

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Институт физики

СОГЛАСОВАНО

Руководитель проекта
начальник ОНИРКС ЛНФ ОИЯИ
А.В. Белушкин

«25 » октября 2024 г.



УТВЕРЖДАЮ

Проректор
по образовательной деятельности
(подпись) Е. А. Турилова

«17 » октября 2024 г.



Дополнительная профессиональная программа
повышения квалификации
«Основы вакуумной и криогенной техники
для работы с современными магнитными системами»

Утверждена Учебно-методической комиссией Института физики КФУ
(протокол № 2 от «7» октября 2024 г.)

Председатель комиссии О. В. Недопекин

(подпись)

Директор Института физики

(подпись)

«7 » октября 2024 г.

М. Р. Гафуров
(инициалы, фамилия)

Казань – 2024

ксер

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ

1.1. Цель реализации программы

Целью программы является совершенствование и формирование новых компетенций у слушателей программы в рамках имеющейся квалификации:

ПК-1 – Знание и умение использовать нормативно-техническую и научно-исследовательскую документацию для получения сведений, необходимых для планирования эксперимента, правильной эксплуатации оборудования, соблюдения техники безопасности при работе с вакуумными, криогенными и магнитными установками.

ПК-2 – Способность ставить задачи в своей профессиональной сфере деятельности, решаемые с использованием вакуумной и криогенной техники в составе современных магнитных комплексов.

ПК-3 – Готовность осуществлять анализ, необходимые расчеты и интерпретацию полученных экспериментальных данных.

1.2. Планируемые результаты обучения

Основной целью освоения программы является получение знаний об экспериментальных методах и технике эксперимента с использованием сложных комплексов вакуумных, криогенных и магнитных установок. Подробно рассматриваются процессы создания низких давлений и температур, обеспечения заданных величин и распределения магнитных полей, методы контроля характеристик создаваемых условий, возможности применения данных установок для исследований различных видов объектов и трудности, возникающие в процессе их эксплуатации.

В результате освоения программы слушатель должен приобрести следующие знания и умения.

Слушатель должен знать:

законодательно установленные требования к эксплуатации вакуумных, криогенных и магнитных систем, принципы обеспечения и контроля безопасности при работе с таким оборудованием, уровни допустимых значений характеристик соответствующих физических факторов для персонала;

методы получения и контроля давления, температуры и магнитного поля в исследовательских установках;

назначение экспериментальных криомагнитных установок и их роль в получении практической пользы и фундаментальных знаний.

Слушатель должен уметь:

производить расчеты характеристик вакуумных, криогенных и магнитных систем;

правильно планировать эксперимент, определять необходимое оборудование, подбирать режим работы узлов комплексной установки в соответствии с решаемой задачей; осуществлять анализ и необходимые расчеты для интерпретации полученных экспериментальных данных.

1.3. Требования к уровню подготовки поступающего на обучение

К освоению программы допускаются лица, имеющие высшее образование по естественнонаучным и техническим направлениям (физика, химия, геология, нанотехнологии, материаловедение, энергетика, электро- и радиотехника и др.).

1.4. Программа разработана на основе квалификационных требований к должности научный сотрудник (раздел II Квалификационные характеристики должностей работников, занятых в научно-исследовательских учреждениях, конструкторских, технологических, проектных и изыскательских организациях Квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и других служащих, утв. постановлением Минтруда РФ от 21 августа 1998 г. № 37, с изменениями на 27 марта 2018 г.).

1.5. Форма обучения – очная.

2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ |

2.1. Учебный план

Наименование раздела, тем	Трудоем- кость, час	Аудиторные занятия			СРС, час	
		Всего, час.	в том числе			
			лекции	лабора- торные работы	прак. за- нятия, се- минары	
1	2	3	4	5	6	7
Тема 1. Основы вакуумной техники	24	18	4	14	0	6
Тема 2. Криоагенты, их свойства и получение. Теплообмен при низких температурах	8	6	4	2	0	2
Тема 3. Получение низких температур. Принципы и техника	11	8	4	4	0	3
Тема 4. Современные сверхпроводящие материалы	11	8	4	4	0	3
Тема 5. Сверхпроводящие магнитные системы	11	8	4	4	0	3
Тема 6. Возможности современных магнитных исследовательских комплексов	3	2	2	0	0	1
Всего	68	50	22	28	0	18
Итоговая аттестация	4	4	0	0	4	0
Итого	72	54	22	28	4	18

2.2. Календарный учебный график

Период обучения (дни, недели) ¹⁾	Наименование раздела
1-й день	Основы вакуумной техники
2-й день	Криоагенты, их свойства и получение. Теплообмен при низких температурах
3-й день	Получение сверхнизких температур. Принципы и техника
4-й день	Современные сверхпроводящие материалы
5-й день	Сверхпроводящие магнитные системы
6-й день	Возможности современных магнитных исследовательских комплексов
7-12-й дни	Лабораторный практикум
13-й день	Итоговая аттестация

¹⁾Даты обучения будут определены в расписании занятий при наборе группы на обучение

2.3. Рабочие программы разделов

№, наименование темы	Содержание лекций (количество часов)	Наименование лабораторных работ (количество часов)	Виды СРС (количество часов)
1	2	3	4
Тема 1. Основы вакуумной техники	Концепции вакуума и температуры. Краткая история вакуумной техники. Режимы откачки. Ламинарный поток. Турбулентный поток. Вакуумная техника и методы получения высокого и сверхвысокого вакуума. Пластинчато-роторный насос. Турбомолекулярный насос. Датчики давления. Методы получения предварительного и высокого вакуума. Способы измерения вакуума. Манометры. Состав вакуумной системы. Натекание, способы обнаружения и устранения течи. (4 ч.)	Выполняется пять работ из списка. Вакуумные соединения, пайка на высокотемпературный припой. Устройство и порядок работы современных вакуумных станций. Устройство и порядок работы с гелиевым течеискателем. Устройство и порядок работы с современным автоматизированным течеискателем. Работа с реальной вакуумной системой, порядок откачки, поиск течей современным гелиевым автоматизированным гелиевым течеискателем. Определение концентрации газообразной смеси He^3 - He^4 масс-спектрометрическим методом. (14 ч.)	Подготовка отчета по лабораторной работе (6 ч.)
Тема 2. Криоагенты. Теплообмен при низких температурах	Криогенные жидкости, методы их получения. Высоко-вакуумная изоляция. Процессы теплопередачи при низких температурах: теплопередача за счет теплопроводности остаточного газа, теплопередача за счет теплопроводности конструкционных материалов, теплопередача за счет излучения. (4 ч.)	Выполняется одна работа из списка. Определение коэффициента теплопроводности методом плоской пластины (или методом стационарного теплового потока). Определение температуры кипения жидкого азота. Определение скрытой теплоты испарения жидкого азота. (2 ч.)	Подготовка отчета по лабораторной работе (2 ч.)
Тема 3. Получение низких температур. Принципы и техника	Краткая история криогеники и криогенной техники. Основные термодинамические понятия и законы. Свойства твердых тел при низких температурах. Свойства жидкого гелия-4 и гелия-3. Получение низких и сверхнизких температур. Термометрия. Первичные и вторичные термометры. Рефрижератор	Калибровка угольного термометра Allen-Bradley. Устройство и работа с современным экспериментальным гелиевым криостатом. (4 ч.)	Подготовка отчета по лабораторной работе (3 ч.)

№, наименование темы	Содержание лекций (количество часов)	Наименование лабораторных работ (количество часов)	Виды СРС (количество часов)
1	2	3	4
	растворения. Типы криостатов. Гелиевые криостаты с азотным объемом и без него. Использование низкотемпературных криокулеров. Основные области применения низкотемпературной техники в физическом эксперименте. Низкотемпературное оборудование для широкого круга задач. (4 ч.)		
Тема 4. Современные сверхпроводящие материалы	Сверхпроводимость. Современные сверхпроводящие материалы и их основные свойства. Области применения. Низкотемпературные сверхпроводники. Высокотемпературные сверхпроводники. ВТСП ленты первого и второго поколений (4 ч.)	Определение температуры перехода в сверхпроводящее состояние высокотемпературного сверхпроводника (4 ч.)	Подготовка отчета по лабораторным работам (3 ч.)
Тема 5. Сверхпроводящие магнитные системы	Магнитное поле, источники магнитных полей. Сверхпроводящие магнитные системы. Применение магнитных полей в синхротронных исследованиях (4 ч.)	Выполняется одна работа из списка. Изучение частотной зависимости магнитной восприимчивости. Изучение процессов намагничивания и перемагничивания магнетиков. Электрические свойства ферритов. Измерение индукции магнитного поля катушки индуктивности без сердечника. Измерение силы, действующей на проводник с током в однородном магнитном поле электромагнита. (4 ч.)	Подготовка отчета по лабораторной работе (3 ч.)
Тема 6. Возможности современных магнитных исследовательских комплексов на примере конкретных установок, проводимых на них исследований и полученных результатов (2 ч.)			Повтор теоретического материала (1 ч.)

2.4. Оценка качества освоения программы (формы аттестации, оценочные и методические материалы)

2.4.1. Форма(ы) промежуточной и итоговой аттестации

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде приема отчета по выполненным лабораторным работам.

Итоговая аттестация – экзамен в форме тестирования по темам всего пройденного материала.

2.4.2. Оценочные материалы

Отчет по лабораторной работе сдается преподавателю в распечатанном виде.

При приёме отчёта учитываются:

1) правильность оформления отчета (содержание, правильность выполнения работы и полученных результатов);

2) ответы на устные вопросы по теоретической и практической части.

Отчет должен предваряться называнием работы, сведениями о слушателе (ФИО, организация) и содержать следующую информацию:

1) формулировку цели и задач работы, описание порядка действий (допускается вставка рисунков, снимков);

2) анализ, обработку (выполнение расчетов), систематизацию полученных данных (таблица измеренных и рассчитанных величин, графики рассматриваемых зависимостей);

3) интерпретацию полученных результатов, сопоставление с табличными данными, формулировку заключения (результаты и выводы).

При подготовке отчета следует проанализировать полученные результаты, основываясь на теоретических знаниях, освоенных перед выполнением лабораторной работы. В таблицах и на графиках необходимо приводить значения с указанием погрешности. При анализе полученных данных привести значения измеряемых величин, взятые из справочных изданий.

Примеры вопросов экзаменационного теста

Слушателю необходимо выбрать один правильный ответ из предложенных.

Вопрос	Ответ №1	Ответ №2	Ответ №3
Какое предельное остаточное давление можно получить с использованием спирального насоса	10^{-4} мбар	10^{-2} мбар	10^{-1} мбар
Толщина скин слоя с увеличением частоты	значительно уменьшается	обращается в нуль	значительно увеличивается
Чем высокий вакуум отличается от низкого и среднего вакуума	Длина свободного пробега молекул значительно меньше характерного размера среды	Длина свободного пробега молекул значительно больше характерного размера среды	Длина свободного пробега молекул сопоставима характерного размера среды

Оценка результатов

Выполнение каждой лабораторной работы оценивается исходя из максимально возможной оценки 5 баллов. Обучающимся предлагается выполнить 8 лабораторных работ. Перечень выполняемых работ определяется преподавателем или инженером лаборатории. Таким образом, за лабораторный блок слушатель может получить максимальную оценку 40 баллов.

Критерии оценивания лабораторных работ

Оценка, баллы	Условие
5	задание выполнено полностью и правильно, выполнены все требования к отчету
4	в результате выполнения работы или подготовки данных для отчета совершено 2-3 несущественные ошибки, исправленные самостоятельно после замечания преподавателя; в итоге задание выполнено полностью и правильно, выполнены все требования к отчету
3	полностью выполнена экспериментальная часть работы, представлена таблица измеренных величин, но последующие действия (расчеты, анализ, заключение) выполнены не полностью либо выполнены с существенными ошибками
2	полностью выполнена экспериментальная часть работы, но не выполнены последующие действия
1	слушатель выполнил экспериментальную часть работы без предоставления каких-либо данных
0	к выполнению работы слушатель не приступал

К экзамену допускаются обучающиеся, набравшие не менее 22 баллов за лабораторный блок. Тестирование содержит 30 вопросов, каждый правильный ответ оценивается в 2 балла. То есть максимальная возможная оценка за тестирование составляет 60 баллов.

Программа считается освоенной при наборе слушателем не менее 50 баллов по результатам итоговой аттестации. В случае набора менее 50 баллов слушателю предоставляется возможность повторно пройти итоговое тестирование для набора достаточного количества баллов для успешной аттестации. Всего на прохождение тестирования предоставляется три попытки в течение пяти дней, следующих за последним днем обучения.

В случае неудовлетворительных результатов итоговой аттестации слушатель может пройти повторную аттестацию только при повторном обучении по данной программе.

Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
баллы	вербальный аналог
52–60	отлично
43–51	хорошо
34–42	удовлетворительно
0–33	неудовлетворительно

3. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

3.1. Материально-технические условия

Наименование специализированных учебных помещений	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
—	СРС	Полный комплект литературы и конспектов лекций, необходимый для изучения материала. Доступ к электронным библиотечным ресурсам через сеть КФУ, доступ к библиотечным фондам КФУ.
Типовые лекционные аудитории Института физики	Лекции	Комплект мебели: не менее 30 посадочных мест. Комплект мебели для преподавателя: 1 шт. Интерактивная трибуна преподавателя: 1 шт. Проектор с экраном: 1 шт. Демонстрационное оборудование: проектор, компьютер, подключенный к сети Интернет. Меловая доска.
Лаборатория физики магнитных материалов и гетероструктур Института физики КФУ	Лабораторные	Комплект мебели: не менее 16 посадочных мест. Комплект мебели для преподавателя: 1 шт. Комплект мебели для хранения учебных материалов и оборудования: 2 шт. Специализированный ноутбук для использования в лабораторных условиях LD(250Гб,HDD,2Гб,ОЗУ): 8 шт. Рулонные светонепроницаемые шторы для защиты оборудования от солнечного перегрева: 1 шт. Сосуд Дьюара: 1 шт. Измеритель иммитанса Е7-20: 1 шт. Блок питания: 1 шт. Лабораторные установки: Определение температуры перехода в сверхпроводящее состояние высокотемпературного сверхпроводника: 1 шт. Изучение частотной зависимости магнитной восприимчивости: 1 шт. Изучение процессов намагничивания и перемагничивания магнетиков: 1 шт. Электрические свойства ферритов: 1 шт.
Лаборатория магнитно-резонансной спектроскопии Института физики КФУ	Лабораторные	Комплект мебели: не менее 16 посадочных мест. Комплект мебели для преподавателя: 1 шт. Комплект мебели для инженера: 1 шт. Специализированный ноутбук для использования в лабораторных условиях: не менее 2 шт. Современный экспериментальный гелиевый криостат LH-311-1.5K-MRI производства Cryotrade engineering: 1 шт. Современный автоматизированный гелиевый течеискатель Pfeiffer Vacuum HLT 560: 1 шт. Гелиевый течеискатель ПТИ-10: 1 шт.

Наименование специализированных учебных помещений	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
		<p>Современная автоматизированная вакуумная станция Pfeiffer Vacuum Hi Cube: 1 шт.</p> <p>Вакуумная система - система хранения газообразного Не-3: 1 шт.</p> <p>Жидкий азот: 100 литров</p> <p>Газовая горелка: 1 шт.</p> <p>Высокотемпературный припой: 100 г.</p> <p>Высокотемпературный флюс ПВ209-Х: 100 г.</p> <p>Вакуумные фитинги: комплект.</p> <p>Медные трубы: 10 м.</p>
Лаборатории общего физического практикума Института физики КФУ	Лабораторные	<p>Комплект мебели: не менее 16 посадочных мест.</p> <p>Комплект мебели для преподавателя: 1 шт.</p> <p>Комплект мебели для инженера: 1 шт.</p> <p>Специализированный ноутбук для использования в лабораторных условиях: не менее 2 шт.</p> <p>Сосуд Дьюара: 1 шт.</p> <p>Термос с жидким азотом: 1 шт.</p> <p>Форвакуумный насос или форвакуумная откачная система со спиральным насосом НВСП-35: 1 шт.</p> <p>Отградуированный термопреобразователь сопротивления с блоком питания: 1 шт.</p> <p>Стрелочный вакуумметр: 1 шт.</p> <p>Баллоны со сжатым газом: гелий – 1 шт., углекислота – 1 шт., азот – 1 шт.</p> <p>Штативный стержень, 47 см: 1 шт.</p> <p>Воздушный дроссель для наблюдения эффекта Джоуля –Томсона: 1 шт.</p> <p>Сенсор - CASSY 2: 1 шт.</p> <p>Устройство измерения температуры (NiCr-Ni, NTC): 1 шт.</p> <p>Датчик давления S, ±2000 ГПа: 1 шт.</p> <p>Газовый редуктор (гелий): 1 шт.</p> <p>Газовый редуктор (азот): 1 шт.</p> <p>Стальной ключ 30/32 мм, для газовых баллонов: 1 шт.</p> <p>Термопара NiCr-Ni: 1 шт.</p> <p>Вакуумная резиновая подводка, Ø 8 мм: 1 шт.</p> <p>Узколучевая трубка: 1 шт.</p> <p>Катушки Гельмгольца с подставкой: 1 шт.</p> <p>Мультиметр LDanalog 20: 2 шт.</p> <p>Источник питания электронных трубок 0–500 В: 1 шт.</p> <p>Источник питания постоянного тока 0–16 В, 0–5 А: 1 шт.</p> <p>Безопасные соединительные провода черные: 100 см – 7 шт., 50 см – 3 шт., 25 см – 3 шт.</p> <p>Mobile-CASSY: 1 шт.</p> <p>Аксиальный В-Сенсор S: 1 шт.</p> <p>Кабель-удлинитель, 15-полюсной: 1 шт.</p> <p>Измерительный модуль для ВТСП: 1 шт.</p>

