

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор  
по образовательной деятельности

\_\_\_\_\_ А.А. Панфилов

« 28 » 08 2018 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ КРИСТАЛЛОГРАФИИ»**

Направление подготовки 44.03.05 – Педагогическое образование

Профиль/программа подготовки Физика. Математика

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной атте- стации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
10	3/108	10	20		78	ЗАЧЕТ С ОЦЕНКОЙ
Итого	3/108	10	20		78	ЗАЧЕТ С ОЦЕНКОЙ

Владимир, 2018

*А.А. Панфилов*

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Проблемы современной кристаллографии» являются

- 1) формирование у студента-физика представлений о современном состоянии физики конденсированного состояния,
- 2) знакомство с такими новыми объектами исследования кристаллографии как квазикристаллы и их математическими моделями – квазипериодическими разбиениями,
- 3) изучение основ фрактальной геометрии и ее применения при описании конденсированного состояния вещества.

Задачи дисциплины:

1. овладение знаниями:
  - 1) теоретических основ науки, терминологии, истории становления,
  - 2) методов экспериментальных и теоретических исследований,
  - 3) предмета и объекта исследований данной науки,
2. овладение навыками:
  - 1) решения расчетных задач,
  - 2) работы с учебной и научной литературой,
  - 3) овладение умением решения творческих и нестандартных задач.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Проблемы современной кристаллографии» относится к вариативной части.

Пререквизиты дисциплины: Введение в общую и экспериментальную физику, Общая и экспериментальная физика, Методы математической физики, Практикум по решению школьных физических задач, Методика обучения физике, Основы теоретической физики, Современные средства оценивания результатов обучения, Электрорадиотехника, Физический эксперимент в школе, Астрономия, Современные проблемы физики. Нобелевский аспект, Использование информационных и коммуникационных технологий в обучении физике, Практикум по физической электронике, Практикум по экспериментальной физике, Элективный курс по решению школьных физических задач, История физики.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
ОК-3 - Способность использовать естественнонаучные и математические знания в современном информационном пространстве	частично	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- предмет и объект физики конденсированного состояния вещества;</li><li>- фундаментальные понятия геометрической и физической кристаллографии;</li><li>- основные достижения современной кристаллографии.</li></ul> <b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- определять и описывать симметрию конечной формы кристаллов, симметрию бесконечной периодической кристаллической структуры;</li><li>- основные методы решения кристаллических структур, включая метод дискретного моделирования молекулярных упа</li></ul>

		<p>ковок, модель послойного роста кристаллических структур, модельные множества как модели квазикристаллов.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками работы с упаковочными пространствами в двумерном и трехмерном случае.</li> <li>- навыками работы с научной литературой разного уровня (научно-популярные издания, периодические журналы, монографии, учебники, справочники);</li> <li>- навыками оценки результатов научного эксперимента или исследования.</li> </ul>
ПК-12 - Способность руководить учебно-исследовательской деятельностью обучающихся	частично	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специфику научного творчества в области физики конденсированного состояния, связанной со структурной организацией вещества;</li> <li>- основные понятия теории кристаллографической симметрии конечных и бесконечных периодических объектов;</li> <li>- основные понятия метода дискретного моделирования, теории фракталов и квазикристаллов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- разрабатывать программу факультативов и кружков для обучающихся основной и средней школы по темам, связанным с проблемами современной кристаллографии;</li> <li>- включать элементы современной кристаллографии в занятия по темам «Строение вещества» и «Физика твердого тела» на уроках в школе.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками работы с научной литературой разного уровня (научно-популярные издания, периодические журналы, монографии, учебники, справочники);</li> <li>- навыками разработки мультимедийных презентация на темы современной физики.</li> </ul>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Метод дискретного моделирования упаковок в молекулярных кристаллах	10	1-3	2	4		15	3/50	
2	Модель Послойного роста разбиений, упаковок и графов	10	4-5	2	4		15	2/33	РК-1
3	Одномерный квазикристалл Фибоначчи	10	6-7	2	4		16	3/50	
4	Двумерное квазипериодическое разбиение Розы	10	8-9	2	4		16	3/50	РК-2
5	Мозаики Пенроуза	10	10-12	2	4		16	2/33	РК-3
Всего за 10 семестр:				10	20		78	13/43	ЗАЧЕТ С ОЦЕНКОЙ
Наличие в дисциплине КП/КР									
Итого по дисциплине				10	20		78	13/43	ЗАЧЕТ С ОЦЕНКОЙ

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

#### Тема 1. Метод дискретного моделирования упаковок в молекулярных кристаллах

1. Геометрическая и дискретная модели молекул.
2. Упаковочное пространство.
3. Критерий трансляционной упаковки поликубов.
4. Критерий упаковки заданного набора поликубов с заданным коэффициентом упаковки.
5. Кодировка упаковок полимино в плоскости и поликубов в пространстве.
6. Алгоритмы перебора вариантов упаковок поликубов.

#### Тема 2. Модель послойного роста разбиений, упаковок и графов

1. Понятие координации в кристаллохимии.
2. Координационные сферы и координационные числа.
3. Многогранник послойного роста.
4. Метод построения многогранника послойного роста в периодических структурах.
5. Спектры многогранников.

#### Тема 3. Одномерный квазикристалл Фибоначчи

1. Квазипериодическое разбиение – модель квазикристалла.

2. Построение одномерного квазикристалла методом инфляции-дефляции.
3. Построение одномерного квазикристалла методом подстановки.
4. Построение одномерного квазикристалла методом среза и проекции. Модельные множества и их параметризация.
5. Золотое сечение и последовательность Фибоначчи.

#### **Тема 4. Двумерное квазипериодическое разбиение Рози**

1. Фрактал Рози на комплексной плоскости.
2. Построение двумерного квазипериодического разбиения Рози методом инфляции-дефляции.
3. Квазипериодического разбиение Рози – модельное множество.
4. Слабая и сильная параметризации разбиения Рози.
5. Обобщенные разбиения Рози, построенные на основе кубических иррациональностей.

#### **Тема 5. Мозаики Пенроуза**

1. Мозаики Пенроуза – квазипериодические разбиения с некристаллографической симметрией.
2. Разбиение Пенроуза на ромбы двух сортов.
3. Разбиение Пенроуза на воздушные змей и наконечники дротика.
4. Граф вершин разбиения Пенроуза как модельное множество.
5. Слабая и сильная параметризации вершин разбиения Пенроуза.
6. Послойный рост графа вершин разбиения Пенроуза.

### **Содержание практических занятий по дисциплине**

#### **Тема 1. Метод дискретного моделирования упаковок в молекулярных кристаллах**

Задание 1. Для предложенного преподавателем полимино и коэффициента упаковки  $k$  рассчитать порядок упаковочных пространств  $N$ , необходимых для перебора вариантов трансляционной упаковки этого полимино с заданным коэффициентом упаковки  $k$ .

Задание 2. По формуле  $\sigma(N) = \sum_{d_i|N} d_i$  посчитать число двумерных упаковочных пространств рассчитанного в задании 2 порядка  $N$ .

Задание 3. Построить на клетчатой бумаге или в текстовом редакторе фрагменты всех двумерных упаковочных пространств порядка  $N$ .

Задание 4. Проверить критерий трансляционной упаковки для предложенного преподавателем полимино во всех построенных упаковочных пространствах.

Задание 5. Для упаковочных пространств, в которых критерий упаковки выполняется, построить фрагменты соответствующих трансляционных упаковок полимино.

Задание 6. Указать одну из элементарных ячеек полученного варианта упаковки полимино.

Задание 7. Для каждого варианта упаковки полимино записать код упаковки.

#### **Тема 2. Модель Послойного роста разбиений, упаковок и графов**

Задание 1. Для предложенного преподавателем набора полимино создать файлы данных для перебора вариантов трансляционной упаковки каждого полимино с коэффициентом упаковки  $k=1$  (трансляционного разбиения). С помощью программы Pack\_Polymino.exe рассчитать эти разбиения. С использованием программы Cod\_View.exe посмотреть полученные варианты разбиения.

Матрицы упаковочных пространств, коды полученных разбиений и фрагменты самих разбиений внести в отчет.

Задание 2. Для полимино, для которого трансляционных разбиений не обнаружено, подобрать максимальный коэффициент упаковки, при котором упаковка этих полимино существует. Результат занести в отчет.

Задание 3. Для каждого полимино из предложенного ранее набора создать файл данных для перебора вариантов периодической упаковки с коэффициентом упаковки  $k=1$  и числом трансляционно независимых полимино  $Z=2,3,4$ . С помощью программы Pack\_Polymino.exe рассчитать эти разбиения. С использованием программы Cod\_View.exe посмотреть полученные варианты разбиения. Количество полученных вариантов разбиений занести в таблицу.

Полимино	Z=1	Z=1	Z=1	Z=1

Задание 4. Создать файл данных для поиска вариантов разбиений плоскости на четыре полимино предложенного набора. С помощью программы Pack\_Polymino.exe рассчитать эти разбиения. С использованием программы Cod\_View.exe посмотреть полученные варианты разбиения. Количество полученных вариантов разбиений занести в отчет.

### Тема 3. Одномерный квазикристалл Фибоначчи

Задание 1. Для одномерного квазикристалла Фибоначчи рассчитать значения функции сложности для первых 10 значений  $n$ . Для этого удобно представить это одномерное разбиение в виде последовательности, состоящей из букв  $L$  и  $S$ , и выписать все различные тройки букв для  $n=1$ , все различные пятерки букв для  $n=2$  и так далее. Попробуйте угадать формулу зависимости функции сложности от  $n$ .

Задание 2. Для четырех обобщенных разбиений Розы посчитать значения функции сложности для нескольких первых значений  $n$ , используя тот факт, что  $n$ -корона  $Cr_n(T_{RGB})$  содержит представителей всех фигур из разбиения Розы, которые порождают все  $c(n)$  различных  $n$ -корон  $Cr_n(T)$  в разбиении.

### Тема 4. Двумерное квазипериодическое разбиение Розы

Задание 1. Для регулярных фракталов (смотри приложение) рассчитать фрактальную размерность  $D$ . Результаты внести в отчет.

Задание 2. С использованием компьютерной программы Raport.exe построить фрактал «Дракон». Коэффициенты аффинных преобразований внести в таблицу с помощью кнопки Dragon\_1. Подобрать масштаб для оптимального размера изображения. Пронаблюдать, как меняется картинка при изменении вероятностей первого и второго преобразований.

Задание 3. Используя кнопку Dragon\_2 ввести коэффициенты аффинных преобразований внести в таблицу и построить фрактал «Гирлянда драконов». Изменив соответствующие коэффициенты, построить «Гирлянду волков». Коэффициенты найти в теоретической части.

Задание 4. Построить фрактал «Листок папоротника», введя коэффициенты аффинных преобразований с помощью кнопки Paprotnik. Увеличив масштаб, убедитесь в самоподобии фрактала.

Задание 5. Изменив вероятности первых двух преобразований, исключить из списка первое преобразование. Наоборот, исключив третье и четвертое преобразование, убедиться, что первое преобразование отвечает за стебель листка.

Задание 6. Рассмотреть фракталы, которые получаются с использованием второго-третьего и второго-четвертого преобразований.

Задание 7. Обнулив коэффициенты  $b$  и  $c$ , убедиться, что они отвечают за изгиб листа.

Задание 8. Уравняв коэффициенты  $f$  третьего и четвертого преобразований, убедиться, что этот коэффициент отвечает за сдвиги листочков вдоль стебля.

