

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по образовательной деятельности КФУ  
\_\_\_\_\_ Турилова Е.А.  
"\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**  
Современная криогеника

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика  
Профиль подготовки: Квантовые устройства и радиофотоника  
Квалификация выпускника: магистр  
Форма обучения: очное  
Язык обучения: русский  
Год начала обучения по образовательной программе: 2023

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): доцент, к.н. (доцент) Алакшин Е.М. (Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии, Высшая школа киберфизических систем и прикладной электроники), Egor.Alakshin@kpfu.ru

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-2	Способен определять сферу внедрения результатов прикладных научных исследований в области своей профессиональной деятельности;
ПК-3	Способностью применять на практике навыки составления и оформления научно-технической и проектной документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

основные физические законы, на которых базируется техника получения и измерения низких и сверхнизких температур

Должен уметь:

объяснить основы квантово-механической теории зарядовой, массовой и спиновой (магнитной) сверхтекучести

Должен владеть:

знаниями о специфических физических явлениях, которые происходят при низких и сверхнизких температурах

Должен демонстрировать способность и готовность:

работать со спецлитературой и в Интернете на английском языке

**2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.06.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.03 "Радиофизика (Квантовые устройства и радиофотоника)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 2 курсе в 3 семестре.

**3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) на 72 часа(ов).

Контактная работа - 26 часа(ов), в том числе лекции - 13 часа(ов), практические занятия - 13 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 46 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 3 семестре.

**4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)**

N	Разделы дисциплины / модуля	Се-местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само-стоя-тельная ра-бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи-ческие занятия, всего	Практи-ческие в эл. форме	Лабора-торные работы, всего	Лабора-торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Введение в физику низких температур	3	2	0	0	0	0	0	2

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
2.	Тема 2. Явления переноса при низких температурах	3	2	0	0	0	0	0	4
3.	Тема 3. Сверхпроводимость (низкотемпературная и высокотемпературная)	3	2	0	0	0	0	0	4
4.	Тема 4. Теплопроводность твердых тел при низких и сверхнизких температурах	3	2	0	0	0	0	0	4
5.	Тема 5. Электроны и жидкий гелий	3	2	0	0	0	0	0	2
6.	Тема 6. Сверхтекучесть. Основные свойства жидкого $^4\text{He}$ и $^3\text{He}$	3	2	0	0	0	0	0	4
7.	Тема 7. Свойства квантовых кристаллов. Теплоемкость, теплопроводность	3	2	0	0	0	0	0	4
8.	Тема 8. Гиперполяризованный гелий-3. Методы получения и основные свойства	3	2	0	0	0	0	0	4
9.	Тема 9. Спиновая (магнитная) сверхтекучесть	3	2	0	0	0	0	0	4
10.	Тема 10. Бозе-эйнштейновская конденсация	3	2	0	0	0	0	0	4
11.	Тема 11. Эффекты Джозефсона.	3	2	0	0	0	0	0	4
12.	Тема 12. Лазерное охлаждение	3	2	0	0	0	0	0	2
13.	Тема 13. Нейтронные звезды	3	4	0	0	0	0	0	2
	Итого		28	0	0	0	0	0	44

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### Тема 1. Введение в физику низких температур

Фазовые диаграммы реальных газов. Первая возможность ожижения газов. Ожижение кислорода Л. Кальтье и Р. Пикте. Ожижение газов методом каскадного охлаждения. Охлаждение по методу Джоуля-Томпсона и с помощью механического детандера. Практическая реализация различных методов охлаждения. Работы Камерлинг-Оннеса по ожижению гелия. Турбодетандер П.Л. Капицы.

##### Тема 2. Явления переноса при низких температурах

Средняя длина свободного пробега. Диффузия газов при низких температурах. Специфические квантовые явления, происходящие при самых низких температурах (явления сверхпроводимости и сверхтекучести). Электропроводность и теплопроводность металлов и сплавов при низких и сверхнизких температурах. Скачок Капицы.

##### Тема 3. Сверхпроводимость (низкотемпературная и высокотемпературная)

История открытия сверхпроводимости. Зависимость сопротивления сверхпроводника от температуры. Сверхпроводники первого и второго рода. Высокотемпературные сверхпроводники и их структура. Теория БКШ. История исследований высокотемпературной сверхпроводимости. Практическое использование сверхпроводников.

