

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Донецкий государственный университет»

Физико-технический факультет  
Кафедра теоретической физики и нанотехнологий



П.А. Машаров

«29» марта 2024 г.

МП

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### КРИСТАЛЛОФИЗИКА, ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

Укрупненная группа направлений подготовки	03.00.00 Физика и астрономия
Программа высшего образования	Программа бакалавриата
Направление подготовки	03.03.02 Физика
Профиль подготовки	Физика
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная

Рабочая программа адаптирована для лиц  
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2024

Рабочая программа дисциплины «Кристаллофизика, теория и методы структурного анализа» для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика (Профиль: Физика), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07.08.2020 № 891 (с изм. и доп.), Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06 апреля 2021 г. № 245 (с изм. и доп.), в соответствии с учебным планом, утвержденным Ученым советом ФГБОУ ВО «ДонГУ» для набора 2024 года.

Разработчик:  
профессор кафедры теоретической  
физики и нанотехнологий,  
канд. физ.-мат. наук

Н.П. Иваницын

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий.  
Протокол от 26.03.2024 г. № 16

Заведующий кафедрой

А. Г. Петренко

СОГЛАСОВАНО:

Декан физико-технического  
факультета  
28.03.2024 г.

С. А. Фоменко

Учебно-методическая комиссия физико-технического факультета.  
Протокол от 27.03.2024 г. № 2.  
Председатель

В. Н. Котенко

Руководители основной профессиональной  
образовательной программы:  
кандидат физико-математических наук

А. В. Безус

## 1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Требования к предварительной подготовке обучающихся, предшествующие и сопутствующие дисциплины, на которых основывается изучение данной:

дисциплины программы бакалавриата: Математический анализ, Аналитическая геометрия и линейная алгебра. Теория групп, Общая и экспериментальная физика (Механика), Общая и экспериментальная физика (Молекулярная физика. Термодинамика).

1.2. Дисциплины, курсовые работы и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Электронная микроскопия и рентгенография материалов, Производственная: преддипломная практика.

## 2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы	03.03.02 Физика (Профиль: Физика)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.В.ДВ.2.2 Кристаллофизика, теория и методы структурного анализа
Часть образовательной программы	Вариативная часть: выбор обучающегося
Количество зачетных единиц / всего часов	6 / 216

### 2.2. Распределение часов по периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы+ контроль	всего	
Очная	3	5	34	17		57	108	зачет
Очная	3	6	32	48		28	108	экзамен
Очная, всего			66	65		85	216	

## 3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Формирование фундаментальных представлений об атомной структуре и симметрии идеальных кристаллов, а также о связи симметрии кристаллов с их свойствами.

## 4. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ КОМПОНЕНТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ, ИХ ИНДИКАТОРЫ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ПК-3 Способен проводить и управлять результатами научных исследований и	ПК-3.7. Применяет умения и навыки решения практических задач с	ПК-3.7.1. Знает фундаментальные понятия, терминологию кристаллофизики и кристаллохимии.

опытно-конструкторских работ в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	применением пространственной симметрии кристаллических структур, физических тензоров.	ПК-3.7.2. Умеет применять основные методы исследования структуры кристаллов. ПК-3.7.3. Владеет методами определения качественного фазового состава материалов по электронной дифракционной картине
	ПК-3.8. Использует современные методы обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований	ПК-3.8.1. Знает современные методы обработки, анализа и синтеза физической информации ПК-3.8.2. Умеет работать с физическим оборудованием ПК-3.8.3. Владеет навыками анализа результатов научных исследований

## 5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1. Кристаллография	
Основные понятия о кристаллах. Предмет кристаллографии и его связь с другими науками.	Основные понятия о кристаллах. Кристаллические и аморфные тела. Зарождение и рост кристаллов. Моно и поликристаллы, текстура. Идеальные и реальные кристаллы. Строение кристаллов и их важнейшие свойства. Предмет кристаллографии и его связь с другими науками.
Гониометрия и проектирование кристаллов. Эмпирические законы кристаллографии. Закон постоянства двугранных узлов в кристаллах.	Гониометрия и проектирование кристаллов. Эмпирические законы кристаллографии. Закон постоянства двугранных узлов в кристаллах. Прикладные и отражательные гониометры. Уравнение Вульфа-Брэггов. Закон целых чисел в кристаллах. Применение методов рентгеноструктурного анализа для исследования кристаллических тел
Внешняя симметрия кристаллов. Понятие о симметрии.	Внешняя симметрия кристаллов. Понятие о симметрии. Элементы внешней симметрии: плоскость, ось, центр симметрии. Доказательство существования осей симметрии 1,2,3,4 и 6-го порядков. Зеркально-поворотные и инверсионные оси симметрии. Сложение элементов симметрии.
Классы симметрии, сингонии.	Классы симметрии, сингонии. Вывод 32 классов симметрии и их обозначения. Систематика классов симметрии по

	сингониям. Понятие простой формы кристалла. 47 простых форм разных сингоний.
Пространственная решетка.	Пространственная решетка. Определение пространственной решетки, узлы, узловые ряды и узловые сетки. Элементарная ячейка. Базис решетки. Объем элементарной ячейки. Преобразование координат.
Кристаллографическая символика.	Кристаллографическая символика. Кристаллографические индексы узлов, узловых прямых, плоскостей в пространственной решетке. Семейство прямых и плоскостей. Параметры Вейсса и индексы Миллера. Символы плоскостей. Трансляции, период идентичности, межплоскостные расстояния, зоны плоскостей. Закон зон. Основные кристаллографические плоскости кристаллов кубической сингонии.
Основные кристаллографические соотношения.	Основные кристаллографические соотношения. Определение символов граней по методу косинусов. Определение символов направлений. Связь между символами плоскостей и направлений в кристаллах. Квадратичные формы.
Индицирование кристаллов. Понятие об индицировании.	Индицирование кристаллов. Понятие об индицировании. Индицирование кристаллов кубической сингонии. Индицирование кристаллов гексагональной и тригональной сингонии. Четвертый индекс в гексагональной системе. Перестановка индексов плоскостей
Внутренняя симметрия кристаллов.	Внутренняя симметрия кристаллов. Элементы внутренней симметрии кристаллов. 14 решеток Бравэ. Федоровские пространственные группы, примеры простейших групп.
Обратная решетка. Вектор обратной решетки.	Обратная решетка. Вектор обратной решетки. Свойства радиус-вектора обратной решетки. Свойства прямой и обратной решетки. Объем ячейки обратной решетки, размер и форма ее узлов. Построение обратной решетки по прямой решетке кристалла. Сфера Эвальда.
Кристаллохимия.	Кристаллохимия. Координационное число и определение химической формулы кристалла NaCl. Структура реальных кристаллов. Плотные шаровые упаковки, коэффициент упаковки. Дефекты упаковки.
Рост кристаллов. Кристаллизация.	Рост кристаллов. Кристаллизация. Образование зародышей. Кристаллизация из паровой и жидкой фазы. Тигельные и безтигельные методы выращивания монокристаллов. Метод зонной плавки. Эпитаксия.
Применение метода световой	Применение метода световой микроскопии для

микроскопии для исследования структурных характеристик твердых тел.	исследования структурных характеристик твердых тел. Суть и возможности метода. Методика приготовления шлифов и их травление. Оценка размера зерна. Стали и чугуны. Маркировка.
Раздел 2. Рентгеноструктурный анализ кристаллов	
Физика рентгеновских лучей. Рентгенотехника	Природа рентгеновских лучей. Рентгеновские трубки, аппараты, другие источники рентгеновского излучения. Непрерывный и характеристический рентгеновские спектры. Формула Вульфа-Брэггов.
Регистрация рентгеновских лучей и измерение их интенсивности	Фотографический, ионизационный и другие методы регистрации рентгеновского излучения. Коэффициент ослабления. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Рентгеновские камеры, их конструкции и применение (РКД, РКУ, КРОС, РКСО, РКВ). Защита от рентгеновского излучения.
Методы рентгеноструктурного анализа	Метод Лауэ, его применение. Геометрия интерференционной картины. Метод вращения монокристалла. Основа метода. Этапы расшифровки атомной структуры кристаллов. Метод порошков (поликристаллов). Основы метода: <ul style="list-style-type: none"> <li>- техника получения рентгенограмм;</li> <li>- прямая, обратная, асимметричная съемки;</li> <li>- типы и применение рентгеновских камер для метода порошков;</li> <li>- пример и расчет порошковых рентгенограмм;</li> <li>- индизирование порошковых рентгенограмм кристаллов высшей и средних сингоний;</li> <li>- рентгеновские дифрактометры для исследования поликристаллических материалов.</li> </ul> Методы и аппаратура для определения основной характеристики вещества – периода решетки.
Рентгенографическое определение внутренних напряжений в металлах	Определение макронапряжений. Определение микронапряжений. Вид дифракционной картины по макро- и микронапряжениям в металлах. Определение динамических искажений и характеристической температуры. Физический смысл температуры Дебая.
Практический рентгеноструктурный анализ	Качественный фазовый анализ. Количественный фазовый анализ. Рентгеноспектральный анализ; дефектоскопия. Рентгеноанализ твердых растворов: а) определение концентрации углерода в

Применение просвечивающей электронной микроскопии для изучения структуры металлов и сплавов	мартенсите. Устройство ЭМ, основные узлы и их назначение. Ход лучей в ЭМ. Разрешающая способность метода. Определение увеличения ЭМ. Дифракция и микродифракция. Определение постоянной прибора. Реплики и их классификация. Методика приготовления одноступенчатых и двухступенчатых реплик. Методы электронографии и его применение. Исследование структуры эпитаксиальных пленок с применением методов электронной микроскопии и электронографии
---	--

## 6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Форма обучения – очная, курс – 3, семестр – 5

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС	Всего
Раздел 1. Кристаллография	34	17		57	108
Основные понятия о кристаллах. Предмет кристаллографии и его связь с другими науками.	2	1		4	7
Гониометрия и проектирование кристаллов. Эмпирические законы кристаллографии. Закон постоянства двугранных узлов в кристаллах.	2	1		4	7
Внешняя симметрия кристаллов. Понятие о симметрии.	2	1		4	7
Классы симметрии, сингонии.	2	1		4	7
Пространственная решетка.	2	1		4	7
Кристаллографическая символика.	3	2		4	7
Основные кристаллографические соотношения.	3	2		4	9
Индицирование кристаллов. Понятие об индицировании.	3	2		4	9
Внутренняя симметрия кристаллов.	3	2		4	9
Обратная решетка. Вектор обратной решетки.	3	1		4	8
Кристаллохимия.	3	1		6	10
Рост кристаллов. Кристаллизация.	3	1		6	10
Применение метода световой микроскопии для исследования структурных характеристик твердых тел.	3	1		5	9
ИТОГО ЗА СЕМЕСТР	34	17		57	108

## 6.2. Форма обучения – очная, курс – 3, семестр – 6

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС	Всего
Раздел 2. Рентгеноструктурный анализ кристаллов	32	48		28	108
Физика рентгеновских лучей. Рентгенотехника	5	8		5	18
Регистрация рентгеновских лучей и измерение их интенсивности	5	8		5	18
Методы рентгеноструктурного анализа	5	8		5	18
Рентгенографическое определение внутренних напряжений в металлах	5	8		5	18
Практический рентгеноструктурный анализ	6	8		4	18
Применение просвечивающей электронной микроскопии для изучения структуры металлов и сплавов	6	8		4	18
ИТОГО ЗА СЕМЕСТР	32	48		28	108
ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП	66	65		85	216

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (СРЕДСТВА) ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 7.1. Контрольные вопросы

#### Раздел 1

1. Основные электрические характеристики трубок и их роль.
2. Классификация рентгеновских трубок и их стандартные обозначения.
3. Назначение рентгеновских аппаратов для рентгеноструктурного анализа и их типы.
4. В чем состоят принципиальные различия в регистрации рентгенограмм и дифрактограмм?
5. Как подобрать режим съемки?
6. Чем руководствуются при выборе излучения при съемки поликристаллов по методу порошка?
7. Изобразить и пояснить схему получения рентгенограмм поликристалла.
8. Перечислить и объяснить факторы, влияющие на интенсивность линий рентгенограммы.
9. Какие факты влияют на чувствительность метода?
10. Какова роль интенсивности дифракционных максимумов в фазовом анализе?
11. Что означает «прецизионное» определение периода решетки?
12. Каким путем достигается прецизионность определения периода решетки?
13. В каком случае на практике целесообразнее использовать тот или иной метод определения периода решетки?
14. Для чего проводят экстраполяцию периода решетки на угол равный 90 градусов?
15. В чем заключаются преимущества съемки на дифрактометре?
16. Подобрать излучение, оптимальное для точного определения периода решетки вольфрама, алюминия, ниобия.

#### Раздел 2

1. Физика рентгеновских лучей. Рентгенотехника.



2. Регистрация рентгеновских лучей и измерение их интенсивности
3. Фотографический, ионизационный и другие методы регистрации рентгеновского излучения.
4. Коэффициент ослабления. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.
5. Рентгеновские камеры, их конструкции и применение (РКД, РКУ, КРОС, РКСО, РКВ).
6. Метод Лауэ, его применение. Геометрия интерференционной картины.
7. Метод вращения монокристалла. Основа метода. Этапы расшифровки атомной структуры кристаллов.
8. Метод порошков (поликристаллов). Основы метода:
  - техника получения рентгенограмм;
  - прямая, обратная, асимметричная съемки;
  - типы и применение рентгеновских камер для метода порошков;
  - пример и расчет порошковых рентгенограмм;
    - индиферирование порошковых рентгенограмм кристаллов высшей и средних сингоний;
    - рентгеновские дифрактометры для исследования поликристаллических материалов.
9. Методы и аппаратура для определения основной характеристики вещества
  - периода решетки.
10. Определение макронапряжений.
11. Определение микронапряжений.
12. Качественный фазовый анализ.
13. Количественный фазовый анализ.
14. Рентгеноспектральный анализ; дефектоскопия.
15. Устройство ЭМ, основные узлы и их назначение.

## **7.2. Темы письменных работ (типы задач)**

- Техника безопасности. Введение
- Световая микроскопия. Приготовление образцов для метода СМ (шлифы), травление, исследование структуры стальных образцов
- Изучение рентгеновских камер (РКД, РКУ, КРОС, РКСО). Методика приготовления образцов для РСА. Дифрактометр
- Установление вещества по данным о межплоскостном расстоянии а) прямая съемка – фотометод, ионизационный метод.
- Индиферирование рентгенограмм кристаллов высшей и средних категорий (Cu, Al, Fe, Zn, Cd)
- Определение основной характеристики вещества – параметра решетки (метод «обратной» съемки; метод экстраполяции)
- Расчет дифракционной картины образцов после макро- микродеформации
- Качественный и количественный РСА
- Изучение основных узлов электронного микроскопа и вакуумного поста. Калибровка ЭМ
- Методика получения тонких металлических фольг (термический метод) Дифракция, микродифракция Al пленок
- Расчет электронограмм, полученных от монокристаллических, поликристаллических образцов
- Методика реплик (пластиковые, угольные)

Контрольная работа по проверке теоретических знаний – по всем темам, с использованием указанных выше контрольных вопросов.

## 7.3. Образец содержания экзаменационного билета

Донецкий государственный университет Физико-технический факультет Кафедра теоретической физики и нанотехнологий	
Программа высшего образования Направление подготовки Профиль подготовки Форма обучения Семестр Дисциплина	Программа бакалавриата 03.03.02 Физика Физика Очная Шестой Кристаллофизика, теория и методы структурного анализа
Экзаменационный билет № 1	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Электронография.</li> <li>2. Свойства кристаллов.</li> <li>3. Основные узлы ЭМ и их назначение.</li> </ol>	
Утверждено на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий, протокол № _ от _____ 202_ г.	
Заведующий кафедрой Экзаменатор	

В случае ведения учебного процесса с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, содержание билета может отличаться от приведенного.

## 8. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛЛОВ, КОТОРЫЕ ПОЛУЧАЮТ ОБУЧАЮЩИЕСЯ

Общая оценка знаний обучающихся по дисциплине проводится по 100-балльной шкале исходя из максимума, приведенного в таблице ниже. Организационно-учебная работа в аудитории оценивается на основе таких критериев как посещаемость занятий, своевременное и качественное выполнение домашних заданий, активность во время проведения лекционных и практических занятий (участие в обсуждении текущего и пройденного материала, решение задач и т.п.).

### 8.1. Семестр 5

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1	Организационно-учебная работа в аудитории	20
	Самостоятельная работа	10
	Лабораторная работа	20
	Контрольная работа по теоретическому материалу	10
ИТОГО		60
Зачет		40
Общий итог за семестр		100

## 8.2. Семестр 6

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
2	Организационно-учебная работа в аудитории	20
	Самостоятельная работа	10
	Лабораторная работа	20
	Контрольная работа по теоретическому материалу	10
ИТОГО		60
Экзамен		40
Общий итог за семестр		100

## Соответствие баллов оценке

Количество баллов из 100	ECTS	Оценка по пятибалльной шкале	
		Экзамен, дифференцированный зачет	Зачет
90-100	A	отлично	зачтено
80-89	B	хорошо	зачтено
75-79	C		зачтено
70-74	D	удовлетворительно	зачтено
60-69	E		зачтено
35-59	FX	неудовлетворительно	не зачтено
0-34	F		не зачтено

## 9. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

- 1) для слепых и слабовидящих:
  - лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
  - для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
  - письменные задания оформляются увеличенным шрифтом.
- 2) для глухих и слабослышащих:
  - лекции оформляются в виде электронного документа;
  - письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
  - экзамен проводится в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.
- 3) для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
  - лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
  - письменные задания выполняются на компьютере;
  - экзамен и зачет проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

- 1) для слепых и слабовидящих:
  - в печатной форме увеличенным шрифтом;
  - в форме электронного документа;
- 2) для глухих и слабослышащих:
  - в печатной форме;
  - в форме электронного документа.
- 3) для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
  - в печатной форме;
  - в форме электронного документа.

