

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

  
О.Н. Здрок  
« 11 » августа 2021 г.

Регистрационный № УД 9151 /уч.

**ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА**

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

**1-31 04 06 Ядерные физика и технологии**

Минск 2021

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 06-2013 и учебного плана № G31-142/уч. от 30.05.2013 г.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**Н.Н. Черенда** — доцент кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

**О.В. Гусакова** — доцент кафедры ядерной и радиационной безопасности Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физики твердого тела физического факультета  
Белорусского государственного университета  
(протокол № 6 от 23.12.2020 г.);

Советом физического факультета  
Белорусского государственного университета  
(протокол № 5 от 24.12.2020 г.)

Заведующий кафедрой



В.В. Углов

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

Программа учебной дисциплины «Физика твердого тела» составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 06-2013 для специальности 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии.

**Цель** учебной дисциплины – ознакомление студентов с основами физики твердого тела и современным состоянием материаловедения.

В настоящее время физика твердого тела является одним из базовых курсов, читаемых на физических факультетах всего мира, так как в именно этом курсе закладываются основы, необходимые для подготовки современного специалиста в области материаловедения. В данном курсе лекций даются основные представления о предмете и задачах физики твердого тела, рассматриваются основные понятия физики твердого тела, анализируются типы связей в кристаллах и их влияние на свойства твердых тел, рассматриваются межатомные взаимодействия и механические свойства кристаллов, анализируются основные типы диаграмм состояния бинарных соединений, рассматривается поведение твердых тел в магнитных полях, причины проявления различных магнитных свойств твердых тел, физические основы функционирования магнитных устройств, даются основные представления о современных направлениях развития материаловедения. Знания, полученные студентами при освоении данного курса, являются необходимой базой при выполнении курсовых и дипломных работ на кафедре.

**Задачи** учебной дисциплины: изучение основ кристаллофизики, термодинамики твердых тел, причинно-следственной связи между структурой материалов и их свойствами, ознакомление с основными направлениями развития физики твердого тела и материаловедения.

### **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 необходима для изучения последующих курсов «Физические свойства металлов», «Методы механических испытаний материалов», «Конструкционные материалы ядерных реакторов».

В результате изучения дисциплины студенты должны:

#### **знать:**

- основные представления физики твердого тела;
- основные потенциалы взаимодействия и некоторые способы расчета характеристик физических свойств из потенциалов взаимодействия;
- типы связи в кристаллах и их влияние на свойства;
- основные характеристики механических и магнитных свойств твердых тел;
- основные типы сплавов, типы диаграмм состояния и методы их построения;

- условия равновесия фаз в многокомпонентных системах;
- уметь:**
- определять фазовый состав сплавов по диаграмме состояния;
- определять прочностные характеристики материалов по диаграмме растяжения;
- определять некоторые характеристики ферромагнетиков по кривой намагничивания;
- владеть:**
- базовыми принципами построения равновесных диаграмм состояния;
- базовыми принципами прогнозирования свойств материалов, исходя из данных о типе связи в кристалле, фазовом составе и структуре материалов.

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Физика твердого тела» должно обеспечить формирование следующих академических 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-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

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

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

#### **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-4. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

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

ПК-6. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологий, оборудование и аппаратуру в исследовательской, научно-педагогической и производственной деятельности.

## **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 6 семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины «Физика твердого тела» отведено 146 часов, в том числе 68 аудиторных часов, из них: лекции – 56 часа, управляемая самостоятельная работа – 12 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

Форма итоговой аттестации – зачет, экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **Тема 1. Предмет и задачи физики твердого тела. Классификация твердых тел**

1.1 Определение твердого состояния веществ. Задачи и основные направления развития физики твердого тела.

1.2 Классификация твердых тел по типам структуры, межатомной связи, электропроводности и магнитным свойствам.

### **Тема 2. Типы связи в кристаллах**

2.1 Электрическая природа межатомной связи в кристалле. Потенциалы Грюнайзена Ми, Ленарда-Джонса. Молекулярные кристаллы. Вандерваальсово взаимодействие.

2.2 Ионные кристаллы. Энергия кристаллической решетки ионных кристаллов. Вычисление постоянной Маделунга. Метод Эвьена. Вычисление степени сил отталкивания из сжимаемости кристалла. Цикл Борна-Габера. Свойства ионных кристаллов.

2.3 Общая характеристика металлов. Вычисление энергии кристаллической решетки металлов по ионной модели. Вычисление энергии кристаллической решетки металлов на основе зонной теории. Свойства металлов.

2.4 Ковалентная связь. Свойства ковалентных кристаллов. Структуры со смешанными ковалентными и вандерваальсовыми связями. Смешанные ионно-ковалентные связи. Водородная связь.

2.5 Симметрия связи и типы кристаллических структур. Пустоты плотнейшей упаковки. Атомные и ионные радиусы.

### **Тема 3. Межатомные взаимодействия и механические свойства кристаллов**

3.1 Упругие свойства кристаллов. Закон Гука и константы упругих свойств. Вычисление модуля Юнга из потенциала межатомного взаимодействия. Диаграмма растяжения.

3.2 Разрушение твердых тел. Теоретическая и реальная прочность кристаллов. Пластическая деформация и скольжение дислокаций.

3.3 Прочность сплавов. Дисперсионное твердение и деформационное упрочнение. Искажения кристаллической решетки. Возврат и рекристаллизация

### **Тема 4. Диаграммы состояния**

4.1 Сплавы, смеси, твердые растворы, химические соединения, их признаки. Эмпирические критерии предсказания типа сплава.

4.2 Условия равновесия фаз в многокомпонентных системах. Правило фаз Гиббса. Метод построения диаграммы состояния.

4.3 Диаграммы состояния составов, образующих механическую смесь компонентов. Правило отрезков. Диаграммы состояния составов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы и эвтектику.

4.4 Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы и перитектику. Диаграмма состояния сплавов, образующих химическое соединение. Диаграмма состояния сплавов, испытывающих полиморфное превращение.

4.5 Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния. Понятие о диаграммах состояния тройных сплавов. Понятие о диаграммах состояния тройных сплавов (методы изображения состава, правило рычага).

4.6 Термодинамическое обоснование диаграмм состояния. Энтропия и энергия смешивания. U-образные и W-образные виды зависимости  $F(C)$ . Теоретическое построение диаграмм состояния.

4.7 Строение металлического слитка. Методы выращивания кристаллов. Дислокации и рост кристаллов.

### **Тема 5. Магнитные свойства твердых тел**

5.1 Диамагнетизм атомов, ионов, молекул. Диамагнетизм металлов. Теория Ландау.

5.2 Классическая теория парамагнетизма, учет пространственного квантования. Парамагнетизм электронов проводимости

5.3 Ферромагнетизм – общие сведения. Классическая теория Вейсса.

5.4 Обменное взаимодействие и критерий ферромагнетизма. Опыты Дорфмана, Эйнштейна и де Гааза.

5.5 Энергия ферромагнитного кристалла. Ферромагнитные домены. Переходные слои между доменами, стенки Блоха и стенки Нееля.

5.6 Намагничивание ферромагнетиков во внешнем магнитном поле. Обратимое и необратимое смещение доменных границ. Скачки Баркгаузена. Гистерезис. Вращение доменов.

5.7 Магнитная структура антиферромагнетиков и ферримагнетиков. Намагничивание антиферромагнетиков и ферримагнетиков во внешнем поле.

5.8 Магнитные материалы.

### **Тема 6. Новые материалы.**

6.1 Перспективные материалы.

6.2 Нанокристаллические материалы.

6.3 Композиционные материалы. Порошковые материалы.

## 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
<b>1</b>	<b>Предмет и задачи физики твердого тела. Классификация твердых тел</b>	<b>4</b>						
1.1.	Определение твердого состояния веществ. Задачи и основные направления развития физики твердого тела.	2						Устный опрос, дискуссия.
1.2.	Классификация твердых тел по типам структуры, межатомной связи, электропроводности и магнитным свойствам.	2						Устный опрос, дискуссия, устные сообщения.
<b>2</b>	<b>Типы связи в кристаллах</b>	<b>10</b>					<b>2</b>	
2.1.	Общее представление о связи между атомами в кристалле. Электрическая природа межатомной связи в кристалле. Потенциалы Грюнайзена Ми, Ленарда-Джонса. Молекулярные кристаллы. Вандерваальсово взаимодействие.	2						Устный опрос, дискуссия.
2.2.	Ионные кристаллы. Энергия кристаллической решетки ионных кристаллов. Вычисление постоянной Маделунга. Метод Эвьена. Вычисление степени сил отталкивания из сжимаемости кристалла. Цикл Бор-	2						Устный опрос, дискуссия.



	на-Габера. Свойства ионных кристаллов.							
2.3.	Общая характеристика металлов. Вычисление энергии кристаллической решетки металлов по ионной модели. Вычисление энергии кристаллической решетки металлов на основе зонной теории. Свойства металлов.	2						Устный опрос, дискуссия.
2.4.	Ковалентная связь. Свойства ковалентных кристаллов. Структуры со смешанными ковалентными и вандерваальсовыми связями. Смешанные ионно-ковалентные связи. Водородная связь.	2						Устный опрос, дискуссия.
2.5.	Симметрия связи и типы кристаллических структур. Пустоты плотнейшей упаковки. Атомные и ионные радиусы.	2				2		Устный опрос, дискуссия, устные сообщения, решение задач.
<b>3</b>	<b>Межатомные взаимодействия и механические свойства кристаллов</b>	<b>6</b>				<b>2</b>		
3.1.	Упругие свойства кристаллов. Закон Гука и константы упругих свойств. Вычисление модуля Юнга из потенциала межатомного взаимодействия. Диаграмма растяжения.	2						Устный опрос, дискуссия.
3.2.	Разрушение твердых тел. Теоретическая и реальная прочность кристаллов. Пластическая деформация и скольжение дислокаций.	2						Устный опрос, дискуссия.
3.3.	Прочность сплавов. Дисперсионное твердение и деформационное упрочнение. Искажения кристаллической решетки. Возврат и рекристаллизация.	2						Устный опрос, дискуссия, устные сообщения, решение задач.

	ция							
	Текущий контроль успеваемости студентов по темам 1-3						2	Устный опрос, контрольная работа.
<b>4</b>	<b>Диаграммы состояния</b>	<b>14</b>					<b>2</b>	
4.1.	Сплавы, смеси, твердые растворы, химические соединения, их признаки. Эмпирические критерии предсказания типа сплава.	2						Устный опрос, дискуссия.
4.2.	Условия равновесия фаз в многокомпонентных системах. Правило фаз Гиббса. Метод построения диаграммы состояния.	2						Устный опрос, дискуссия.
4.3.	Диаграммы состояния составов, образующих механическую смесь компонентов. Правило отрезков. Диаграммы состояния составов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы и эвтектику.	2						Устный опрос, дискуссия.
4.4.	Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы и перитектику. Диаграмма состояния сплавов, образующих химическое соединение. Диаграмма состояния сплавов, испытывающих полиморфное превращение.	2						Устный опрос, дискуссия.
4.5.	Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния. Понятие о диаграммах состояния тройных сплавов (методы изображения состава, правило рычага).	2						Устный опрос, дискуссия.
4.6.	Термодинамическое обоснование диаграмм состояния. Энтропия и	2					2	Устный опрос, дискуссия, устные сообще-

	энергия смешивания. U-образные и W-образные виды зависимости F(C). Теоретическое построение диаграмм состояния.							ния. Решение задач.
4.7.	Строение металлического слитка. Методы выращивания кристаллов. Дислокации и рост кристаллов.	2						Устный опрос, дискуссия, устные сообщения.
<b>5</b>	<b>Магнитные свойства твердых тел</b>	<b>16</b>					<b>2</b>	
5.1	Диамагнетизм атомов, ионов, молекул. Диамагнетизм металлов. Теория Ландау.	2						Устный опрос, дискуссия.
5.2	Классическая теория парамагнетизма, учет пространственного квантования. Парамагнетизм электронов проводимости	2						Устный опрос, дискуссия.
5.3	Ферромагнетизм – общие сведения. Классическая теория Вейсса.	2						Устный опрос, дискуссия.
5.4	Обменное взаимодействие и критерий ферромагнетизма. Опыты Дорфмана, Эйнштейна и де Гааза.	2						Устный опрос, дискуссия.
5.5	Энергия ферромагнитного кристалла. Ферромагнитные домены. Переходные слои между доменами, стенки Блоха и стенки Нееля.	2						Устный опрос, дискуссия.
5.6	Намагничивание ферромагнетиков во внешнем магнитном поле. Обратимое и необратимое смещение доменных границ. Скачки Баркгаузена. Гистерезис. Вращение доменов.	2						Устный опрос, дискуссия.
5.7	Магнитная структура антиферромагнетиков и ферримагнетиков. Намагничивание антиферромагнетиков и ферримагнетиков во внешнем поле.	2						Устный опрос, дискуссия.
5.8	Магнитные материалы.	2						Устный опрос, дискуссия.

								сия, устные сообщения.
	Текущий контроль успеваемости студентов по темам 4-5						2	Устный опрос, контрольная работа.
<b>6</b>	<b>Новые материалы.</b>	<b>6</b>					<b>4</b>	
6.1.	Перспективные материалы.	2						Устный опрос, дискуссия.
6.2.	Нанокристаллические материалы.	2						Устный опрос, дискуссия.
6.3.	Композиционные материалы. Порошковые материалы.	2					4	Устный опрос, дискуссия, устные сообщения. Защита рефератов.
	<b>ИТОГО</b>	<b>56</b>					<b>12</b>	

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.изд.ВШ. 2000
2. Жданов Г.С. Физика твердого тела. М.изд.МГУ. 1961
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.Наука. 1978
4. Блейкмор Дж. Физика твердого состояния. М. Мир. 1988
5. Кристаллофизика: учебное пособие.- СПб.: Изд-во С.-Петербур. Ун-та., 2016, - 84 с.
6. Я.И. Френкель. Введение в теорию металлов.Москва. Государственное издательство физико-математической литературы. 1958. 368 с.
7. Ашкрофт Н., Мермин Н., Физика твердого тела. В 2-х томах, М. 1979
8. Материаловедение. Учебник для высших технических учебных заведений. Под ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение. 1986, 384 с.
9. Гуляев А.П. Металловедение. М.Металлургия. 1986
- 10.В. Юм-Розери, Дж. Христиан, В. Пирсон. Диаграммы равновесия металлургических систем. М.: ГНТИ, 1956.
- 11.В.Г. Шепелевич. Сборник задач по физике металлов и металловедению: Учеб.пособие.-Мн.:Тэхналогія, 2000.
- 12.Вонсовский С.В. Магнетизм. М. 1984.
- 13.Д.Д. Мишин. Магнитные материалы: Учеб. Пособие для вузов. М. Высш.шк., 1991.
- 14.А.А. Преображенский, Е.Г. Бишард. Магнитные материалы и элементы. М.: Высш.школа., 1986.
- 15.Новые материалы. Под ред. Ю.С. Карабасова. М: «МИСИС», 2002.

### Перечень дополнительной литературы

1. Шаскольская М.П. Кристаллография. М.В.Школа. 1976
2. В.И. Зиненко и др. Основы физики твердого тела.
3. Шульце Г. Металлофизика М. Мир. 1971
4. Физическое материаловедение. Под ред. Р. Кана. Москва. Мир. 1967 г. в 3-х т.
5. Э. Картмелл, Г.В.А. Фоулс. Валентность и строение молекул. Москва. Химия 1979.
6. М.И. Каганов, В.М. Цукерник. Природа магнетизма. М. 1982.

## Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Формой текущей аттестации по дисциплине «Физика твердого тела» учебным планом предусмотрен зачет и экзамен.

При формировании оценки текущей успеваемости студента используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Для текущего контроля успеваемости учебной программой предусмотрено выполнение контрольных работ по всем темам курса, а также подготовку и представление реферативных работ.

Рейтинговая оценка является средневзвешенной оценкой между оценкой, полученной за выполнение контрольных работ по темам курса, и оценки, полученной за подготовку и представление реферата.

Текущая оценка успеваемости ( $T$ ) по дисциплине в семестре складывается из рейтинговой оценки ( $T_P$ ) и оценки, полученной за выполнение цикла лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение» ( $T_L$ ):

$$T = 0,75T_P + 0,25T_L$$

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. 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.

Устные опросы проводятся в форме фронтального опроса. Вопросы формулируются в форме, подразумевающей не только краткий ответ, но и возможность краткого обоснования данного ответа.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета (разделы 1 - 3) и экзамена (разделы 4-6). К сдаче зачета допускаются студенты, сдавшие контрольные работы и защитившие реферативные работы на удовлетворительные оценки.

Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения итоговой оценки по дисциплине ( $T_u$ ), которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки ( $T_э$ ):

$$T_u = 0.3T + 0.7T_э$$

## Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

В рамках управляемой самостоятельной работы студент выполняет контрольные работы по всем темам учебной дисциплины. На выполнение работы отводится 90 минут, выполненная работа оценивается по десятибалльной системе.

Кроме того в рамках управляемой самостоятельной работы проводится анализ и решение ряда задач:

Тема 2.5. Симметрия связи и типы кристаллических структур. Пустоты плотнейшей упаковки. Атомные и ионные радиусы. (2 ч.)

Тема 4.6. Термодинамическое обоснование диаграмм состояния. Энтропия и энергия смешивания. U-образные и W-образные виды зависимости  $F(C)$ . Теоретическое построение диаграмм состояния. (2 ч.)

### Примерный перечень задач:

1. Расчет параметров плотных упаковок для различных типов кристаллических решеток.
2. Теоретическое построение диаграмм состояния сплавов, образующих:
  - ограниченные твердые растворы и эвтектику;
  - ограниченные твердые растворы и перитектику;
  - образующих химическое соединение.

### Примерный перечень тем реферативных работ

1. Периодическая система элементов
2. Жидкие кристаллы.
3. Структура полимеров, стекла и керамики.
4. Аморфные сплавы.
5. Соединения с нормальной валентностью.
6. Электронные соединения и правило электронной концентрации.
7. Фазы внедрения.
8. Фазы Лавеса.
9. Методы получения нанокристаллических материалов.
10. Наночастицы и методы их получения.
11. Углеродные наноматериалы.
12. Изоморфизм и полиморфизм.
13. Магнитные и сверхпроводящие материалы.
14. Перспективные полимерные материалы.
15. Диаграмма состояния железо-углерод.
16. Сверхпроводящие материалы
17. Перспективные полимерные материалы
18. Влияние магнитного упорядочения на упругие свойства твердых тел (магнитоупругие эффекты).
19. Магнитная запись информации.

20. Магнитомягкие и магнитожесткие материалы.
21. Магнитные материалы специального назначения.
22. Испытания магнитных материалов.
23. Растровая электронная микроскопия.
24. Просвечивающая электронная микроскопия.
25. Рентгеноструктурный анализ.
26. Электронный микроанализ.

### **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; понимания информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления. Формой реализации метода может выступать подготовка реферативных работ по вопросам, связанным с экспериментальными методами нахождения дефектов в технических объектах, теоретическое рассмотрение которых происходит 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 реферативных работ;
- подготовка к зачету и экзамену.



### Примерный перечень вопросов к зачету

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

1. Определение твердого состояния веществ.
2. Задачи и основные направления развития физики твердого тела.
3. Классификация твердых тел по типам структуры и межатомной связи,
4. Классификация твердых тел по электропроводности и магнитным свойствам.
5. Электрическая природа межатомной связи в кристалле.
6. Потенциалы Грюнайзена Ми, Ленарда-Джонса.
7. Молекулярные кристаллы.
8. Вандерваальсово взаимодействие.
9. Ионные кристаллы.
10. Энергия кристаллической решетки ионных кристаллов.
11. Вычисление постоянной Маделунга. Метод Эвьена.
12. Вычисление степени сил отталкивания из сжимаемости кристалла.
13. Цикл Борна-Габера.
14. Свойства ионных кристаллов.
15. Общая характеристика металлов.
16. Вычисление энергии кристаллической решетки металлов по ионной модели.
17. Вычисление энергии кристаллической решетки металлов на основе зонной теории.
18. Свойства металлов.
19. Ковалентная связь.
20. Свойства ковалентных кристаллов.
21. Структуры со смешанными ковалентными и вандерваальсовыми связями.
22. Смешанные ионно-ковалентные связи.
23. Водородная связь.
24. Плотные упаковки и координационные структуры.
25. Пустоты плотнейшей упаковки.
26. Атомные и ионные радиусы.
27. Упругие свойства кристаллов.
28. Закон Гука и константы упругих свойств.
29. Вычисление модуля Юнга из потенциала межатомного взаимодействия.
30. Диаграмма растяжения.
31. Разрушение твердых тел.
32. Теоретическая и реальная прочность кристаллов.

33. Пластическая деформация и скольжение дислокаций.
34. Прочность сплавов.
35. Дисперсионное твердение и деформационное упрочнение.
36. Искажения кристаллической решетки.
37. Возврат и рекристаллизация

### **Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Сплавы, смеси, твердые растворы, химические соединения, их признаки.
2. Эмпирические критерии предсказания типа сплава.
3. Условия равновесия фаз в многокомпонентных системах.
4. Правило фаз Гиббса.
5. Метод построения диаграммы состояния.
6. Диаграммы состояния составов, образующих механическую смесь компонентов.
7. Правило отрезков.
8. Диаграммы состояния составов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии.
9. Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы и эвтектику.
10. Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы и перитектику
11. Диаграмма состояния сплавов, образующих химическое соединение.
12. Диаграмма состояния сплавов, испытывающих полиморфное превращение.
13. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния.
14. Понятие о диаграммах состояния тройных сплавов.
15. Термодинамическое обоснование диаграмм состояния.
16. Энтропия и энергия смешивания.
17. U-образные и W-образные виды зависимости  $F(C)$ . Теоретическое построение диаграмм состояния.
18. Строение металлического слитка.
19. Методы выращивания кристаллов.
20. Дислокации и рост кристаллов.
21. Диамагнетизм атомов, ионов, молекул.
22. Диамагнетизм металлов. Теория Ландау.
23. Классическая теория парамагнетизма, учет пространственного квантования.
24. Парамагнетизм электронов проводимости
25. Ферромагнетизм – общие сведения.
26. Классическая теория Вейсса.
27. Обменное взаимодействие и критерий ферромагнетизма.
28. Опыты Дорфмана, Эйнштейна и де Гааза.

29. Энергия ферромагнитного кристалла.
30. Ферромагнитные домены.
31. Переходные слои между доменами, стенки Блоха и стенки Нееля.
32. Намагничивание ферромагнетиков во внешнем магнитном поле.
33. Обратимое и необратимое смещение доменных границ. Скачки Баркгаузена.
34. Вращение доменов.
35. Магнитная структура антиферромагнетиков и ферримагнетиков.
36. Свойства антиферромагнетиков и ферримагнетиков.
37. Магнитные материалы.
38. Нанокристаллические материалы.
39. Композиционные материалы.
40. Порошковые материалы.
41. Перспективные материалы.

## 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)
Физические свойства металлов	Кафедра физики твердого тела	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 6 от 23.12.2020)
Методы механических испытаний материалов	Кафедра физики твердого тела	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 6 от 23.12.2020)
Конструкционные материалы ядерных реакторов	Кафедра физики твердого тела	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 6 от 23.12.2020)

**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