##### Тема 4. Теплопроводность твердых тел при низких и сверхнизких температурах

Механизмы теплопроводности твердых тел при низких и сверхнизких температурах. Роль фононов и электронов. Коэффициент теплопроводности. Фонон-фононное рассеяние. Рассеяние фононов на дефектах и примесях. Электрон-электронное рассеяние. Скачок Капицы на границе раздела твердое тело и жидких гелий. Магнитная связь на границе.

##### Тема 5. Электроны и жидкий гелий

Экспериментальные обнаружения вигнеровского кристалла. Его свойства. Схематическая установка для наблюдения левитирующих электронов. Схематическая установка для изучения движения электронов вдоль поверхности He. Резонансное поглощение при образовании вигнеровских кристаллов. Одномерный вигнеровский кристалл в углеродной нанотрубке. Свойства жидкого гелия.

#### **Тема 6. Сверхтекучесть. Основные свойства жидкого $^4\text{He}$ и $^3\text{He}$**

Фазовая диаграмма гелия-4. Фазовая диаграмма гелия-3. Охлаждение жидкостей посредством откачки их паров. Сверхтекучесть гелия-4. Последствия сверхтекучести гелия-4 для проведения экспериментов ниже лямбда-точки. Лямбда-точка. Понятие о сверхтекучести гелия-3. Двухжидкостная модель Ландау. Критические скорости.

#### **Тема 7. Свойства квантовых кристаллов. Теплоемкость, теплопроводность**

Квантовые кристаллы. Нулевые колебания. Обменные взаимодействия. Туннельный эффект. Необыкновенные свойства квантовых кристаллов, сравнение с обычными кристаллами. Теплопроводность и теплоемкость квантовых кристаллов. Параметр де Бюра. Экзотическая структура - так называемый квантовый "временной" кристалл.

#### **Тема 8. Гиперполяризованный гелий-3. Методы получения и основные свойства**

Гиперполяризованный гелий-3. Методы получения гиперполяризованного гелия-3. Основные свойства гиперполяризованного гелия-3. Использование гиперполяризованного гелия-3 в исследовании веществ и материалов. Применение гиперполяризованного гелия-3 в медицине. Гиперполяризация других благородных газов.

#### **Тема 9. Спиновая (магнитная) сверхтекучесть**

Магнитная сверхтекучесть и ее основные свойства. Обнаружение спиновой сверхтекучести. ЯМР в сверхтекучем  $^3\text{He}$ -В. Явления характерные для спиновой сверхтекучести (четвёртый звук, ограничение величины сверхтекучего переноса намагниченности - критический спиновый ток с образованием центров проскальзывания фазы, стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона, квантование циркуляции сверхтекучей скорости и образование квантованных спиновых вихрей). Явление спиновой сверхтекучести в антиферромагнетиках.

#### **Тема 10. Бозе-Эйнштейновская конденсация**

Бозе-Эйнштейновская конденсация атомов - новое состояние конденсированной материи. Плотность магнонов. Волновая функция. Спектр магнонов. Масса магнона. Температура БЭК. Энергия спин-орбитального взаимодействия в  $^3\text{He}$ -В. БЭК магнонов в присутствии градиента магнитного поля. Первое обнаружение Бозе-Эйнштейновской конденсации.

#### **Тема 11. Эффекты Джозефсона.**

Виды слабых связей. Туннельный переход. Сандвич. Нормальная пленка и сверхпроводящая пленка. Мостик Дайема. Мостик переменной толщины. Точечный контакт. Куперовская пара электронов. Эффект близости. Стационарный эффект Джозефсона. Нестационарный эффект Джозефсона. Явление джозефсоновской генерации. Вольтамперная характеристика джозефсоновского перехода.

#### **Тема 12. Лазерное охлаждение**

Доплеровское охлаждение. Лазерное антистоксово охлаждение твердых тел. Оптическая накачка. Доплеровский сдвиг. Метод зеемановского охлаждения. Магнито-оптическая ловушка. Времяпролётный метод измерения температуры при лазерном охлаждении. Сизифов эффект. Предел сизифового охлаждения. Холодные атомы.

#### **Тема 13. Нейтронные звезды**

Источники энергии звёзд. Строение звезды. Коллапс звезды. Туманность Кошачий глаз. Крабовидная туманность. Эволюция звёзд в зависимости от массы. Нейтронные звезды. Открытие нейтрона и его свойств. Нейтронизация вещества. Излучение пульсара. Нуклонная сверхтекучесть. Квантовые вихри. Устройство для вращения  $^3\text{He}$ . Имитация турбулентности.

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

#### **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

#### **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;
- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

#### **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

BEC - [http://en.wikipedia.org/wiki/Bose?Einstein\\_condensate](http://en.wikipedia.org/wiki/Bose%E2%80%90Einstein_condensate)

HTSC - [http://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature\\_superconductivity](http://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature_superconductivity)

Superconductivity - [http://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature\\_superconductivity](http://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature_superconductivity)

Superglass - <http://www.phys.ens.fr/~zamponi/archivio/talks/2009-02-24-firenze.pdf>

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	<p>В ходе лекций обучающимся рекомендуется:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вести конспектирование учебного материала;</li> <li>- задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.</li> </ul> <p>В рабочих конспектах желательно оставлять поля, на которых во внеаудиторное время можно сделать пометки из учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся, дополняющего материал прослушанной лекции, а также пометки, подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений.</p> <p>После прослушивания и конспектирования лекций по данной дисциплине рекомендуется самостоятельно повторить пройденный материал, ознакомиться с содержанием соответствующих глав основной и дополнительной литературы, внести соответствующие дополнения в конспект лекций. Особое внимание необходимо уделить вопросам для самостоятельного изучения, которые лектор задал на прошедшей лекции.</p>
практические занятия	<p>После получения темы научного доклада студенту необходимо получить у преподавателя необходимые источники на электронных носителях (флешках), ознакомиться с их содержанием и только после этого приступить к самостоятельной работе по поиску новой и актуальных данных по теме научного доклада. Здесь необходимо отметить, что большая часть информации содержится на англоязычных сайтах. Это означает, что требуется мобилизация практического владения английским языком. Все самостоятельно переведенные тексты должны быть собраны в отдельные файлы и систематизированы в дальнейшем.</p> <p>На каждом практическом занятии выступают два студента с заранее выбранной темой. В ходе выступления рекомендуется вести конспектирование научного доклада, задавать студенту уточняющие вопросы. Такой вид практических занятий способствует лучшему усвоению материала курса лекций.</p>
самостоятельная работа	<p>Здесь важно отметить, что она подразделяется на следующие виды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Работа с лекционным материалом (см. выше).</li> <li>Подготовка к научному докладу (см. ниже).</li> <li>Работа с аудиовизуальным материалом. Здесь предусмотрен просмотр научно-популярных фильмов по пройденным на лекциях темам. Такой инновационный вид самостоятельной работы способствует лучшему усвоению материала курса лекций.</li> </ul>
зачет	<p>Для подготовки к зачету по курсу "Физика низких температур" студенты должны использовать не только курс лекций и основную литературу, но и дополнительную литературу для выработки умения давать развернутые ответы на поставленные вопросы. За день или два до даты зачета проводится консультация. На консультации преподавателю можно задать возникшие в ходе подготовке к зачету вопросы</p>

**10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

**11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

**12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 03.04.03 "Радиофизика" и магистерской программе "Квантовые устройства и радиофотоника".



### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовые устройства и радиофотоника

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

#### Основная литература:

1. Беркин, А. Б. Физические основы вакуумной техники / Беркин А.Б., Василевский А.И. - Новосибирск: НГТУ, 2014. - 84 с.: ISBN 978-5-7782-2424-7. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/546221> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Байков, Ю. А. Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. - 4-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2020. - 296 с. - ISBN 978-5-00101-825-4. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/151595> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Белинский, А. В. Квантовые измерения: учебное пособие / А. В. Белинский. - 4-е изд. - Москва: Лаборатория знаний, 2020. - 185 с. - ISBN 978-5-00101-691-5. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/135495> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### Дополнительная литература:

1. Попов, А. Н. Вакуумная техника: учебное пособие / А.Н. Попов. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2018. - 167 с.: ил.; . - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-006031-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/538092> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Шешин, Е. П. Вакуумные технологии: учебное пособие / Е.П. Шешин. - Долгопрудный: Интеллект, 2009. - 504 с. ISBN 978-5-91559-012-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/538092> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
3. Петрушкин, С. В. Лазерное охлаждение твердых тел : монография / С. В. Петрушкин, В. В. Самарцев. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 224 с. - ISBN 5-9221-0552-3. - Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2700> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.06.01 Современная криогеника

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовые устройства и радиофотоника

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows