

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

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

Физико-технический факультет  
Кафедра общей физики и дидактики физики



П.А. Машаров

«29» марта 2024 г.  
МП

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

Укрупненная группа направлений подготовки	03.00.00 Физика и астрономия
Программа высшего образования	Программа магистратуры
Направление подготовки	03.04.02 Физика
Магистерская программа	Компьютерная физика
Квалификация	Магистр
Форма обучения	Очная

Рабочая программа адаптирована для лиц  
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2024

Рабочая программа дисциплины «Физика магнитных явлений и высокотемпературная сверхпроводимость» для обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика (магистерская программа: Компьютерная физика), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 03.04.02 Физика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07.08.2020 № 914 (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:  
доцент, к.ф.-м.н., доцент

А. В. Безус

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры общей физики и дидактики физики.

Протокол от 26.03.2024 г. № 12

Заведующий кафедрой

А. В. Безус

СОГЛАСОВАНО:

И. о. декана 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

26.03.2024 г.

## 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 магистратуры:

*Иностранный язык;*

*Методология и методы научных исследований;*

*Объектно-ориентированное программирование;*

*Компьютерное моделирование в физике;*

*Научный семинар;*

*Электронные ресурсы и цифровые технологии в образовании;*

*Современные нанотехнологии;*

*Физика высоких энергий;*

*Компьютерные средства анализа экспериментальных данных;*

*Специальные методы решения физических задач.*

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

*Производственная: преддипломная практика;*

*Производственная практика: научно-исследовательская работа;*

*Подготовка и защита ВКР: магистерской диссертации.*

## 2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы	03.04.02 Физика (магистерская программа: Компьютерная физика)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.В.ДВ.2 Физика магнитных явлений и высокотемпературная сверхпроводимость
Часть образовательной программы	Вариативная часть
Количество зачетных единиц / всего часов	4 / 144

2.2. Распределение часов по периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы + контактная	всего	
Очная	2	3	13		39	92	144	экзамен

## 3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

*Сформировать у будущих магистров основных представлений в области наиболее передовых теоретических предположений и разработок по физике магнитных явлений и физике низких температур, а также способах получения высокотемпературных сверхпроводников и перспективах их практического применения.*

*Дать представление о современных теоретических представлениях о пара-, диа- и ферромагнетизме металлов и диэлектриков. Проанализировать различные элементы магнитной структуры и процессов намагничивания ферромагнетиков, дать представление о многоподрешеточных магнетиках: ферритах-шпинелях, ферритах гранатах, гексаферритах и др. Рассмотреть поведение магнитоупорядоченных кристаллов в переменном магнитном поле. Дать феноменологическое описание термодинамики и электродинамики сверхпроводников, основ микроскопической теории сверхпроводимости, включая туннельный эффект в сверхпроводниках и эффект Джозефсона, особенности применения сверхпроводников в электронике и электротехнике. Дать понятия об основных типах и физических свойствах высокотемпературных сверхпроводников, ознакомить с оксидными высокотемпературными сверхпроводниками, дать теоретические основы в технологии получения ВТСП различных составов.*

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

<b>Компетенции</b>	<b>Индикаторы</b>	<b>Результаты обучения</b>
ПК-2. Способен проводить научные исследования 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.	ПК-2.12 Организует сбор, изучение научно-технической информации по теме исследований и проводит научные исследования в области ФМЯиВТСП.	ПК-2.12.1 Имеет представления о методиках и технологиях физических исследований с помощью современного оборудования и способен формировать исследования на основе современных электронных средств, проводить наблюдения, измерения и расчеты. ПК-2.12.2 Умеет обобщать отечественный и зарубежный опыт по тематике прикладных научных исследований в области своей профессиональной деятельности.
	ПК-2.13 Осуществляет детальный анализ результатов прикладных научных исследований в области магнитных явлений и эффектов. Умеет определять область рационального возможного внедрения результатов научных исследований в своей профессиональной деятельности.	ПК-2.13.1 Имеет навыки определения сфер внедрения результатов прикладных научных исследований в области своей профессиональной деятельности. ПК-2.13.2 Умеет проводить научные исследования, давать содержательную интерпретацию полученных результатов и внедрять их в различные сферы своей профессиональной деятельности

## 5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
<b>Раздел 1.</b>	
1. Пара- и диамагнетизм.	1.1. Магнитные характеристики. Термодинамические соотношения. 1.2. Строение электронных оболочек переходных и редкоземельных ионов. 1.3. Пара- и диамагнетизм свободных ионов. 1.4. Пара- и диамагнетизм металлов. 1.5. Теоретико-групповая классификация энергетических уровней ионов в кристаллах. 1.6. Теория кристаллического поля. Молекулярные орбитали. 1.7. Магнитные свойства ионов в кристаллах.
2. Ферромагнетизм.	2.1. Теория молекулярного поля Вейсса. 2.2. Молекула водорода и обобщение теории на N атомов. 2.3. Модель Френкеля-Гейзенберга. Спиновые волны. 2.4. Зонная теория металлов. 2.5. Теоретико-групповая классификация электронных состояний в металлах. 2.6. Критерий ферромагнетизма 3d-металлов. Косвенный обмен в ферродиелектриках. Обмен через электроны проводимости. (s-d) обменная модель Вонсовского.
3. Доменная структура и процессы намагничивания.	3.1. Энергия обменного взаимодействия. 3.2. Магнитная кристаллографическая анизотропия. 3.3. Магнитоупругая и магнитостатическая энергия. Доменные границы и доменная структура. 3.4. Уравнение Ландау-Лифшица. 3.5. Процессы смещения доменных границ и процессы вращения вектора намагниченности. Тонкие ферромагнитные пленки.
4. Многоподрешеточные магнетики.	4.1. Антиферромагнетики. 4.2. Слабые ферромагнетики. Ферриты-шпинели. 4.3. Теория ферромагнетизма Нееля. 4.4. Ферриты-гранаты. Сложные магнитные структуры.
5. Поведение магнитных кристаллов в переменных магнитных полях.	5.1. Ферромагнитный и ферримагнитный резонанс. 5.2. Магнитный резонанс в антиферромагнетиках и слабых ферромагнетиках. 5.3. Резонанс и релаксация доменных границ. 5.4. Магнитооптические эффекты. Исследование магнитных кристаллов магнитооптическими методами.
<b>Раздел 2.</b>	
6. Основные свойства сверхпроводников.	6.1. История открытия сверхпроводимости. 6.2. Магнитные свойства сверхпроводников. 6.3. Термодинамика сверхпроводников. 6.4. Высокотемпературная сверхпроводимость.
7. Линейная электродинамика сверхпроводников.	7.1. Развитие теории сверхпроводимости. 7.2. Уравнение Лондонов. 7.3. Нелокальная электродинамика сверхпроводников. 7.4. Квантование магнитного потока.

8. Распределение магнитного поля в сверхпроводниках.	8.1. Пластина в параллельном поле, пластина с током, пленка над экраном. 8.2. Кинетическая индуктивность. Комплексная проводимость сверхпроводника. 8.3. Скин-эффект и поверхностный импеданс.
9. Теория сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау.	9.1. Свободная энергия сверхпроводников. 9.2. Уравнения Гинзбурга-Ландау. 9.3. Длина когерентности и глубина проникновения. 9.4. Энергия границы раздела между нормальной и сверхпроводящей фазами. 9.5. Критическое поле тонкой пленки, критический ток тонкой пленки.
10. Сверхпроводимость второго рода.	10.1. Поле одиночного вихря, первое критическое поле. 10.2. Взаимодействие вихрей, второе критическое поле. Критический ток, пиннинг. 10.3. Физические свойства и кристаллографическая структура ВТСП-систем. 10.4. Необычные нормальные свойства и фазовая диаграмма ВТСП-систем.
11. Микроскопическая теория сверхпроводимости.	11.1. Электрон-фотонное взаимодействие. Основное состояние сверхпроводника. 11.2. Спектр элементарных возбуждений сверхпроводника. 11.3. Незатухающий ток и эффект Мейснера.
12. Туннельный эффект в сверхпроводниках.	12.1. Переход металл-изолятор-металл, переход металл-изолятор-сверхпроводник. 12.2. Переход сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник. 12.3. Детектирование электромагнитных волн.
13. Эффект Джозефсона.	13.1. Джозефсоновское туннелирование. 13.2. Стационарный эффект Джозефсона. 13.3. Нестационарный эффект Джозефсона.

## 6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Форма обучения – очная, курс – 2, семестр – 3

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+ конт	Всего
<b>Раздел 1.</b>					
1. Пара- и диамагнетизм.	1		3	7	11
2. Ферромагнетизм.	1		3	7	11
3. Доменная структура и процессы намагничивания.	1		3	7	11
4. Многоподрешеточные магнетики.	1		3	7	11
5. Поведение магнитных кристаллов в переменных магнитных полях.	1		3	7	11
<b>Раздел 2.</b>					
6. Основные свойства сверхпроводников.	1		3	7	11
7. Линейная электродинамика сверхпроводников.	1		3	7	11
8. Распределение магнитного поля в сверхпроводниках.	1		3	7	11

9. Теория сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау.	1		3	7	11
10. Сверхпроводимость второго рода.	1		3	7	11
11. Микроскопическая теория сверхпроводимости.	1		3	7	11
12. Туннельный эффект в сверхпроводниках.	1		3	7	11
13. Эффект Джозефсона.	1		3	7	11
Экзамен				1	1
<b>ИТОГО ЗА СЕМЕСТР</b>	<b>13</b>		<b>39</b>	<b>92</b>	<b>144</b>

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

### 7.1. Контрольные вопросы

#### Раздел 1

1. Строение электронных оболочек переходных и редкоземельных ионов.
2. Пара- и диамагнетизм свободных ионов.
3. Пара- и диамагнетизм металлов.
4. Теоретико-групповая классификация энергетических уровней ионов в кристаллах.
5. Теория кристаллического поля.
6. Магнитные свойства ионов в кристаллах.
7. Теория молекулярного поля Вейсса.
8. Модель Френкеля-Гейзенберга.
9. Спиновые волны.
10. Зонная теория металлов.
11. Теоретико-групповая классификация электронных состояний в металлах.
12. Критерий ферромагнетизма 3d-металлов.
13. Косвенный обмен в ферродиелектриках.
14. (s-d) обменная модель Вонсовского.
15. Энергия обменного взаимодействия.
16. Магнитная кристаллографическая анизотропия.
17. Магнитоупругая и магнитостатическая энергия.
18. Доменные границы и доменная структура.
19. Уравнение Ландау-Лифшица.
20. Процессы смещения доменных границ и процессы вращения вектора намагниченности.
21. Тонкие ферромагнитные пленки.
22. Антиферромагнетики.
23. Слабые ферромагнетики.
24. Ферриты-шпинели.
25. Ферриты-гранаты.
26. Сложные магнитные структуры.
27. Теория ферромагнетизма Нееля.
28. Ферромагнитный и ферримагнитный резонанс.
29. Магнитный резонанс в антиферромагнетиках и слабых ферромагнетиках.
30. Магнитооптические эффекты.
31. Исследование магнитных кристаллов магнитооптическими методами.

#### Раздел 2

32. Термодинамика и магнитные свойства сверхпроводников, развитие теории сверхпроводимости.
33. Уравнение Лондонов.

34. Комплексная проводимость, кинетическая индуктивность сверхпроводника.
35. Скин-эффект и поверхностный импеданс в сверхпроводниках.
36. Уравнения Гинзбурга-Ландау.
37. Длина когерентности, глубина проникновения, сверхпроводники I и II рода.
38. Критическое поле и критический ток тонкой сверхпроводящей пленки.
39. Поле одиночного вихря, первое критическое поле сверхпроводника второго рода.
40. Взаимодействие вихрей, второе критическое поле сверхпроводника II рода.
41. Критический ток в сверхпроводниках второго рода.
42. Электрон-фононное взаимодействие, основное состояние сверхпроводника.
43. Спектр элементарных возбуждений сверхпроводника.
44. Туннельный эффект в сверхпроводниках.
45. Джозефсоновское туннелирование.
46. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона.
47. История открытия сверхпроводимости и ВТСП.
48. Кристаллическая и зонная структура твердых тел.
49. Основные типы кристаллических структур ВТСП, основной элемент и мобильная подрешетка.
50. Особенности зонной структуры ВТСП. Поверхность Ферми металлов и ВТСП.
51. Основные методы изучения кристаллической структуры ВТСП. Критические параметры ВТСП.
52. Особенности химической природы ВТСП.
53. Медь-кислородные перовскитные блоки и легко поляризующиеся ионы в структуре ВТСП.
54. Химическая сложность и проблемы получения ВТСП с заданными свойствами.
55. Особенности физических и сверхпроводящих свойств.
56. Фазовые соотношения и анализ перспектив разработки новых методов получения ВТСП-материалов.
57. Катионный и анионный состав и структура ВТСП.
58. Зависимость структуры твердого раствора от катионного и анионного состава.
59. Висмутовые ВТСП, ртутники. "Химическое давление" и геометрическая стабильность структуры ВТСП.
60. Методы синтеза ВТСП-фаз и получение ВТСП-материалов.
61. Диаграммы Time-Temperature-Transformation как метод контроля твердофазного распада ВТСП.
62. Криохимическая и RESS технология. Ленты, тонкие пленки, керамика и монокристаллы.

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

Контрольные работы по практике темам:

- Изучение температурных зависимостей магнитной восприимчивости парамагнетика, ферромагнетика, антиферромагнетика.
- Проникновение магнитного поля в сверхпроводник. Вихри.
- Зависимость периода осцилляций от внешнего магнитного поля.
- Обменное взаимодействие и его энергия. Косвенное обменное взаимодействие. Спин-орбитальное взаимодействие. Магнитное дипольное взаимодействие. Сверхтонкое взаимодействие. Взаимодействие Дзялошинского-Мория.
- Расчет уровней энергии ионов группы железа в кристаллическом поле лигандов. Расчет эффективного g-фактора.
- Теория фазовых переходов Ландау.



- Ферромагнитный резонанс (без учета затухания и с учетом затухания). Влияние размеров образца, анизотропии, доменной структуры на резонансную частоту.
- Магнитные вещества в переменных магнитных полях. Уравнение Ландау–Лифшица–Гильберта. Тензор магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости.
- Резонанс и релаксация доменных границ. Релаксационные процессы в ферромагнетиках. Магнитная вязкость. Предельная скорость движения границ.
- Продольная и поперечная восприимчивость, их температурная зависимость. Спин-флор и спин-флип переходы. Антиферромагнитные вещества.
- Ферриты со структурой граната, шпинели, гексагональные ферриты. Геликоидальные магнетики. Применение ферритов в технике.
- Слабый ферромагнетизм. Точка Морино. Взаимодействие Дзялошинского–Мория. Поведение слабых ферромагнетиков во внешнем магнитном поле.
- Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.
- Сверхпроводимость. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства.

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

### **7.3. Образец содержания экзаменационного билета (при наличии экзамена по дисциплине)**

#### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

1. Пара- и диамагнетизм свободных ионов.
2. Туннельный эффект в сверхпроводниках.
3. Вычислить теплоемкость и магнитную восприимчивость газа водорода при  $T \neq 0$ .

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 1

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1, 2	Организационно-учебная работа в аудитории	5
	Самостоятельная работа	5
	Контрольные работы по практике	20
	Контрольная работа по теоретическому материалу	30
<b>ИТОГО</b>		<b>60</b>
<b>Экзамен</b>		<b>40</b>
<b>Общий итог за семестр</b>		<b>100</b>

## 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 зачёт 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-м учебном корпусе (г. Донецк, пр. Театральный, д. 13). Для проведения лекционных 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 выполнения лабораторных работ требуется лаборатории со специализированным оборудованием, которое отвечает современным требованиям цифрового образования: имеет в наличии большое количество различных типов датчиков, которые подключаются к ноутбуку (планшету) и позволяют осуществлять сбор экспериментальных данных, графический анализ данных, решение математических уравнений, обработку экспериментальных данных.

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 общей физики и дидактики физики (ауд. 220).

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. Вонсовский С.В. Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро-, и ферримагнетиков. –М.: Наука, 1971. – 1032 с. – Текст: непосредственный.

2. Кринчик Г.С. Физика магнитных явлений. [Электронный ресурс]. –М.: МГУ, 1976. –367 с. – Текст: непосредственный.
3. Высокотемпературные сверхпроводники. /Под ред. Д. Нелсона, М. Уиттингема, Т. Джоржа. М.: Мир, 1988. – 400 с. – Текст: непосредственный.
4. В.В. Шмидт, Введение в физику сверхпроводников. –М.: Наука, 1982. – 396 с. – Текст: непосредственный.

#### 11.2. Дополнительная литература

5. Антонов, Ю.Ф. Сверхпроводниковые топологические электрические машины: монография / Ю.Ф. Антонов, Я.Б. Данилевич. – М.: Физматлит, 2009. – 366 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=67598> (дата обращения: 01.01.2023) – Режим доступа: регистрация. – Текст: электронный.
6. С.О. Гладков Сборник задач по теоретической и математической физике. – М.: Физматлит, 2010. –488 с. – Текст: непосредственный.

## 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).