Наименование специализированных учебных помещений	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
		Рентгеновский аппарат марки LD Didactic: 1 шт. Лабораторные установки: Определение коэффициента теплопроводности методом плоской пластины (или методом стационарного теплового потока): 1шт. Измерение индукции магнитного поля катушки индуктивности без сердечника: 1 шт. Измерение силы, действующей на проводник с током в однородном магнитном поле электромагнита: 1 шт. Получение тройной точки азота: 1 шт.

3.2. Учебно-методическое и информационное обеспечение

Основные источники

1. Беркин, А. Б. Физические основы вакуумной техники: учебное пособие / А.Б. Беркин, А.И. Василевский. - Новосибирск: НГТУ, 2014. - 84 с. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/546221> (дата обращения: 25.03.2024). - Режим доступа: по подписке.
2. Хабланян, М. Х. Вакуумная техника. Оборудование, проектирование, технологии, эксплуатация: учебное пособие / М. Х. Хабланян, Г. Л. Саксаганский, А. В. Бурмистров. - Казань: КНИТУ, [б. г.]. - Часть 1: Инженерно-физические основы: - 2013. - 232 с. - ISBN 978-5-7882-1447-4. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/73226> (дата обращения: 26.09.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Хабланян, М. Х. Вакуумная техника. Оборудование, проектирование, технологии, эксплуатация: учебное пособие: в 2 частях / М. Х. Хабланян, Г. Л. Саксаганский, А. В. Бурмистров. - Казань: КНИТУ, [б. г.]. - Часть 2: Вакуумные насосы. - 2016. - 300 с. - ISBN 978-5-7882-1977-6. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/101870> (дата обращения: 26.09.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Ярмонов, А. Н. Вакуумные технологии: учебное пособие / А. Н. Ярмонов. - Пермь: ПНИПУ, 2015. - 306 с. - ISBN 978-5-398-01449-5. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/160773> (дата обращения: 10.09.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Ярмонов, А. Н. Основы вакуумной техники, технологии: учебное пособие / А. Н. Ярмонов. - Пермь: ПНИПУ, 2010. - 174 с. - ISBN 978-5-398-00487-8. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/160774> (дата обращения: 10.09.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Новиков, И. И. Термодинамика: учебное пособие / И. И. Новиков. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 592 с. - ISBN 978-5-8114-0987-7. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/210323> (дата обращения: 25.03.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Иродов, И. Е. Физика макросистем. Основные законы: учебное пособие / И. Е. Иродов. - 8-е изд. - Москва: Лаборатория знаний, 2020. - 210 с. - ISBN 978-5-00101-826-1. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/135536> (дата обращения: 27.09.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
8. Кикоин, А. К. Молекулярная физика: учебное пособие / А. К. Кикоин, И. К. Кикоин. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 480 с. - ISBN 978-5-8114-0737-8.

- Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/210119> (дата обращения: 27.09.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
- 9. Матвеев А. Н. Молекулярная физика: учебное пособие: Издание 4-е, стереотипное. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2010. – 368 с.
- 10. Савельев, И. В. Курс общей физики: учебное пособие для вузов: в 5 томах / И. В. Савельев. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – Том 3: Молекулярная физика и термодинамика. – 2022. – 212 с. – ISBN 978-5-8114-9197-1. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/187739> (дата обращения: 25.03.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
- 11. Вентура, Г. Искусство криогеники. Низкотемпературная техника в физическом эксперименте, промышленных и аэрокосмических приложениях: учебно-справочное руководство / Г. Вентура, Л. Ризегари. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 336 с. – ISBN 978-5-91559-040-2. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1117879> (дата обращения: 26.09.2024). – Режим доступа: по подписке.
- 12. Сверхпроводимость / Гинзбург В. Л. и др. – М.: Педагогика, 1990. – 112 с.
- 13. Еремин М. В. Модели электронного строения высокотемпературных сверхпроводников / М. В. Еремин // Наноструктуры. Математическая физика и моделирование. – 2009. – Т.1. – №2. – С. 59-79. – URL: http://kpfu.ru/staff_files/F1078428395/Nano_2009_Eremin.pdf (дата обращения: 10.09.2024). – Режим доступа: свободный.
- 14. Шмидт В. В. Введение в физику сверхпроводников: Изд. 2-е, испр. и доп. В. В. Рязановым, М. В. Фейгельманом – М.: МЦНМО, 2000. – 397 с.
- 15. Петров, Ю. В. Основы физики конденсированного состояния: Учебное пособие / Ю. В. Петров. – Долгопрудный: Интеллект, 2013. – 216 с. ISBN 978-5-91559-110-2, 500 экз. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/484938> (дата обращения: 27.09.2024). – Режим доступа: по подписке.
- 16. Брандт, Н. Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния: учебное пособие / Н. Б. Брандт, В. А. Кульбачинский. – 3-е изд. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 632 с. – ISBN 978-5-9221-1209-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/59598> (дата обращения: 27.09.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
- 17. Иродов, И. Е. Электромагнетизм. Основные законы: учебное пособие / И. Е. Иродов; художник Н. А. Лозинская. – 12-е изд. – Москва: Лаборатория знаний, 2021. – 322 с. – ISBN 978-5-93208-520-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/172251> (дата обращения: 27.09.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
- 18. Савельев, И. В. Курс общей физики. В 3 томах. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: учебник для вузов / И. В. Савельев. – 18-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 500 с. – ISBN 978-5-507-51528-8. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/422636> (дата обращения: 27.09.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
- 19. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие / Д. В. Сивухин. – 5-е изд., стер. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. – Том 3: Электричество – 2009. – 656 с. – ISBN 978-5-9221-0673-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/2317> (дата обращения: 27.09.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
- 20. Боровик, Е. С. Лекции по магнетизму: учебное пособие / Е. С. Боровик, В. В. Еременко, А. С. Мильнер. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 512 с. – ISBN 5-9221-0577-9. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

– URL: <https://e.lanbook.com/book/2118> (дата обращения: 27.09.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

21. Крупичка С. Физика ферритов и родственных им магнитных окислов: перевод с немецкого. В 2-х томах. Т. 2 / Под ред. Пахомов А. С. – Москва: Мир, 1976. – 504 с.

Дополнительные источники

1. Вакуумная техника: справочник / К. Е. Демихов, Ю. В. Панфилов, Н. К. Никулин, И. В. Автономова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2009. – 590 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/723> (дата обращения: 25.09.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Иванов, И. Вакуумный практикум: учебно-методическое пособие / И. Иванов. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2009. – 56 с. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/553467> (дата обращения: 25.03.2024). – Режим доступа: по подписке.

3. Клочков, А. В. Гелиевое течеискание в криогенной технике: основы метода: учебно-методическое пособие / А. В. Клочков, М. С. Тагиров – Казань: Институт физики КФУ, 2016. – 48 с. – URL: https://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F_29939639/Klochkov_Tagirov_Osnovy_Metodichka.pdf (дата обращения: 26.09.2024). – Режим доступа: свободный.

4. Клочков, А. В. Современные методы контроля криогенных систем на герметичность: учебно-методическое пособие / А. В. Клочков, М. С. Тагиров – Казань: Институт физики КФУ, 2016. – 48 с. – URL: https://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F200683170/Klochkov_Tagirov_Sovremennye_Metody_Metodichka.pdf (дата обращения: 26.09.2024). – Режим доступа: свободный.

5. 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/194315> (дата обращения: 26.09.2024). – Режим доступа: по подписке.