### Тема 5. Мозаики Пенроуза

Задание 1. Для предложенной преподавателем молекулы (файл с расширением \*.ins) с помощью программы Arrgo.exe с рассчитать поликубы с шагом аппроксимации  $s=0.80, 0.60, 0.40 \text{ \AA}$ .

Задание 2. Для поликуба с шагом аппроксимации  $s=0.80 \text{ \AA}$  с помощью программы Search\_Pack.exe произвести расчет возможных вариантов упаковки с коэффициентом упаковки  $k=0.75, 0.70, 0.75, 0.70, 0.65, 0.60, 0.55, 0.50$ . Вблизи максимального  $k$ , при котором число вариантов отлично от нуля произвести расчеты меняя  $k$  с шагом 0.01.

Задание 3. Используя результаты предыдущего задания подобрать коэффициент упаковки  $k$ , при котором число вариантов упаковки составляет порядка 10-20. Для этого  $k$  с помощью программы Search\_Pack.exe произвести расчеты вариантов упаковки поликубов с шагами аппроксимации  $s=0.60, 0.40 \text{ \AA}$ . Если число вариантов будет меньше или больше указанного диапазона повторите расчеты для большего или меньшего  $k$ , соответственно.

Задание 4. Отобрать для каждого из шагов аппроксимации по одному файлу с расширением \*.out с общим числом вариантов упаковки порядка 30-50. Для них с помощью программы Calc\_structures.exe рассчитать модельные кристаллические структуры. Четыре первых символа в названии файлов структур рекомендуется взять из шага аппроксимации и коэффициента упаковки. Например, для  $s=0.60 \text{ \AA}$  и  $k=0.57$  это будут цифры 6057.

Задание 5. С использованием программы Optim.exe произвести уточнение всех рассчитанных вариантов кристаллических структур. Использовать для уточнения 4 итерации с параметрами по умолчанию.

Задание 6. С помощью программы Comparison.exe провести сравнение полученных модельных кристаллических структур с исходной структурой, из которой бралась молекула для расчета поликубов. Определить количество теоретически рассчитанных вариантов, соответствующих реальной структуре.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Проблемы современной кристаллографии» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- Разбор конкретных ситуаций (тема №1, тема №2, тема №5);
- Анализ ситуаций (тема №3)
- Применение имитационных моделей (тема №4).

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

*Текущий контроль успеваемости*

### Вопросы к рейтинг-контролю №1

1. Укажите, в каких решетках два угла являются прямыми, а третий отличен от  $90^0$ ?
  - а) гексагональной и моноклинной;
  - б) ромбической и моноклинной;
  - в) тригональной и ромбической;
  - г) тетрагональной и ромбической.
2. Если какая-либо плоскость не пересекает ось X, то ее индекс Миллера по этой оси равен:
  - а) нулю;
  - б) бесконечности;
  - в) единице;
  - г) не указывается.
3. Если вещество может существовать в разных кристаллических модификациях, то при этом:
  - а) меняется плотность упаковки и координационное число;

- б) меняется плотность упаковки;
  - в) меняется координационное число;
  - г) ничего не меняется.
4. Наиболее слабой является:
- а) ионная связь;
  - б) ковалентная связь;
  - в) молекулярная связь;
  - г) металлическая связь.
5. Энергия оптической ветви колебаний атомов в решетке, состоящей из атомов двух сортов:
- а) всегда больше энергии акустических колебаний;
  - б) всегда меньше энергии акустических колебаний;
  - в) может быть как больше, так и меньше энергии акустических колебаний;
  - г) больше или равна энергии акустических колебаний.
6. Частота колебаний цепочки одинаковых атомов зависит от волнового числа:
- а) линейно;
  - б) синусоидально;
  - в) экспоненциально;
  - г) это более сложная зависимость.
7. По модели Эйнштейна теплоемкость вблизи нуля зависит от температуры:
- а) линейно;
  - б) экспоненциально;
  - в) кубически;
  - г) не зависит.
8. По закону Дюлонга-Пти теплоемкость вблизи нуля зависит от температуры:
- а) линейно;
  - б) экспоненциально;
  - в) кубически;
  - г) не зависит.
9. Модель Дебая для теплоемкости введена с учетом следующих предположений:
- а) непрерывности среды и идентичности продольных и поперечных колебаний;
  - б) минимальности энергии системы;
  - в) существования температуры Дебая;
  - г) существования распределения Больцмана.
10. Фононы:
- а) описываются статистикой Бозе-Эйнштейна;
  - б) являются коллективными колебаниями кристаллической решетки;
  - в) являются носителями энергии;
  - г) являются носителями заряда.
11. Теория Друде-Лоренца:
- а) неправильно описывает зависимость электропроводности от температуры;
  - б) неправильно описывает зависимость теплопроводности от температуры;
  - в) неправильно описывает электронную теплоемкость;
  - г) неправильно описывает зависимость электронной теплоемкости от температуры.

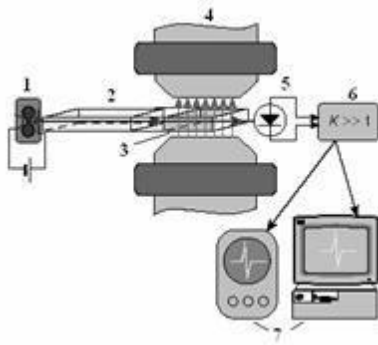
### Вопросы к рейтинг-контролю №2

12. По закону Видемана-Франца-Лоренца:
- а) отношение между тепло- и электропроводностью пропорционально температуре;
  - б) отношение между тепло- и электропроводностью обратно пропорционально температуре;
  - в) отношение между тепло- и электропроводностью пропорционально квадрату температуры;
  - г) отношение между тепло- и электропроводностью обратно пропорционально квадрату температуры.
13. Подвижность носителей заряда - это:



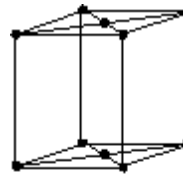
- а) скорость упорядоченного движения носителей заряда в поле единичной напряженности;
  - б) скорость движения носителей заряда в поле единичной напряженности;
  - в) скорость теплового движения носителей заряда в поле единичной напряженности;
  - г) скорость упорядоченного движения носителей заряда при единичном сопротивлении.
14. Спектр электрона в кристалле является:
- а) сплошным;
  - б) дискретным;
  - в) зонным;
  - г) полосатым.
15. Ширина разрешенной зоны в кристалле с ростом энергии:
- а) растет;
  - б) уменьшается;
  - в) не изменяется;
  - г) зона исчезает.
16. Эффективная масса носителей заряда:
- а) равна инерционной массе;
  - б) равна гравитационной массе;
  - в) является коэффициентом пропорциональности при описании движения носителя заряда в поле кристаллической решетки;
  - г) является постоянным коэффициентом пропорциональности при описании движения носителя заряда в поле кристаллической решетки.
17. В сверхпроводящем состоянии равно нулю:
- а) сопротивление в проводнике;
  - б) проводимость в проводнике;
  - в) магнитное поле внутри проводника;
  - г) все вышеперечисленное.
18. При переходе из сверхпроводящего состояния в обычное свойства проводника меняются мгновенно:
- а) в сверхпроводниках 1 рода;
  - б) в сверхпроводниках 2 рода;
  - в) во всех сверхпроводниках;
  - г) ни в одном из перечисленных типов сверхпроводников.
19. Первый закон Фика формулируется следующим образом:
- а)  $J = -D(dc/dx)$ ;
  - б)  $J = D(dc/dx)$ ;
  - в)  $J = -D(dc/dt)$ ;
  - г)  $J = -D(dc/dt)$ .
20. Второй закон Фика формулируется следующим образом:
- а)  $dc/dt = D(d^2 c/dx^2)$ ;
  - б)  $dc/dt = -D(d^2 c/dx^2)$ ;
  - в)  $dc/dt = D(dc/dx)$ ;
  - г)  $dc/dt = -D(dc/dx)$ .
21. В соответствии с законом Дюлонга и Пти теплоемкость пропорциональна:
- а)  $3R$ ;
  - б)  $5R$ ;
  - в)  $2R$ ;
  - г)  $1R$ ;
  - д)  $4R$ .
22. На данной схеме позицией 3 отмечен:

### Вопросы к рейтинг-контролю №3



- а) усилитель;
- б) резонатор;
- в) магнит;
- г) генератор;
- д) детектор.

23. На рисунке изображена:



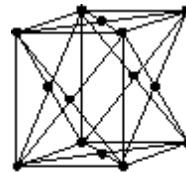
- а) *F*-решетка;
- б) *R*-решетка;
- в) *C*-решетка;
- г) *P*-решетка;
- д) *I*-решетка.

24. На рисунке изображен разрез структуры алмаза:



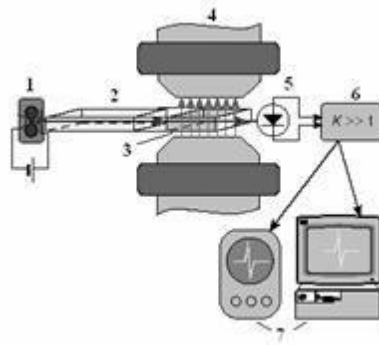
- а) нормально к сеткам (110);
- б) нормально к сеткам (111);
- в) нормально к сеткам (100).

25. На рисунке изображена:

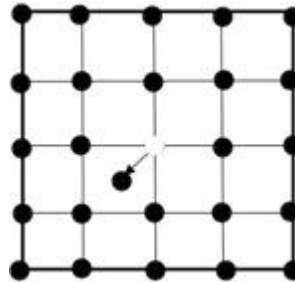


- а) *F*-решетка;
- б) *P*-решетка;
- в) *C*-решетка;
- г) *P*-решетка;
- д) *I*-решетка.

26. На данной схеме позицией 4 отмечен:



- а) усилитель;
  - б) резонатор;
  - в) магнит;
  - г) генератор;
  - д) детектор.
27. Ширина запрещенной зоны в кристалле с ростом энергии:
- а) зона исчезает;
  - б) уменьшается;
  - в) растет;
  - г) не изменяется.
28. На рисунке изображен дефект:



- а) по Шотки;
  - б) примеси;
  - в) по Френкелю.
29. Коэффициент теплопроводности в СИ имеет размерность:
- а) Дж/(мК);
  - б) Вт/(мК);
  - в) Вт/(кгК).
30. В уравнении колебания однородной струны частота колебаний зависит от волнового числа:
- а) линейно;
  - б) синусоидально;
  - в) экспоненциально;
  - г) не зависит.
31. Гиромагнитное отношение электрона оказалось в два раза больше рассчитанного из-за:
- а) ошибки в расчетах;
  - б) погрешности измерений;
  - в) существования спина;
  - г) существования магнитного момента электрона.

*Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (зачет с оценкой)*

### Вопросы к зачету с оценкой

1. Дискретная модель молекулы – поликуб (полимино в двумерном случае).
2. Аппроксимация молекул дискретными моделями.
3. Упаковочное пространство. Примеры упаковочных пространств.
4. Критерий трансляционной упаковки поликубов. Алгоритм перебора трансляционных упаковок.

5. Критерий периодической упаковки нескольких поликубов.
6. Кодировка разбиений пространства на поликубы.
7. Аксиомы модели послойного роста.
8. Алгоритм построения многогранника послойного роста периодических структур.
9. Спектры многогранников роста реальных кристаллических структур.
10. Фрактальный характер природных объектов.
11. Конструктивные фракталы.
12. Симметрия самоподобия фракталов.
13. Змея Госпера. Парадокс Госпера.
14. Фрактальная размерность.
15. Снежинка Коха. Разбиение плоскости на фракталы Коха.
16. Случайные фракталы. Алгебраические фракталы.
17. Фракталы Жюлиа и Мандельброта.
18. Золотое сечение. Одномерный квазикристалл Фибоначчи.
19. Квазикристалл Фибоначчи как модельное множество.
20. Квазипериодическое разбиение Розы – двумерный аналог квазикристалла Фибоначчи.
21. Параметризация двумерного квазипериодического разбиения Розы.
22. Послойный рост двумерного квазипериодического разбиения Розы.
23. Обобщенные разбиения Розы.
24. Разновидности мозаик Пенроуза.
25. Мозаики Пенроуза как модельные множества.
26. Послойный рост границ мозаики Пенроуза.

### **Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

Приводится характеристика всех видов и форм самостоятельной работы студентов, включая текущую и творческую/исследовательскую деятельность студентов:

**Текущая СРС**, направленная на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений включает:

- работу с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса,
- выполнение домашних заданий, контрольных работ,
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку,
- подготовку к практическим и семинарским занятиям;
- подготовка к контрольной работе, к зачету, экзамену.

**Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа (ТСР)**, ориентированная на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала студентов включает следующие виды работ по основным проблемам курса:

- поиск, анализ, структурирование и презентация информации,
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- анализ статистических и фактических материалов по заданной теме, проведение расчетов, составление схем и моделей на основе статистических материалов.

### **Содержание самостоятельной работы студентов по дисциплине**

#### **Темы домашних заданий:**

1. Упаковочные пространства на плоскости.
2. Критерий трансляционной упаковки полимино
3. Перебор всех возможных трансляционных упаковок заданного полимино с заданным коэффициентом упаковки.
4. Перебор всех возможных периодических упаковок двух полимино, связанных центром инверсии.
5. Составление кода периодического разбиения плоскости на полимино.
6. Восстановление разбиения плоскости на полимино по коду упаковки.

7. Послойный рост периодического разбиения плоскости на полимино. Формирование многоугольника послойного роста.
8. Построение многоугольника послойного роста методом «звезды».
9. Анализ спектра многогранников роста органического реального молекулярного кристалла.
10. Построение конструктивных фракталов. Расчет фрактальной размерности.
11. Анализ природных фрактальных объектов.
12. Исследование фракталов Жюлиа с помощью компьютерной программы.
13. Скорость послойного роста одномерного квазикристалла Фибоначчи.
14. Координационные числа квазипериодического разбиения Розы.
15. Многоугольник послойного роста двумерного квазипериодического разбиения Розы.
16. Построение мозаик Пенроуза с помощью специальной программы.

### Контроль самостоятельной работы

Оценка результатов самостоятельной работы организуется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателей. Оценка результатов самостоятельной работы организуется следующим образом:

- контрольные вопросы, задаваемые при выполнении и защитах лабораторных работ;
- контрольные вопросы, задаваемые при проведении практических занятий,
- вопросы для самоконтроля;
- вопросы тестирований;
- выполнение домашних работ;
- выполнение самостоятельных и контрольных работ
- вопросы, выносимые на экзамен.
- реферат с элементами проектирования;
- доклады на конференц-неделях.

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам следующих контролируемых мероприятий:

Контролирующие мероприятия	Результаты обучения по дисциплине
Самостоятельные работы на практических занятиях	Знание основных формул и определений
Контрольные работы на практических занятиях	Умение самостоятельно находить решение поставленной задачи
Участие студентов в научной дискуссии по подготовленным и представленным презентациям, рефератам во время проведения конференц-недели	Овладение опытом анализа информационных источников; выступлений с докладами и участия в дискуссиях; разделения научного и ненаучного знания;
Выполнение и защита индивидуальных заданий	Знание основных формул и определений. Умение самостоятельно находить решение поставленной задачи
Тестирование	Знание основных формул и определений. Умение самостоятельно находить решение поставленной задачи

Контроль со стороны преподавателя и самоконтроль осуществляется в соответствии с рейтингом дисциплины, во время практических и лабораторных занятий,

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
Основная литература			
1. Кристаллизация энергосыщенных соединений из растворов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Ахмедшина, В.Я. Базотов. - Казань : Издательство КНИТУ. - 124 с. - ISBN 978-5-7882-1249-4.	2012		prbookshop.ru/47656
2. Удивительные наноструктуры [Электронный ресурс] / К. Деффейс, С. Деффейс. - М. : БИНОМ. – 209 с. 3. ISBN 978-5-9963-2501-6	2015		iprbookshop.ru/33636
4. Шеремет Г.Г. Геометрические преобразования и фрактальная геометрия [Электронный ресурс]: учебник/ Шеремет Г.Г.— Электрон. текстовые данные.— Пермь: Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет.— 188 с.	2013		iprbookshop.ru/37071
Дополнительная литература			
1. Малеев, Андрей Владимирович. Модель послойного роста разбиений, упаковок и графов : монография / А. В. Малеев, А. В. Шутов ; ВлГУ.— ВлГУ.— 107 с. : ил., табл. — Библиогр.: с. 100-107.— ISBN 978-5-8311-0546-9.	2011	5	
2. Рентгеноструктурный анализ веществ [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторной работе/ И.А. Коваленко [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ.— 24 с.	2010		<a href="http://www.iprbookshop.ru/22926">http://www.iprbookshop.ru/22926</a>
3. "Кристаллография, минералогия и геология камнесамоцветного сырья [Электронный ресурс] : Учебное пособие для вузов / Ермолов В.А., Дунаев В.А., Мосейкин В.В.; Под ред. В.А. Ермолова. - М: Издательство Московского государственного горного университета, 2009. - SBN 978-5-98672-151-4	2009		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785986721514.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785986721514.html</a>

### **7.2. Периодические издания**

«Земля и вселенная». М.: Наука;  
«Природа» М.: Изд. РАН;  
«Физика в школе» М.: Школьная пресса;  
«Успехи физических наук» М.: Изд. РАН;  
«Физика» М.: Первое сентября.

### **7.3. Интернет-ресурсы**

CourseLab 2.7;

1. Программа перебора вариантов периодических упаковок полимино в плоскости. Автор: Малеев А.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619301 (дата гос. регистрации 01.10.2013).
2. Программа перебора вариантов периодических упаковок полигексов в плоскости. Автор: Малеев А.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014661669 (дата гос. регистрации 11.11.2014).
3. Программа построения и исследования обобщенных фракталов Розы. Авторы: Малеев А.В., Шутов А.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015662240 (дата гос. регистрации 19.11.2015).
4. Программный комплекс для исследования координационных окружений в модели послонного роста графов связности. Авторы: Малеев А.В., Журавлев В.Г., Шутов А.В., Рау В.Г. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619399 (дата гос. регистрации 03.10.2013).
5. Программный комплекс для построения и исследования мозаик Пенроуза. Авторы: Малеев А.В., Петросян Ж.Д., Шутов А.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014618215 (дата гос. регистрации 13.08.2014).

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий *лекционного типа, занятий практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.*

Практические работы проводятся в Аудит. 121-7.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: Лицензии на Microsoft Windows/Office: Microsoft Open License 49487346

Рабочую программу составил \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ зав. кафедрой А.В. Малеев

Рецензент \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ директор МАО СОШ №2 А.В. Беянина

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры общей и теоретической физики  
Протокол № 10 от 25.06.18 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ А.В. Малеев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии на-  
правления 44.03.05 – Педагогическое образование

Протокол № 1 от 28.08.18 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ М.В. Артамонова



**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Рабочая программа одобрена на 2019/20 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.19 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  А.В. Малеев

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