## **10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА**

Учебные занятия проводятся в 4 учебном корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Театральный, 13). Для проведения лабораторных занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или маркерной доской, мультимедийный проектор и экран, ноутбук, комплект учебной мебели для студентов, рабочее место преподавателя, выход в Интернет – проводной или с использованием Wi-Fi.

Для самостоятельной работы используются текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки университета и других электронных библиотечных баз данных, учебно-методическое обеспечение, представленное в учебно-методическом кабинете кафедры теоретической физики и нанотехнологий (ауд.256).

Обучающиеся имеют возможность использовать учебные материалы по дисциплине, размещенные на платформе Moodle Центра дистанционного образования ФГБОУ ВО «ДонГУ». При изучении дисциплины применяются электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

С использованием ресурсов платформы дистанционного образования осуществляется текущий контроль знаний обучающихся на основе тестирования и проверки результатов самостоятельной работы.

## **11. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **11.1. Основная литература**

1. Игнатенко, П. И. Рентгенография реальных кристаллов : Учеб. пособие для студентов старш. курсов физ. и хим. фак. ун-тов, техн. ун-тов и др. вузов, спец. в обл. физ. материаловедения / П.И. Игнатенко, Н.П. Иваницын ; Донец. гос. ун-т. - Донецк : ДонГУ, 2000. - 327 с.

2. Чупрунов, Е. В. Кристаллография : учебник для студентов вузов, обучающихся по физическим и химическим специальностям / Е. В. Чупрунов, А. Ф. Хохлов, М. А. Фадеев. - Москва : Физматлит, 2000. - 496 с.

3. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия : учебник для студентов вузов / Я. С. Уманский и др. - Москва : Металлургия, 1982. - 632 с.

4. Бокий, Г. Б. Кристаллохимия / Г. Б. Бокий ; АН СССР ; Ин-т радиотехники и электроники. - 3-е изд. - М. : Наука, 1971. - 400 с.

#### 11.2. Дополнительная литература

1. Русаков, А. А. Рентгенография металлов : [Учеб. для вузов по специальности "Физика металлов"] / А. А. Русаков. - М. : Атомиздат, 1977. - 479 с.

2. Иваницын, Н. П. Физика реальных кристаллов : Учеб. пособие для физ. и хим. фак. ун-тов, машиностроит. и металлург. спец. вузов / Донецкий гос. ун-т. - Донецк : Юго-Восток, 1997. - 205 с.

3. Чеченин, Н. Г. Просвечивающая электронная микроскопия : (учебное пособие) / Н. Г. Чеченин ; МГУ им. М. В. Ломоносова, Физический факультет ; ЦКП "Просвечивающая электронная микроскопия" ; Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына. - Москва : Изд-во МГУ, 2005. - 184 с.

## 12. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

1. **Национальная электронная библиотека (НЭБ):** федеральная государственная информационная система / Министерство Культуры РФ; Российская государственная библиотека. – Москва, 2019- . – URL: <https://rusneb.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный, подписка. Необходима установка программного обеспечения. – Текст: электронный.

2. **eLIBRARY.RU:** научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000- . – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. –Текст: электронный.

3. Научная электронная библиотека **«КиберЛенинка»:** сайт / Ассоциация «Открытая наука». – Москва, 2014- . – URL: <https://cyberleninka.ru/>. – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

4. Электронно-библиотечная система **«Лань»:** [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.

5. **ЭБС Юрайт:** электронная библиотечная система: сайт. – Москва, 2013. – URL: <https://biblio-online.ru> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.

6. **Электронно-библиотечная система ДонГУ:** сайт / ФГБОУ ВО «ДонГУ». – Донецк, 2016- . – URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

7. **Электронный каталог** Научной библиотеки ДонГУ: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://library.donnu.ru/catalog/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: поиск свободный, электронные документы – для пользователей ДонГУ.

8. **Электронный архив** ДонГУ: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://repo.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный.

## 13. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДонГУ № 46484614)
2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДонГУ № 46472919)

3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы Dream Spark для высших учебных заведений)
4. Антивирус Касперского, Adobe Acrobat Reader, xPDF (лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения).