для студентов с нарушениями опорно-двигательной функции предусматривается применение компьютерной техники с соответствующим программным обеспечением (виртуальные лабораторные практикумы, мультимедийные учебные комплексы, тесты для самопроверки и контроля), а также, специальные возможности операционных систем, таких, как экранная клавиатура, и альтернативные устройства ввода информации.

В образовательном процессе для лиц с ОВЗ возможно использование различных форм организации on-line и off-line занятий (вебинары, виртуальные лекции, обсуждение вопросов освоения дисциплины в рамках видеосвязи, чатов, форумов), что дает возможность индивидуализации траектории обучения таких категорий граждан (индивидуализация содержания, методов, темпа учебной деятельности, внесения, при необходимости, требуемых корректировок в деятельность обучающегося и преподавателя). Электронное обучение, дистанционные образовательные технологии позволяют эффективно обеспечивать коммуникации студента с ОВЗ не только с преподавателем, но и с другими обучающимися в процессе познавательной деятельности.

Так как преподавание данной дисциплины осуществляется в мультимедийной аудитории, необходимый набор технических средств для работы со студентами с ОВЗ имеется.

Автор: Кравченко Н.Г. (доцент кафедры теоретической физики, к.ф.-м.н.)