6. Зисман, Г. А. Курс общей физики. В 3 томах. Том 1. Механика. Молекулярная физика. Колебания и волны: учебное пособие для вузов / Г. А. Зисман, О. М. Тодес. – 10-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 340 с. – ISBN 978-5-507-47026-6. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/320777> (дата обращения: 25.03.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Фриш, С. Э. Курс общей физики: учебник: в 3 томах / С. Э. Фриш, А. В. Тиморева. – 13-е изд. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – Том 1: Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны. – 2022. – 480 с. – ISBN 978-5-8114-0663-0. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/210377> (дата обращения: 25.03.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

8. Определение коэффициента теплопроводности методом плоской пластины (или методом стационарного теплового потока): руководство к выполнению лабораторной работы. – Казань: Институт физики КФУ, 2013. – 11 с. – URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F705081095/221_Naletov_Salikhova_220311_lab.pdf (дата обращения: 10.09.2024). – Режим доступа: свободный.

9. Батулин, Р. Г. Высокотемпературная сверхпроводимость. Элементы теории, руководство и задания лабораторным работам: учебно-методическое пособие для студентов Института физики / Р. Г. Батулин, И. В. Романова, А. С. Семакин, А. Г. Киямов. Казань: К(П)ФУ, 2020. – 33 с. – URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F475544732/Metodichka_VTSP_2020.pdf (дата обращения: 10.09.2024). – Режим доступа: свободный.

10. Парфенов В. В., Определение температуры перехода в сверхпроводящее состояние высокотемпературного сверхпроводника: методическое пособие к лабораторным работам / В. В. Парфенов, Н. Х. Усенинов. – Казань: Казан. ун-т, 2016. – 18 с. – URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F1698413770/P7261.Sverhprovodimost5w._1_.pdf (дата обращения: 10.09.2024). – Режим доступа: свободный.
11. Электрические машины и устройства на основе массивных высокотемпературных сверхпроводников: учебное пособие / под редакцией Л. К. Ковалева [и др.]. – Москва: Физматлит, 2010. – 396 с. – ISBN 978-5-9221-1238-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/59571> (дата обращения: 27.09.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
12. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела: перевод с английского / Под ред. Гусев А. А. – Москва: Наука, 1978. – 792 с.
13. Измерение индукции магнитного поля катушки индуктивности без сердечника: руководство к выполнению лабораторной работы. – Казань: Институт физики КФУ, 2013. – 4 с. – URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F1183988441/332.pdf> (дата обращения: 10.09.2024). – Режим доступа: свободный.
14. Измерение силы, действующей на проводник с током в однородном магнитном поле электромагнита: руководство к выполнению лабораторной работы. – Казань: Институт физики КФУ, 2013. – 4 с. – URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F1740179220/335.pdf> (дата обращения: 10.09.2024). – Режим доступа: свободный.
15. Парфенов В.В. Изучение частотной зависимости магнитной восприимчивости: методическое пособие к лабораторной работе / В. В. Парфенов, Н. В. Болтакова. – Казань: Казан. ун-т, 2014. – 15 с. – URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F1075538350/Parf_Freq2.pdf (дата обращения: 10.09.2024). – Режим доступа: свободный.
16. Парфенов В. В. Изучение процессов намагничивания и перемагничивания магнетиков: методическое пособие к лабораторной работе / В. В. Парфенов, Н. В. Болтакова. – Казань: Казан. ун-т, 2014. – Казань. 2014. – 34 с. – URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F1892864981/Processy.namagnichivaniya_V1_1_.pdf (дата обращения: 10.09.2024). – Режим доступа: свободный.
17. Парфенов В. В. Электрические свойства ферритов: методическое пособие к лабораторным работам / В. В. Парфенов, Н. В. Болтакова. – Казань: Казан. ун-т, 2014. – Казань. 2014. – 34 с. – URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F_2010751278/Elektricheskie.svojstva.ferritov_kaf.FTT.pdf (дата обращения: 10.09.2024). – Режим доступа: свободный.

3.3. Кадровые условия

Кадровое обеспечение программы осуществляется профессорско-преподавательский состав из числа докторов и кандидатов наук и высококвалифицированных специалистов Казанского федерального университета.

4. РУКОВОДИТЕЛЬ И АВТОР(Ы) ПРОГРАММЫ

Руководитель: Гафуров Марат Ревгерович, д-р физ.-мат. наук, директор Института физики КФУ.

Авторы:

Батулин Руслан Германович, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры общей физики Института физики КФУ;

Болтакова Наталья Викторовна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры ядерно-физическогоматериаловедения Института физики КФУ;

Клочков А. В., канд. физ.-мат. наук, с. н. с. НИЛ «Многофункциональные наноструктуры и кристаллы фотоники для решения фундаментальных задач биомедицины и материаловедения» Института физики КФУ.