

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДЕНО:

на заседании кафедры  
протокол № 7 от «5» июня 2018 г.

Зав. кафедрой



/ Мулюков Р.Р.

СОГЛАСОВАНО:

Согласовано:  
Председатель УМК факультета /института



/ Балапанов М.Х.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

дисциплина **«Физика реальных кристаллов»**

*(наименование дисциплины)*

Дисциплина по выбору

*(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))*

**программа бакалавриата**

Направление подготовки (специальность)

**28.03.03 Наноматериалы**

*(указывается код и наименование направления подготовки (специальности))*

Направленность (профиль) подготовки

**"Объемные наноструктурные материалы"**

*(указывается наименование направленности (профиля) подготовки)*

Квалификация

**Бакалавр**

*(указывается квалификация)*

Разработчик (составитель)

проф., д.ф.-м.н.

*(должность, ученая степень, ученое звание)*



/ Имаев М.Ф.

*(подпись, Фамилия И.О.)*

Для приема: 2018 г.

Уфа 2018 г.

Составитель / составители: профессор, д.ф.-м.н., Имаев М.Ф.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры физики и технологии наноматериалов протокол № 7 от «5» июня 2018 года.

Заведующий кафедрой

—  / Мулюков Р.Р./

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.
2. Указание места дисциплины в структуре образовательной программы.
3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся.
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и видов учебных занятий.
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.
6. Фонд оценочных средств для текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины.
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости).
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

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

Изучение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- способности применять базовые знания математических и естественнонаучных дисциплин, дисциплин общепрофессионального цикла в объеме, необходимом в профессиональной деятельности, основных законов соответствующих наук, разработанных в них подходов, методов и результатов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОПК-1);

- способность использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности в области материаловедения и технологии наноматериалов и наносистем (ПК-1)

Табл. 1

Результаты обучения		Формируемая компетенция (код)	Примечание
Знания	1. Знать основы теории несовершенств металлических кристаллов; свойства дефектов кристаллической решетки их взаимодействием друг с другом;	ОПК-1	
	2. Знать дислокационную теорию для объяснения процессов, происходящих при пластической деформации, фазовых превращениях и разрушении материалов	ОПК-1	
	3. Знать основы теории диффузии в металлах, механизмы массопереноса в металлах	ОПК-1,	
Умения	1. Уметь пользоваться литературой по методам исследований дефектов кристаллического строения, диффузионных процессов в металлах и сплавах	ОПК-1, ПК-1	
	2. Понимать связь дефектов структуры и физико-механических свойств кристаллических материалов	ОПК-1	
Владения (навыки / опыт деятельности)	1. Владеть навыками проведения исследований дефектной структуры металлов и сплавов.	ОПК-1, ПК-1	

ости)	2. Владеть навыками использования базовых теоретических знания по теории дефектов и диффузионного массопереноса для решения профессиональных задач	ОПК-1, ПК-1	
-------	--	-------------	--

## 2. Указание места дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физика реальных кристаллов» является дисциплиной по выбору вариативной части ООП ВО по направлению подготовки 28.28.02

«Наноматериалы», профиль «Конструкционные и функциональные наноматериалы».

Знания и умения, полученные в результате освоения курса «Физика реальных кристаллов» позволяют проводить исследования структуры и свойств металлов и сплавов, в том числе наноструктурных. Дисциплина «Физика реальных кристаллов» - одна из дисциплин профиля, непосредственно формирующих умения проводить самостоятельные научные исследования.

Для освоения данной дисциплины студенту необходимы знания разделов общей физики (молекулярная физика и термодинамика, атомная физика), а также кристаллографии и физики твердого тела.

## 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Согласно ООП подготовки бакалавра по направлению 03.03.02 «Физика», профилю «Физика конденсированного состояния вещества» и рабочему учебному плану (РУП) по дисциплине «Физика реальных кристаллов» отводится:

общий объем часов по дисциплине - 144 (всего 4 ЗЕТ); в том числе аудиторных часов -48;

контактных часов - 50.

Разбиение общего числа часов по видам учебных занятий с указанием их объемов приведено в таблице 2

Табл. 2

Виды учебной работы	Количество часов по семестрам	
	Общий объем по РУП 144	№ семестра 7
Аудиторные занятия	48	48

Лекции	16	16
Лабораторные занятия	-	-
Практические занятия	32	32
Самостоятельная работа студентов	96	96
Виды контроля	зачет	зачет

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

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Физика реальных кристаллов» на 7 семестр

Рабочую программу составил и преподавание осуществля- ет:

профессор кафедры физики и технологии наноматериалов, д.т.н.  
Имаев Р.М. (лекции и практические занятия)

Зачетных единиц трудоемкости (ЗЕТ) - 4 Учебных часов:

лекций - 16

практических занятий - 32 лабораторных работ - 0 самостоятельная работа студентов - 96 КСР - 32

В том числе контактных часов - 50

Таблица 3

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов (лекции, практические занятия, семинарские за-	Кол-во часов аудитор-	Основная и дополнительная литература, рекоменду-	Задания по самостоятельной работе студентов с указанием литературы, номеров за-	Количество часов само-	Форма контроля самостоятельной работы студентов (коллоквиумы, контрольные
-------	-------------------	--	-----------------------	--	---	------------------------	---

		нения, лаборатор-	ной	емая студен-	дач	стоят.	работы, компью-
--	--	-------------------	-----	--------------	-----	--------	-----------------



		ные работы, самостоятельная работа)	ра- боты	там		ра- боты	терные тесты и т.п.)
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Модуль 1. Точечные дефекты</b>							
1	Введение. Место раздела в системе материаловедческих дисциплин. Кристаллическая решетка металлов. Плотнейшие шаровые упаковки. Индексы направлений и плоскостей в кристаллической решетке. Роль дефектов кристаллической решетки в формировании свойств материалов. Геометрическая классификация дефектов кристаллического строения. Предпосылки появления теории дефектов.	Лекция  Практ. занятие	1  4	[1], с. 98-108, 127, 151  [4]	[4], Задачи 3 и 4	2	Выборочный опрос Проверка домашнего задания

2	Точечные дефекты. Виды точечных дефектов. Термодинамика точечных дефектов. Миграция точечных дефектов. Источники	Лекция Практ. занятие	1 4	[1], с. 127-147 [4]	[2], с. 69-114 [4], Задачи 8 и 9	10	Тестовый опрос Проверка домашнего задания
---	--	--------------------------	--------	------------------------	-------------------------------------	----	--

	и стоки точечных дефектов. Поведение вакансий при отжиге и закалке. Методы определения концентраций вакансий, энергии их образования и миграции.						
<b>Модуль 2. Дислокации в типичных металлических структурах и их свойства</b>							
3	Основные типы дислокаций и их движение. Краевая дислокация, ее скольжение и перемещение. Винтовая дислокация и ее скольжение. Смешанные дислокации. Призматические дислокации. Вектор Бюргера. Плотность дислокаций. Методы выявления дислокаций в металлах	Лекция  Практ. занятие	1  4	[1], с. 148-183  [4]	[2], с. 118-123  [4], Задачи 10-12	4	Выборочный опрос Проверка домашнего задания

4	Упругие свойства дислокаций. Энергия дислокации. Сила, действующая на дислокацию. Упругое взаимодействие параллельных краевых дислокаций. Упругое взаи-	Лекция  Практ. занятие	1  2	[1], с. 183-193  [4]	[2], с. 124-140, 217-232  [4], Задачи 16 и 17	4	Выборочный опрос Проверка домашнего задания
---	---	------------------------------	------------	----------------------------	---	---	--

	модействие параллельных винтовых дислокаций						
5	<p>Дислокации в типичных металлических структурах. Полные и частичные дислокации. Критерий Франка. Дефекты упаковки. Частичные дислокации Шокли и Франка. Стандартный тетраэдр Томпсона и дислокационные реакции в ГЦК решетке. Вершинные дислокации и дислокации Ломер-Коттрелла. Стадартная бипирамида и дислокационные реакции в ОЦК решетке. Дислокационные реакции в ОЦК решетке. Поперечное скольжение и переползание растянутых дислокаций. Двойни-кующая дислокация</p>	<p>Лекция</p> <p>Практ. занятие</p>	<p>2</p> <p>8</p>	<p>[1], с. 193-245</p> <p>[4]</p>	<p>[2], с. 140-142, 188-214</p> <p>[4], Задачи 18, 19, 20-22</p>	<p>12</p>	<p>Тестовый опрос</p> <p>Проверка домашнего задания</p>
<p><b>Модуль 3. Образование дислокаций, взаимодействие их друг с другом и другими дефектами кристаллической решетки</b></p>							

6	Пересечение дислокаций. Пересечение единич-	Лекция	1	[1], с. 247-257	[2], с. 142-156	4	Выборочный опрос
---	---	--------	---	-----------------	-----------------	---	------------------

	ных дислокаций. Пересечение дислокаций с порогами. Пересечение растянутых дислокаций						
7	Взаимодействие дислокаций с примесными атомами. Атмосферы Коттрелла, Снука и Сузуки. Геликоидальные дислокации	Лекция Практ. занятие	1 2	[1], с. 257-264 [4]	[2], с. 156-168 [4], Задачи 23-25	6	Выборочный опрос Проверка домашнего задания
8	Образование дислокаций. Источники Франка-Рида и Бардина Херринга	Лекция Практ. занятие	1 2	[1], с. 264-273 [4]	[2], с. 147-148 [4], Задачи 26-29	6	Выборочный опрос Проверка домашнего задания,
9	Границы зерен и субзерен. Малоугловые, высокоугловые, специальные и произвольные границы зерен. Зернограничные дислокации	Лекция Практ. занятие	2 2	[1], с. 279-293 [4]	[2], с. 258-359 [4], Задачи 30-33	12	Выборочный опрос Проверка домашнего задания

10	Торможение дислокаций. Сила Пайерлса. Торможение дислокаций при их взаимодействии с другими дислокациями, границами зерен, дисперсными частицами, атомами примесей и легирующих	Лекция	1	[1], с. 293-302		4	Тестовый опрос
----	---	--------	---	-----------------	--	---	----------------



	элементов						
<b>Модуль 4. Диффузия в металлах</b>							
11	<p>Описание диффузионного опыта. Диффузионный поток. Первое уравнение диффузии. Различные типы диффузионных коэффициентов. Диффузия при наличии внешних движущих сил. Закон сохранения вещества при диффузии. Второе уравнение диффузии. Решения второго уравнения диффузии. Экспериментальные методы определения коэффициентов диффузии.</p>	<p>Лекция Практ. занятия</p>	<p>2 4</p>	<p>[3], с. 7-38 [5]</p>	<p>[3], с. 7-38 [5], Задачи 1-8</p>	<p>16</p>	<p>Выборочный опрос Проверка домашнего задания</p>

12	Атомная теория диффузии. Диффузия и случайные блуждания. Зависимость коэффициента диффузии от температуры. Механизмы диффузии в металлах. Связь между коэффициентом самодиффузии и характеристиками вакансий. Равновесная концентрация ва-	Лекция Практ. занятия	2 4	[3], с. 47-125 [5]	[3], с. 47-125 [5], Задачи 9-19	16	Проверка домашнего задания Тестовый опрос
----	--	--------------------------	--------	-----------------------	------------------------------------	----	--

	<p>кансий. Источники и стоки вакансий. Частота скачков вакансий. Эффект Киркендалла. Эффекты корреляции. Особенности диффузии в твердых растворах замещения. Диффузия в твердых растворах внедрения.</p>						
		<p>Лекции Практ. занятия ИТОГО</p>	<p>16 32 48</p>			<p>96</p>	<p>Зачет</p>

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

При изучении дисциплины «Физика реальных кристаллов» предусмотрены следующие виды самостоятельной работы.

Самостоятельная работа с литературой. Темы для самостоятельного изучения приведены в рабочей программе по каждому модулю с указанием параграфов основной литературы, в достаточном количестве содержащейся в библиотеке.

Самостоятельная работа по решению задач домашнего задания, которые приводятся в методических указаниях к практическим занятиям и учебном пособии. Студенты должны быть готовы к показу задачи в аудитории при разборе и анализе домашних задач.

Контроль данной работы проходит в начале каждого лекционного и практического занятия в течение 10-15 минут путем выборочного опроса и проверки домашнего задания.

На практических занятиях будут решаться типовые задачи по изучаемым темам.

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

### *Формы и критерии контроля знаний*

Контроль освоения знаний по дисциплине осуществляется путем текущего, рубежного контроля и промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине).

Текущий, рубежный и итоговый контроль проводится по модульно-рейтинговой системе согласно Положению о модульно-рейтинговой системе обучения и оценки успеваемости студентов.

Текущий контроль - это контроль над всеми видами аудиторной и внеаудиторной работы студентов по данной дисциплине, результаты которой оцениваются до рубежного контроля.

Текущий контроль по теоретическому материалу части модуля (лекционному и материалу самостоятельного изучения) проводится в форме выборочного опроса, требующего краткого ответа. Это основные определения, понятия, методы, вопросы на понимание физической основы и математической сути метода и изучаемых им явлений. Каждый вопрос оценивает как часть от максимального балла, назначенного на данный текущий контроль. В зависимости от объема модуля проводится 2-4 текущих контроля. Список вопросов к каждому текущему контролю выдается студентам заранее.

Текущий контроль по практическим занятиям проводится в виде отметки о выполнении домашней работы по решению задач (1 балл). Текущий контроль проводится также на практических занятиях.

Рубежный контроль – проверка полноты знаний и умений по материалу модуля в целом.

Рубежный контроль проводится в форме тестового опроса или в виде письменного блиц - опроса по 10 вопросам, требующим краткого ответа. Каждый вопрос оценивает как часть от максимального балла, назначенного на рубежный контроль. Вопросы охватывают материал целого модуля и также включают темы лекционных занятий и самостоятельной работы.

По результатам суммарного текущего контроля по всем видам учебной деятельности и рубежного контроля выставляется рейтинговый балл, который учитывается при промежуточной аттестации.

Итоговый контроль – форма контроля, проводимая по завершении изучения дисциплины в семестре.

Итоговый контроль проводится в форме зачета по теоретическому материалу.

### *Критерии оценки итогового контроля*

При приеме зачета используются следующие критерии.

#### **(30 баллов)**

Ответ на вопрос должен показать глубокие, прочные знания студента. Ответ должен быть логичным и доказательным. Студенту необходимо знать основные понятия, термины, развернутые определения, использовать современные данные науки. Студент должен устанавливать причинно-следственные связи, применять знания в новой ситуации. Студент должен продемонстрировать умение делать аргументированные выводы.

#### **(20 баллов)**

Ответ студента должен показать глубокие, прочные знания. Ответ должен быть логичным и доказательным. Студенту необходимо знать основные понятия, термины, развернутые определения, использовать данные современной науки. Студенту необходимо устанавливать причинно-следственные связи, излагать материал с учетом принципов объективности и научности. В ответе допускаются отдельные несущественные неточности.

#### **(10 баллов)**

Ответ на вопросы должен показать знания поставленных вопросов. Необходимо знать основные понятия, термины, развернутые определения, фактический материал, использовать данные современной науки. В ответе могут допускаться существенные ошибки и неточности.

#### **(0 баллов)**

Ответ на поставленные вопросы показывает незнание его содержания, основных понятий, терминов. Студент не умеет устанавливать причинно-следственные связи, излагать материал с учетом принципов научности и объективности, анализировать указанные источники. Ответ студента не соответствует вопросу, а так же при отсутствии ответа и при отказе от ответа.

При изучении дисциплины «Физика реальных кристаллов» текущий контроль осуществляется в виде выборочного опроса (8 баллов за семестр) проверки домашнего задания по решению задач (20 баллов за семестр).

Рубежный контроль проводится в форме письменного опроса (4 опроса по 10 баллов, всего за семестр 40 баллов). По учебному плану итоговый контроль проводится в форме зачета (30 баллов).

Преподаватель может поощрить студентов за участие в научных конференциях, конкурсах, олимпиадах, за активную работу на аудиторных занятиях, за публикации статей, за работу со школьниками, выполнение заданий повышенной сложности в виде поощрительных баллов (до 10 баллов за семестр).

Перевод оценки из 100-балльной в четырехбалльную производится следующим образом:

- отлично - от 80 до 108 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- хорошо - от 60 до 79 баллов;
- удовлетворительно - от 45 до 59 баллов;
- неудовлетворительно - менее 45 баллов.

### *Вопросы к текущему и рубежному контролю по теоретическому материалу*

- Что такое решетка Бравэ?
- Что такое кристаллические системы?
- Что такое элементарная ячейка и каковы правила ее выбора?
- Сколько атомов в элементарной ячейке ГП решетки?
- Что такое плотнейшие шаровые упаковки и чем они характеризуются?
- Что такое тетра- и октапоры в плотнейших шаровых упаковках?
- Где располагаются межузельные атомы и примесные атомы внедрения в ГЦК, ГП и ОЦК решетках?
- Что такое краудион?
- Почему кристалл в равновесном состоянии должен содержать определенное количество собственных точечных дефектов?
- Почему внедренные атомы примесей могут диффундировать по междузлиям быстрее, чем атомы основного металла с помощью вакансионного механизма?
- Назовите методы определения концентрации вакансий и коротко охарактеризуйте эти методы.
- Что такое переползание дислокаций?
- Что такое поперечное скольжение?
- От чего зависит энергия дислокации?
- Почему дислокации являются термодинамически неравновесными дефектами?
- Что такое критерий Франка и на чем он основывается?
- Что такое дефект упаковки?
- Почему энергия ДУ более высокая у металлов с ОЦК решеткой по сравнению с металлами, имеющие ГЦК и ГП решетки?

- ▮ Что такое частичная дислокация Шокли?
- ▮ Что такое растянутая дислокация?
- ▮ От чего зависит ширина растянутых дислокаций?
- ▮ Что такое частичная дислокация Франка? Может ли она скользить? Чем петля Франка отличается от призматической дислокационной петли?
- ▮ Что такое стандартный тетраэдр Томпсона?
- ▮ Может ли сидячая петля Франка превратиться в призматическую дислокационную петлю? Если может, то как?
- ▮ Что такое дислокация Ломер-Коттрелла?
- ▮ Как осуществляется поперечное скольжение и переползание растянутых дислокаций?
- ▮ Что такое двойникоующая дислокация?
- ▮ Каким образом скольжение двойникоующей дислокации может обеспечивать образование N-слойной двойниковой области?
- ▮ Почему расщепление винтовой дислокации в ОЦК решетки может привести к тому, что она из скользящей превращается в сидячую?
- ▮ Как происходит движение дислокаций с порогами?
- ▮ Что такое дислокационный диполь?
- ▮ Что такое атмосфера Коттрелла? Какую атмосферу Коттрелла называют конденсированной?
- ▮ Что такое атмосфера Сузуки?
- ▮ Что такое геликоидальная дислокация?
- ▮ Какие дислокации называют эпитаксиальными?
- ▮ Каковы механизмы размножения дислокаций?
- ▮ Как работают источники Франка-Рида, Бардина-Херринга?
- ▮ Как характеризуют взаимную ориентацию соседних зерен?
- ▮ Какие границы относят к мало- и большеугловым и чем они отличаются?
- ▮ Что такое специальные и произвольные границы зерен? Что общего между ними и чем они отличаются от друг друга?
- ▮ Что такое решетка совпадающих узлов и как она характеризуется?
- ▮ Что такое сегмент повторяемости?
- ▮ Какие бывают зернограничные дислокации?
- ▮ Чем отличаются собственные ЗГД от внесенных?
- ▮ Как решеточные дислокации взаимодействуют с границами зерен?
- ▮ Что такое напряжение Пайерлса?
- ▮ Какие факторы могут вызывать торможение дислокаций?
- ▮ Как взаимодействуют дислокации с дисперсными включениями?
- ▮ Чем отличается диффузия в газах от диффузии в твердых телах?
- ▮ Почему происходит перемешивание атомов разных сортов?

- ▮ Что такое коэффициент взаимной диффузии?
- ▮ Что такое собственный коэффициент диффузии?
- ▮ Какие существуют экспериментальные методы определения коэффициентов диффузии?
- ▮ В чем суть метода Матано?
- ▮ Почему столь незначительна глубина проникновения диффундирующего вещества даже при длительном диффузионном отжиге?
- ▮ Как зависит коэффициент диффузии от температуры?
- ▮ Какие основные механизмы диффузии в металлах?
- ▮ Что такое энергия активации диффузии?
- ▮ В чем суть эффекта Киркендалла?
- ▮ Что такое эффекты корреляции?
- ▮ Чем определяется движущая сила, вызывающая диффузионный перенос вещества?
- ▮ Что такое восходящая диффузия?

#### *Типовые задачи, предлагаемые на практических занятиях*

Задача 1. Металл содержит 0,1% (ат.%) равномерно распределенной примеси замещения. Определите среднее расстояние между примесными атомами в единицах периода ГЦК и ОЦК решетки.

Задача 2. В поликристалле зерно размером  $d=10$  мкм содержит избыток вакансий  $C_v=10^{-3}$ . Оценить перемещение  $\Delta x$  границ, если все вакансии стекут на границы. Решетка - ГЦК. Считать зерно шаром.

Задача 3. В медной фольге после ядерного облучения появились

дислокационные петли, число которых составило  $10^{15} \text{ см}^{-3}$ , а средний диаметр равен 40 нм. Оцените концентрацию возникающих при облучении меди точечных дефектов, конденсация которых привела к образованию дислокационных петель.

Задача 4. Калориметрическим методом установлено, что запасенная в результате пластической деформации энергия в алюминиевом образце составляет 0,63 Дж/г. Оцените плотность дислокаций в этом образце.

Задача 5. Оцените (в километрах) суммарную длину всех дислокаций в  $1 \text{ см}^3$  отожженного металла с плотностью дислокаций  $10^8 \text{ см}^{-2}$ .

Задача 6. Оцените минимальное число дислокаций, пробег которых через кристалл никеля приводит к образованию ступеньки на поверхности кристалла, различимой в световом микроскопе. Двугранный угол между плоскостью скольжения и поверхностью кристалла составляет  $60^\circ$ , а разрешающая способность микроскопа равна 300 нм. Период решетки никеля  $a=0,352$  нм.

Задача 7. Какие три реакции расщепления единичных дислокаций на дислокации Шокли возможны в плоскости АСД (111) ГЦК решетки?

Задача 8. Напишите в символах Томпсона возможные реакции расщепления дислокации с вектором Бюргерса  $DB$  на частичные дислокации Шокли и докажите, что эти реакции энергетически выгодны.



Задача 9. Напишите в символах Томпсона возможные реакции объединения дислокации Франка, находящейся в плоскости (111), с дислокациями Шокли и докажите, что эти реакции энергетически выгодны.

Задача 10. В ГП решетке ( $c/a=1,633$ ) дислокацию  $1/3\langle 1210 \rangle$  пересекает дислокация  $1/3\langle 1213 \rangle$ . Чему равна длина порога, образующегося на дислокации  $1/3\langle 1210 \rangle$ ?

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### **Основная**

1. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. - М.: Металлургия, 1990. 335 с.
2. Штремель М.А. Прочность сплавов. - М: МИСИС, 1999, 383 с.
3. Бокштейн Б. С. Диффузия в металлах - М.: Металлургия, 1998, 248 с.
4. Имаев Р.М. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «физика в реальных кристаллах» для студентов, обучающихся по направлению «Наноматериалы».
5. Имаев Р.М. Диффузия в металлах, Учебное пособие.

### **Дополнительная**

1. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. - М.: Атомиздат, 1972, 600 с. 584 с.
2. Физическое материаловедение. – Под редакцией Р. Канна, Вып. II, Пер. с англ., - М.: Мир, 1996, 195 с.

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

Нет

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

Основные темы дисциплины «Физика реальных кристаллов» приведены в таблицах 2 и 3 рабочего плана, где можно ознакомиться с расшифровкой каждой темы и основными понятиями, которые необходимо освоить по каждому модулю. В этих же таблицах подробно прописана тематика самостоятельной работы с указанием литературных источников. По каждой теме самостоятельной работы в рабочей программе указаны соответствующие параграфы основной литературы, которая есть в достаточном количестве в библиотеке.

Самостоятельную работу нужно выполнять систематически для последовательного понимания материала и готовности к промежуточным и рубежным контролям. При возникновении вопросов необходимо обращаться к лек-

тору в отведенное время за консультацией. Возможна консультация с использованием электронной почты или социальной сети.

Обязательное условие успешного освоения лекционного материала – внимательно слушать объяснения преподавателя, вести краткий конспект, задавать вопросы лектору, если возникает непонимание материала. Очень полезно обратиться к литературе, которую рекомендовал преподаватель по каждой лекции, и уяснить непонятные моменты. Если по какой-либо причине лекционное занятие было пропущено, материал необходимо проработать по рекомендуемой литературе, в противном случае следующая тема будет непонятна.

Необходимо добиваться полного понимания решаемых задач на практических занятиях, поскольку это будет способствовать глубокому пониманию теоретического материала.

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

Во время лекционных занятий используется ноутбук и проектор для показа презентаций, выполненных в Poer Point Presentation или Open Office Impress.

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

Для проведения лекционных и практических занятий используется аудиторный фонд физико-технического института.

