

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

УТВЕРЖДАЮ
проректор

_____ П. А. Машаров
«17» апреля 2025 г.
МП

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В КРИСТАЛЛАХ И ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

Укрупненная группа направлений подготовки	28.00.00 Нанотехнологии и наноматериалы
Программа высшего образования	Программа бакалавриата
Направление подготовки	28.03.03 Наноматериалы
Направленность (профиль) образовательной программы	Наноматериалы
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная

Рабочая программа может быть адаптирована для лиц
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2025

Рабочая программа дисциплины **«Явления переноса в кристаллах и тонких пленках»** для обучающихся по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы (Профиль: Наноматериалы), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22 сентября 2017 г. № 968 (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 2025 года.

Разработчик:

зав.кафедрой теоретической физики и
нанотехнологий,
д-р. физ.-мат. наук, проф.

А. Г. Петренко

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий.

Протокол от 10.04.2025 г. № 18.

Заведующий кафедрой

А. Г. Петренко

СОГЛАСОВАНО:

И.о. декана физико-технического факультета
16.04.2025 г.

С. А. Фоменко

Учебно-методическая комиссия физико-технического факультета.

Протокол от 16.04.2025 г. № 4

Председатель

В. Н. Котенко

Руководитель основной образовательной
программы, д-р физ.-мат. наук, проф.
10.04.2025 г.

А. Г. Петренко

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

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

базовая подготовка по математике в объеме программы средней школы;

дисциплины программы бакалавриата: Математический анализ, Аналитическая геометрия и линейная алгебра, Механика и молекулярная физика, Дефекты в кристаллах.

1.2. Дисциплины, курсовые работы и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

Электронная микроскопия, Производственная практика: научно-исследовательская работа.

2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы (далее – ОП)	28.03.03 Наноматериалы (Профиль: Наноматериалы)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.Б.31 Явления переноса в кристаллах и тонких пленках
Часть образовательной программы	Базовая часть
Количество зачетных единиц / всего часов	6 / 216

В случае предъявления от обучающегося или его родителя (законного представителя) заявления на обучение по адаптированной образовательной программе высшего образования, подкрепленного заключением психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК) или медико-социальной экспертизы (МСЭ) с рекомендациями создания индивидуальной программы реабилитации и абилитации (ИПРА), данная рабочая программа может быть адаптирована с учетом индивидуальных особенностей здоровья обучающегося.

2.2. Распределение часов по формам и периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы + контроль	всего	
Очная	3	5	34	-	68	114	216	экзамен

3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Формирование знаний и умений студента в области получения и изучения особенностей формирования структуры и свойств нанокристаллических материалов; ознакомление студентов с современными знаниями по физике структурообразования в тонких пленках и явлений переноса, современными методами получения и исследования структуры и свойств пленок, а также теории получения наноструктурных и эпитаксиальных пленок.

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

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ОПК-1. Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования	ОПК-1.33. Участвует в экспериментальном определении структуры, состава и свойств тонких пленок	ОПК-1.33.1. Знает методы исследования структуры, состава и физических свойств поверхности тонких пленок ОПК-1.33.2. Умеет учитывать влияние примесей, дефектов, фазовых превращений и т.п. на явления переноса ОПК-1.33.3. Владеет навыками определения структуры и фазового состава пленки, кристаллографических ориентаций
	ОПК-1.34. Учитывает влияние дефектов на фазовые превращения в наноматериалах	ОПК-1.34.1. Знает механизмы формирования наноразмерных структур ОПК-1.34.2. Умеет определять характеристики тонких пленок ОПК-1.34.3. Владеет навыками определения влияния дефектов на фазовые превращения

5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1. Физика тонких пленок	
Пленочное состояние материалов.	Разновидности микроструктуры тонких пленок. Механизмы роста пленок. Дефекты в пленках. Дислокации несоответствия. Напряжение в пленках.
Нанокристаллы.	Типы нанокристаллов. Макроскопическая теория образования нанокристаллов. Столбчатые и шаровые структуры.
Эпитаксиальный рост пленок	Макроскопическая теория эпитаксиального роста. Температурный критерий эпитаксии.
Размерные эффекты.	Фазовый размерный эффект. Влияние размера кристаллитов на период решетки пленки. Изменение температуры плавления нанобъектов. Фазовые переходы "аморфная фаза-кристалл" в тонких пленках.
Методы получения пленок.	Химические методы: CVD-технология, электрохимическое осаждение, химическое осаждение. Методы: термическое испарение, катодное распыление (двух- и трехэлектродный варианты), реактивное катодное распыление, магнетронного распыления, ВЧ - распыление, ионная имплантация, конденсация и ионное бомбардировки.
Методы получения эпитаксиальных пленок.	Вакуумная эпитаксия. Газовая эпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Жидкофазная эпитаксия. Твердофазная эпитаксия.
Методы исследования пленок.	Рентгеновский фазовый анализ тонких пленок. Рентгеновский метод в скользящих лучах.

	Понимание квантовых свойств наноструктур и др. Текстура в пленках. Электронное изучение тонкой структуры пленок. Масс-спектроскопическое исследование пленок. Определение микротвердости и наноиндентирования. Измерение толщины пленок.
Механические свойства тонких пленок.	Адгезия пленок и ее измерение. Прочность и твердость пленок и их определения. Упругость и пластичность пленок. Напряжение в плавках и методы их измерения.
Электрические свойства тонких пленок	Измерение электроопору пленок. Классический размерный эффект в электропроводности и ТКО тонких пленок. Квантовый размерный эффект в электропроводности тонких пленок.
Сверхпроводящие свойства тонких пленок.	Изменение критической температуры пленок под воздействием внешних факторов. Размерный эффект в сверхпроводимости тонких пленок. Сверхпроводящие свойства аморфных пленок. Критические магнитные поля и критический ток.
Магнитные свойства тонких пленок.	Намагниченность в тонких пленках. Методы изучения магнитных свойств пленок. Размерный эффект в намагниченности пленок. Доменные стенки и их движение в пленках. Цилиндрические магнитные домены.
Диэлектрические и оптические свойства тонких пленок.	Особенности физических процессов в диэлектрических пленках. Пьезоэлектрические свойства пленок. Оптические свойства тонких пленок.
Нерешенные проблемы физики тонких пленок.	Трудности интерпретации явления перехода пленок из аморфного в кристаллическое состояние, отсутствие моделей влияния структуры и толщины пленок на критическую температуру сверхпроводящего перехода, более глубокое
Раздел 2. Явления переноса в твердых телах	
Понятие о явлениях переноса.	Понятие о явлениях переноса. Виды диффузии в твердых телах.
Макроскопическое описание массопереноса	1 уравнения Фика, коэффициент диффузии. Разные типы коэффициентов диффузии. Влияние симметрии кристалла на коэффициенты диффузии. Принцип Неймана. 2 уравнения Фика. Частное решение 2 уравнения Фика. Концентрационная зависимость коэффициента диффузии. Метод Матано-Больцмана.
Экспериментальные методы определения коэффициента диффузии.	Классификация методов. Метод снятия слоев. Метод интегрального остатка. Адсорбционные методы. Авторадиографические методы.

	Чувствительность методов. Локальный рентгеноспектральный метод. Рентгенографический метод. Релаксационные методы. Сравнение чувствительности методов.
Микроскопическое описание диффузии.	Механизмы диффузии. Атомная теория диффузии. Диффузия как процесс случайных блужданий. Связь коэффициента диффузии с длиной и частотой скачка диффундирующего атома. Диффузия в ГЦК-кристаллах. Связь коэффициента диффузии с характеристиками вакансий. Температурная зависимость коэффициента диффузии (уравнения Аррениуса).
Диффузия в твердых растворах (Взаимная диффузия)	Эффект Киркендалла. Количественное описание эффекта Даркеном. Преимущества и недостатки метода Даркена. Эффект Френкеля (диффузионного порообразования).
Термодинамическая теория диффузии.	Действующие силы диффузии. Уравнения Эйнштейна - Смолуховского. Уравнение Даркена. Восходящая диффузия.
Принципы Онзагера.	Описание диффузии в бинарной системе по Онзагеру. Определение термодинамических сил. Условия применения 1 уравнения Фика.
Термодиффузия в бинарных твердых растворах	Феноменологическое описание термодиффузии. Теплота переноса. Экспериментальное определение теплоты переноса.
Диффузия в электрическом поле.	Феноменологическое описание электропереноса. Механизм передвижения ионов при электропереносе. Электродиффузионный потенциал. Эффективный заряд иона, заряд захвата и его оценка. Эффект "электронного ветра".
Влияние дефектов структуры на диффузии в твердых телах	Влияние неравновесных (избыточных) вакансий диффузию. Влияние дислокаций на диффузию. Модели диффузии по дислокациям: модель Смолуховского; модель Харта. Зернограничная диффузия. Описание зернограничной диффузии по Фишеру. Кинетические режимы диффузии по границам зерен. Влияние различных факторов на диффузию по границам зерен. Анизотропия диффузии по границам зерен. Механизм диффузии по границам зерен. Влияние адсорбции в пределах зерен на диффузию
Влияние фазовых превращений на диффузию	Влияние однократного (предыдущего) полиморфного превращения. Диффузия в условиях многократного полиморфного превращения. Влияние механизма преобразования.

Квантовая диффузия.	Понятие о квантовых кристаллы. Туннельный механизм элементарного акта диффузии. Дефектоны. Квантовая диффузия как движение дефектонов. Экспериментальное подтверждение квантовой диффузии.
Особенности диффузии в нанокристаллических материалах (НС).	Экспериментальные результаты. Модели границ зерен в НМ. Влияние технологии получения НМ на диффузию. Эффекты активации некоторых процессов в НМ зернограничного диффузионными потоками. Диффузия в тонких поликристаллических пленках

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+К	Всего
Раздел 1. Физика тонких пленок	17		34	57	108
Пленочное состояние материалов.	1		2	4	7
Нанокристаллы.	1		2	4	7
Эпитаксиальный рост пленок	1		2	4	7
Размерные эффекты.	1		2	4	7
Методы получения пленок.	1		2	4	7
Методы получения эпитаксиальных пленок.	1		2	4	7
Методы исследования пленок.	1		2	4	7
Механические свойства тонких пленок.	1		2	4	7
Электрические свойства тонких пленок	1		2	4	7
Сверхпроводящие свойства тонких пленок.	1		2	4	7
Магнитные свойства тонких пленок.	2		4	6	12
Диэлектрические и оптические свойства тонких пленок.	2		4	6	12
Нерешенные проблемы физики тонких пленок.	3		6	5	14
Раздел 2. Явления переноса в твердых телах	17		34	57	108
Понятие о явлениях переноса.	1		2	4	7
Макроскопическое описание массопереноса	1		2	4	7
Экспериментальные методы определения коэффициента диффузии.	1		2	4	7
Микроскопическое описание диффузии.	1		2	4	7
Диффузия в твердых растворах (Взаимная диффузия)	1		2	4	7
Термодинамическая теория диффузии.	1		2	4	7
Принципы Онзагера.	1		2	4	7

Термодиффузия в бинарных твердых растворах	1		2	4	7
Диффузия в электрическом поле.	1		2	4	7
Влияние дефектов структуры на диффузии в твердых телах	1		2	4	7
Влияние фазовых превращений на диффузию	2		4	6	12
Квантовая диффузия.	2		4	6	12
Особенности диффузии в нанокристаллических материалах (НС).	3		6	5	14
ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП	34	–	68	114	216

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

7.1. Контрольные вопросы

Раздел 1

1. Кристаллические структуры, формула кристалла – базис и кристаллические структуры, 7 сингоний и решетки Браве – двумерные и трехмерные, плоскости и индексы Миллера, ячейки Вигнера – Зейтца, закон Вульфа– Брэгга и др.
 2. Три типа излучения – рентген, оже – спектроскопия и нейтронное излучение.
 3. Дифракционные методы – метод Лауэ, метод вращения кристалла и метод порошка.
 4. Условия дифракции; обратная решетка, зоны Бриллюэна; атомный и структурный факторы.
 5. Кристаллы инертных газов – силы Ван – дер – Вальса.
 6. Ионные кристаллы – электростатическая энергия и/или энергия Маделунга.
 7. Объемный модуль упругости и сжимаемость.
 8. Металлические кристаллы – представления Друде и Зоммерфельда; время релаксации, длина свободного пробега.
 9. Ковалентные кристаллы и кристаллы с F - связью.
 10. Явления переноса в кристаллах и тонких пленках: теплопроводность (перенос энергии) – теплоотдача, конвекция и излучение.
 11. Диффузия (перенос массы) в кристаллах и тонких пленках.
 12. Вязкость (перенос импульса) в кристаллах и тонких пленках.
 13. Классификация дефектов в кристаллах – точечные или одномерные дефекты; линейные или одномерные; поверхностные или двумерные дефекты – межзеренные и межфазные границы; поры и трещины в кристаллах: по Оровану, Ирвину, Гриффитсу и Баренблатту.
 14. Взаимодействие заряженных дефектов с границами раздела – границы наклона и кручения.
 15. Магнитные точечные дефекты и центры дилатации.
 16. Упругие свойства кристаллов; упругие постоянные и сжимаемость кристаллов.
- #### Раздел 2
17. Уравнения Фика – 1 и 2 уравнения Фика.
 18. Обогащения границ зерен точечными дефектами, явления ползучести, пластичности, упрочнения и деградации материалов.
 19. Локальные и глобальные нарушения симметрии. Явления сегрегации. Роль граничных условий при сегрегации: условия Мак Лина, Ленгмюра, Фаулера и др.

20. Открытые и закрытые системы. Термодинамические потенциалы: внутренняя и свободная (потенциал Гельгольца) энергии; потенциал Гиббса и энтальпия; большой термодинамический потенциал.
21. Конкурентный и кооперативный механизмы взаимодействия примесей. Энергия смешения.
22. Взаимодействие примесей двух сортов с границей бикристалла. Кинетика сегрегации примесей в поликристаллах. Уравнения Фика и принцип Онзагера.
23. Энергия границ раздела. Дислокационная модель малоугловых границ и ее энергия. Поверхностная энергия границ раздела – первое и второе борновское приближения; маделунговская составляющая поверхностной энергии. Структурный и атомный факторы – внутренний структурный фактор.
24. Эпитаксия. Модели Франка и Ван дер Мерве.
25. Локализованные состояния на границах раздела. Поверхностные волны Релея. Таммовские поверхностные уровни.
26. Поверхностные состояния на межзеренных границах (модель Кронига – Пенни, потенциал Матье): - «чертова» лестница.
27. Поверхностные волны на межкристаллитных границах.
28. Сегрегация: распадные явления и явления упорядочения на интерфейсах. Формирование островковой структуры на поверхностях интерфейса.
29. Спинодаль и бинодаль.
30. Температурные и концентрационные зависимости свободной энергии Гельмгольца.
31. Неупорядоченные системы, дисклинации в неупорядоченных материалах; границы зерен, зернограницные сегрегации и методы их исследований.
32. Нанокластеры и нанокластерные системы; фрактальные системы. Фуллерены и нанотрубки.
33. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах.

7.2. Темы письменных работ (типы задач)

- Методы получения эпитаксиальных пленок
- Методы исследования тонких пленок
- Определение сопротивления, удельного сопротивления и ТКС с учетом параметра зеркальности
- Определение оптических свойств пленок
- Определение коэффициента диффузии и энергии активации диффузии при макроскопическом описании явлений переноса по результатам экспериментов.
- Определение параметров диффузии в твердых растворах по эффекту Киркендала.
- Определение параметров термодиффузии и электропереноса

7.3. Образец содержания экзаменационного билета

Донецкий государственный университет
Физико-технический факультет
Кафедра теоретической физики и нанотехнологий

Программа высшего образования	Программа бакалавриата
Направление подготовки	28.03.03 Наноматериалы
Профиль подготовки	Наноматериалы
Форма обучения	Очная
Семестр	Пятый

Дисциплина

Явления переноса в кристаллах и
тонких пленках

Экзаменационный билет № 1

1. Методы исследования пленок.
2. Размерные эффекты.
3. Диэлектрические свойства тонких пленок

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.).

Самостоятельная работа оценивается на основе предоставленных на проверку выполненных домашних, индивидуальных заданий с учетом своевременности их предоставления и соответствия требованиям к их выполнению.

Количество баллов за контрольную работу вычисляется как сумма баллов за все входящие в её состав задания. Каждое задание оценивается исходя из максимально возможного количества баллов с учетом правильности выполнения задания, полноты приводимых обоснований.

По результатам работы в семестре обучающийся, набравший не менее 60 баллов, имеет право получить оценку. Те, кто претендует на более высокий балл, проходят промежуточную аттестацию. Максимальное количество баллов на промежуточной аттестации – 100. Общее количество баллов за семестр вычисляется как максимальная из полученных за семестр и на промежуточной аттестации и выставляется согласно принятому порядку.

8.1. Семестр 5

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1-2	Организационно-учебная работа в аудитории	20
	Самостоятельная работа	10
	Контрольные работы по практике	10
	Контрольная работа по теоретическому материалу	20
ИТОГО		60
Промежуточная аттестация (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. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные занятия проводятся в 4 учебном корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Театральный, 13). Для проведения 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 могут применяться 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.

10. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

10.1. Основная литература

1. Терехов С. В. Физика нанообъектов: [учебное пособие] / С. В. Терехов, В. Н. Варюхин; ГОУ ВПО «ДонНУ» - Донецк: ДонНУ, 2013. – 418 с.

2. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – Изд. 2-е. – Москва: Физматлит, 2009. – 414 с.

3. Нанотехнологии и специальные материалы: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 140140 – Техн. физика / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, С. А. Вологжанина, А. П. Петкова; под ред. Ю. П. Солнцева. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2009. – 334, [1] с.

4. Нанотехнологии: азбука для всех / Н. С. Абрамчук, С. М. Авдошенко, А. Н. Баранов и др.; под ред. Ю. Д. Третьякова. – 2-е изд. – Москва: Физматлит, 2009. – 365 с.

10.2. Дополнительная литература

1. Терехов С. В. Вариационные принципы классической механики / С. В. Терехов, В. Н. Варюхин, А. Г. Петренко; ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет", Физико-технический факультет, Кафедра теоретической физики и нанотехнологий. – Донецк: ГОУ ВПО "ДонНУ", 2018. – 52 с.

2. Головин Ю. И. Введение в нанотехнику. – М.: Машиностроение, 2007. – 493 с.

11. 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: 31.03.2025). – 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: 31.03.2025). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
3. Научная электронная библиотека **«КиберЛенинка»:** сайт / Ассоциация «Открытая наука». – Москва, 2014- . – URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
4. Электронно-библиотечная система **«Лань»:** [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: издания Сетевой электронной библиотеки, для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
5. **ЭБС Юрайт:** электронная библиотечная система: сайт. – Москва, 2013. – URL: <https://urait.ru/library/svobodnyy-dostup/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: издания свободного доступа, для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
6. **Электронно-библиотечная система ДонГУ:** сайт / ФГБОУ ВО «ДонГУ». – Донецк, 2016- . – URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – 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: 31.03.2025). – 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: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный.

12. 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).