

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О.Н. Здрок

«30» июня 2020 г.

Регистрационный № УД- 9617/уч.



КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ДЕФЕКТЫ В КРИСТАЛЛАХ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности**

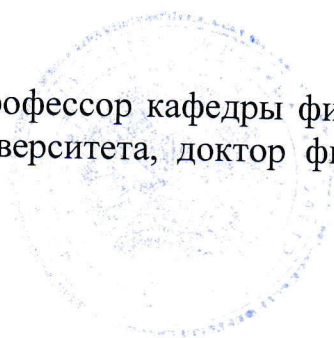
1-31 04 06 Ядерные физика и технологии

Минск 2020

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 06-2013 и учебного плана № G-31-142/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

В. М. Анищик — профессор кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.



РЕЦЕНЗЕНТ:

Ф.Ф. Комаров — заведующий лабораторией элионики Научно-исследовательского учреждения «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета, член-корреспондент НАНБ, доктор физико-математических наук, профессор

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики твердого тела физического факультета
Белорусского государственного университета
(протокол № 14 от 15.06.2020 г.);

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 5 от 17.06.2020 г.)

Заведующий кафедрой

В.В. Углов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Кристаллография и дефекты в кристаллах» разработана для специальности 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии.

Цель и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – ознакомление студентов с основами кристаллографии и теории дефектов в кристаллах с последующим их применением к изучению физических и технологических характеристик материалов.

В учебном курсе рассматриваются основные понятия кристаллографии, которые широко используются в физике твердого тела и материаловедении. Кристаллы широко используются в промышленности. Кристаллографические методы применяются при расшифровке строения белков, витаминов, сложных медицинских препаратов, вирусов и т.д. Овладение основами кристаллографии необходимо для физиков практически любой специализации, работающих в науке или промышленности. В свою очередь дефекты решетки, неизбежно присутствующие в кристалле, определяют практически все физические и технологические свойства материалов. Без достаточно глубокого понимания дефектов структуры невозможно полноценно использовать свойства материалов. Изучение дефектов кристаллической решетки необходимо для тех, кто изучает, разрабатывает и использует материалы в самых разнообразных отраслях техники – в металлостроении, физике и технике полупроводников, ядерной технике, космическом материаловедении и т.д.

Задачей учебной дисциплины является дать студентам представления и понятия о симметрии кристаллов, структуре реальных кристаллов, типах дефектов кристаллической решетки материалов, их взаимодействии и влиянии на свойства материалов.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием

Учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализаций компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами: дисциплина основана на знаниях и представлениях, заложенных в курсах «Аналитическая геометрия и высшая алгебра», «Основы векторного и тензорного анализа», «Молекулярная физика», она является базовой для последующего курса «Радиационные эффекты в твердых телах».

В результате изучения дисциплины студенты должны:

знать:

- предмет и задачи кристаллографии;
- принципы построения стереографических и гномостереографических проекций кристаллов;
- знать элементы симметрии кристаллических структур;
- понятия классов симметрии, точечных и пространственных групп симметрии;

- основные понятия кристаллохимии и кристаллофизики;
- основные представления теории дефектов кристаллической решетки;

уметь:

- решать кристаллографические задачи с использованием кристаллографических проекций;
- анализировать симметрию кристаллов и симметрию их физических свойств;
- применять данные о реальной структуре кристаллов при разработке (выборе) материалов с заданными свойствами;

владеть:

- символика Бравэ, Шенфлиса и международной символикой Германа-Могена;
- методами изучения кристаллов с помощью современных кристаллографических программ;
- принципами исследования структуры реальных кристаллов.

Требования к компетенциям

Программа учебной дисциплины составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 06-2013 *специальности 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии*, введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 №88.

Освоение учебной дисциплины «Кристаллография и дефекты в кристаллах» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций.

Академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-технические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой компьютером.

АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

Социально-личностные компетенции:

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

Профессиональные компетенции:

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ ядерной физики и ядерных технологий, ядерно-физических методов исследования, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической,

опытно-конструкторской работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики.

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-12. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиями, проектам и решениям.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 5-ом семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины «Кристаллография и дефекты в кристаллах» отведено 82 часа, в том числе 54 аудиторных часа, из них: лекции – 46 часов, управляемая самостоятельная работа – 8 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

Форма итоговой аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение. Предмет кристаллографии.

Связь кристаллографии с другими науками. Эмпирические законы кристаллографии.

Тема 2. Симметрия кристаллических многогранников.

2.1. Элементы симметрии конечных фигур. Теоремы о взаимодействии элементов симметрии. Единичные и симметрично-равные направления. Вывод 32 видов симметрии. Сингонии, категории сингоний.

2.2. Кристаллографические проекции. Стереографические проекции элементов симметрии кристаллических многогранников.

2.3. Простые формы. Вывод простых форм с помощью стереографических проекций.

Тема 3. Симметрия кристаллов.

3.1. Установка кристаллов. Кристаллографические символы.

3.2. Решетки Бравэ. Элементы симметрии бесконечных фигур. Пространственные группы симметрии. Понятие обратной решетки.

Тема 4. Элементы кристаллохимии. Симметрия физических свойств кристаллов.

Атомные и ионные радиусы. Координационное число. Основные структурные типы. Общий принцип симметрии в кристаллофизике (принцип симметрии Кюри). Принцип Неймана.

Тема 5. Структура реальных кристаллов

Типы и классификация дефектов в металлах. Дефекты по Шоттки и Френкелю в ионных кристаллах и металлах.

Тема 6. Точечные дефекты в кристаллах (ТД).

6.1. Термодинамика ТД. Равновесная концентрация ТД и их комплексов. Энергия образования ТД. Подвижность ТД, энергия миграции ТД.

6.2. Неравновесные ТД. Образование ТД при закалке, пластической деформации, облучении частицами высоких энергий, отклонении от стехиометрического состава.

6.3. Отжиг ТД. Методы анализа кривых отжига ТД. Влияние ТД на физические свойства кристаллов. Определение энергии образования ТД.

Тема 7. Дислокации в кристаллах.

7.1. Типы дислокаций. Контур и вектор Бюргерса. Движение дислокаций (скольжение, переползание).

7.2. Упругие свойства дислокаций. Поле напряжений вокруг дислокаций. Энергия дислокаций. Сила, действующая на дислокацию. Взаимодействие параллельных дислокаций.

7.3. Дефекты упаковки. Частичные дислокации Шокли, Франка. Дисклинации. Геометрия дисклинаций. Упругие поля и энергия петель дисклинаций.

7.4. Размножение дислокаций при пластической деформации. Источник Франка-Рида. Три стадии деформационного упрочнения кристаллов. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами. Образование атмосфер Коттрелла, Сузуки, Снука.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение. Предмет кристаллографии.	2						Устный опрос, дискуссия
2	Симметрия кристаллических многогранников.	8						
	2.1. Элементы симметрии конечных фигур. Теоремы о взаимодействии элементов симметрии. Единичные и симметрично-равные направления. Вывод 32 видов симметрии. Сингонии, категории сингоний.	4						Устный опрос, дискуссия
	2.2. Кристаллографические проекции. Стереографические проекции элементов симметрии кристаллических многогранников.	2						Устный опрос, дискуссия
	2.3. Простые формы. Вывод простых форм с помощью стереографических проекций.	2						Устный опрос, дискуссия
3	Симметрия кристаллов.	4						
	3.1. Установка кристаллов. Кристаллографические символы.	2						Устный опрос, дискуссия
	3.2. Решетки Бравэ. Элементы симметрии бесконечных фигур. Пространственные группы симметрии. Понятие обратной решетки.	2						Устный опрос, дискуссия

	7.4. Размножение дислокаций при пластической деформации. Источник Франка-Рида. Три стадии деформационного упрочнения кристаллов Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами. Образование атмосфер Коттрелла, Сузуки, Снука.	4					4	Устный опрос, дискуссия, контрольная работа по теме 7, итоговая контрольная работа по темам 1-7
	ИТОГО	46					8	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Г.М. Попов, И.И. Шафрановский. Кристаллография. – М.: Высшая школа, 1972. - 352 с.
2. М.П. Шаскольская. Кристаллография. – М.: Высшая.школа, 1984. -376 с.
3. А.А. Келли, Г. Гровс. Кристаллография и дефекты в кристаллах. - М.: Мир, 1974. -496 с.
4. А.А. Дамаск, Дж. Динс. Точечные дефекты в металлах. - М.: Мир, 1966. – 291 с.
5. Р. Хоникомб. Пластическая деформация металлов. - М.: Мир.1972. -408 с.
6. И.И. Новиков. Дефекты кристаллического строения металлов. - М.: Металлургия, 1983. -232 с.
7. А.А. Келли, Г. Гровс. Кристаллография и дефекты в кристаллах. - М.: Мир, 1974. 496 с.
8. В.И. Владимиров, А.Е. Романов. Дисклинации в кристаллах, Ленинград: Наука,1986. 223 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Современная кристаллография. В 4-х т./ Под ред. Акад. Б.К. Вайнштейна. –М.1979-1981.
2. Ж. Фридель. Дислокации. - М.: Мир, 1967. - 643 с.
3. С. Амелинкс. Методы прямого наблюдения дислокаций. М.: Мир, 1968.
4. М. Томпсон. Дефекты и радиационные повреждения в металлах. – М.: Мир, 1971. -356 с.
5. Современная кристаллография. В 4-х т./ Под ред. Акад. Б.К. Вайнштейна. – М. 1979-1981.
6. А.А. Предводителев, Н.А. Тяпунина, Г.М. Зиненкова, Г.В. Бушуева. Физика кристаллов с дефектами. М.: Изд. МГУ, 1986. 238 с.
7. Дж. Хирт, И. Лоте. Теория дислокаций. М.: Атомиздат,1972. 598 с.
8. Тофпенек Р.Л. Кристаллография / Тофпенек Р.Л., Анисович А.Г. - Минск: Беларуская навука, 2019. -77 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования оценки текущей успеваемости

Формой текущей аттестации по дисциплине «Кристаллография и дефекты в кристаллах» учебным планом предусмотрен зачет.

Текущий контроль знаний по дисциплине проводится во время лекций и по итогам управляемой самостоятельной работы.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать контрольные работы по отдельным темам дисциплины и выполнение итоговой контрольной работы по всем темам курса. Оценка результатов контрольных работ проводится в десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости (T) по дисциплине в семестре является средневзвешенной оценкой четырех контрольных работ, включая итоговую:

$$T = (K_1 + K_2 + K_3 + K_4) / 4$$

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. На выполнение каждой контрольной работы отводится 90 минут. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

К сдаче зачета допускаются студенты, выполнившие контрольные работы на удовлетворительные оценки.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

В рамках управляемой самостоятельной работы студент выполняет контрольные работы по темам учебной дисциплины. Контрольные работы проводятся в письменном виде и включают 5-10 вопросов (задач). По согласованию с преподавателем при подготовке ответа могут использоваться калькуляторы и справочные пособия.

Примерный перечень вопросов контрольной работы:

- элементы симметрии конечных фигур;
- виды симметрии;
- кристаллографические проекции;
- решетки Бравэ;
- элементы симметрии бесконечных фигур;
- пространственные группы симметрии;
- классификация дефектов;
- комплексы точечных дефектов;
- движение дислокаций;
- анализ кривых отжига.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса *используются методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления. Формой реализации метода может выступать подготовка устных сообщений по вопросам, связанным с экспериментальными методами исследования физических свойств кристаллов и их связью с симметрией структуры, теоретическое рассмотрение которых проходит в процессе лекционных занятий.

Желательным является применение *метода учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Реализацию метода рекомендуется осуществлять во время представления кратких сообщений студентов, организовав дискуссию обучающихся, а также в ходе самих лекций. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основными направлениями самостоятельной работы студента являются:

- подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;
- ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и ее разделам;
- изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы, в частности, современных научных публикаций по изучаемым тематикам;
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к зачету.

Примерный перечень вопросов к зачету

Билет на зачете включает два вопроса, на подготовку которых отводится не менее 45 минут. При подготовке к устному ответу по решению преподавателя допускается использование учебной и научной литературы. Вопросы в состав билетов выбираются из следующего примерного перечня:

1. Предмет и задачи кристаллографии.

2. Связь кристаллографии с другими науками.
3. Эмпирические законы кристаллографии.
4. Элементы симметрии конечных фигур.
5. Теоремы о взаимодействии элементов симметрии.
6. Единичные и симметрично-равные направления.
7. Вывод 32 видов симметрии.
8. Сингонии, категории сингоний.
9. Кристаллографические проекции.
10. Стереографические проекции элементов симметрии кристаллических многогранников.
11. Применение проекций для решения практических задач.
12. Простые формы и их комбинации.
13. Вывод простых форм с помощью стереографических проекций.
14. Установка кристаллов. Кристаллографические символы.
15. Решетки Бравэ.
16. Элементы симметрии бесконечных фигур.
17. Пространственные группы симметрии.
18. Правильные системы точек.
19. Классификация дефектов в кристаллах.
20. Точечные дефекты в кристаллах.
21. Влияние точечных дефектов на физические свойства кристаллов (определение энергии образования и концентрация точечных дефектов).
22. Образование точечных дефектов при облучении кристаллов частицами высоких энергий.
23. Образование точечных дефектов при пластической деформации.
24. Образование точечных дефектов при закалке.
25. Образование точечных дефектов при заданных отклонениях от стехиометрического состава.
26. Равновесная концентрация точечных дефектов в кристаллах.
27. Равновесная концентрация комплексов точечных дефектов, конфигурация комплексов.
28. Энергия образования точечных дефектов, подвижность точечных дефектов.
29. Методы анализа кривых отжига.
30. Дефекты по Шоттки и Френкелю в металлах и ионных кристаллах.
31. Донорные и акцепторные дефекты в кристаллах.
32. Пространственные и точечные группы симметрии, символы ПГС, принцип вывода ПГС.
33. Двумерные дефекты в кристаллах. Способы определения концентрации Д.У.
34. Пять стадий отжига меди, облученной электронами.
35. Конфигурация межузельных атомов в металлах.
36. Центра окраски.

37. Сравнительная характеристика дефектообразования для разных видов излучений.
38. Свободная энергия кристаллов, содержащих точечные дефекты или дислокации.
39. Скольжение дислокаций.
40. Энергий дислокаций.
41. Визуальные характеристики пластической деформации скольжением.
42. Линейное натяжение дислокаций.
43. Сила, действующая на дислокацию.
44. Типы дислокаций. Дисклинации.
45. Пластический изгиб.
46. Введение поправки на изменение колебательной энтропии при расчете равновесной концентрации точечных дефектов в кристаллах.
47. Единичные дислокации в металлах.
48. Вершинные дислокации, барьеры Ломер-Котрелла.
49. Контур и вектор Бюргерса. Свойства вектора Бюргерса.
50. Закон Шмида. Теоретическое скалывающее напряжение.
51. Взаимодействие параллельных дислокаций в параллельных плоскостях скольжения.
52. Взаимодействие параллельных винтовых дислокаций.
53. Частичные дислокации в ГЦК- и ГПУ-структурах.
54. Поле напряжений краевых дислокаций.
55. Поле напряжений краевых дислокаций.
56. Количество скольжения и плотность дислокаций, скорость деформации.
57. Источник Франка-Рида.
58. Стандартный тетраэдр Томпсона.
59. Деформационное упрочнение кристаллов.
60. Взаимодействие параллельных дислокаций.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Радиационные эффекты в твердых телах	Кафедра физики твердого тела	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 14 от 15.06.2020)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО
на ____/____ учебный год

№ № ПП	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой
физики твердого тела
д.ф.-м.н., профессор

_____ В.В. Углов

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
к.ф.-м.н., доцент

_____ М.С. Тиванов