

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
Т. Б. Ашипов
(подпись)
« 11 » 2021 г.



**Дополнительная профессиональная программа
повышения квалификации**

**Проведение синхротронных и нейтронных исследований
для специалистов естественнонаучного профиля**

Утверждена Учебно-методической комиссией Института физики КФУ
(протокол № 3 от «11» ноября 2021 г.)

Председатель комиссии Недопекин О. В.

(подпись)

Директор ИФ

(подпись)

М. Р. Гафуров
(инициалы, фамилия)

« 11 » ноября 2021 г.

Казань – 2021

Гафуров

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 источниками ионизирующего излучения.

ПК-2 – Готовность к проведению исследований с использованием синхротронных и нейтронных источников в профессиональной сфере деятельности.

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

1.2. Планируемые результаты обучения

Основными целями освоения дисциплины являются получение знаний о синхротронном и нейтронном излучениях, технике получения и сферам их применения. Подробно рассматриваются процессы образования изучаемых типов излучений и их регистрация, возможности применения данных излучений для исследования различных видов объектов и трудности, возникающие в процессе регистрации.

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

Слушатель должен знать:

законодательно установленные требования к эксплуатации источников ионизирующего излучения, принципы обеспечения и контроля радиационной безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения, способы защиты от различных видов ионизирующего излучения, уровни допустимых доз для персонала;

типы источников синхротронного и нейтронного излучения, общие принципы их устройства и функционирования;

какого рода информацию об исследуемом объекте можно получить с помощью синхротронного и нейтронного излучений, границы применимости данных методов, требования к исследуемым объектам.

Слушатель должен уметь:

определять тип необходимой защиты при работе с различными источниками ионизирующего излучения, оценивать дозиметрические характеристики поля излучения;

правильно планировать эксперимент на установках синхротронного и нейтронного излучения, подбирать режимы эксперимента для решения конкретной задачи;

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, содержащихся в Квалификационном справочнике 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	лабораторные работы	прак. заня- тия, семина- ры	
1	2	3	4	5	6	7
Тема 1. Введение. Что такое синхротронное излучение	8	6	2	4	0	2
Тема 2. Вакуумная и низкотемпературная техника в синхротронных и нейтронных установках	8	6	2	4	0	2
Тема 3. Сверхпроводящие магнитные системы	8	6	2	4	0	2
Тема 4. Введение в физику твердого тела. Фундаментальные основы рентгеноструктурного анализа	8	6	2	4	0	2
Тема 5. Основы взаимодействия излучения с веществом	8	6	2	4	0	2
Тема 6. Методы диагностики материалов различных масштабов с использованием синхротронного излучения	8	6	2	4	0	2
Тема 7. Радиационная безопасность при работе с источниками ионизирующего излучения	5	4	4	0	0	1
Тема 8. EXAFS и XANES спектроскопия. Физические основы и применение	4	2	2	0	0	2
Тема 9. Нейтроны, свойства. Источники нейтронов. Нейтронные пучки.	8	6	2	4	0	2
Тема 10. Взаимодействие нейтронов с веществом. Нейтронная дифрактометрия и спектроскопия	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 день	Введение. Что такое синхротронное излучение
2 день	Вакуумная и низкотемпературная техника в синхротронных и нейтронных установках
3 день	Сверхпроводящие магнитные системы
4 день	Введение в физику твердого тела.
5 день	Фундаментальные основы рентгеноструктурного анализа
6 день	Основы взаимодействия излучения с веществом
7 день	Методы диагностики материалов различных масштабов с использованием синхротронного излучения
8 день	Радиационная безопасность при работе с источниками ионизирующего излучения
9 день	EXAFS и XANES спектроскопия. Физические основы и применение
10 день	Нейтроны, свойства. Источники нейтронов. Нейтронные пучки.
11 день	Нейтроны, свойства. Источники нейтронов. Нейтронные пучки.
12 день	Взаимодействие нейтронов с веществом. Нейтронная дифрактометрия и спектроскопия
13 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. Введение. Что такое синхротронное излучение	Синхротронное излучение, сравнение с рентгеновским излучением. Основные свойства СИ. Энергетический спектр. Источники СИ, устройство, примеры (2 ч.)	Исследование линейно-поляризованного света и проверка закона Малюса (4 ч.)	Подготовка отчета по лабораторной работе (2 ч.)
Тема 2. Вакуумная и низкотемпературная техника в синхротронных и нейтронных установках	Способы получения низких температур. Жидкие хладагенты, основные свойства. Криостаты, принципы криостатирования. Криокулеры. Вакуум, критерий вакуума. Вакуумная техника и арматура. (2 ч.)	Получение тройной точки азота (2 ч.) Исследование эффекта Джоуля-Томсона для различных газов (2 ч.)	Подготовка отчета по лабораторной работе (2 ч.)
Тема 3. Сверхпроводящие магнитные системы	Магнитное поле, источники магнитных полей. Сверхпроводимость. Современные сверхпроводящие материалы и основные свойства. Применение магнитных полей в СИ и нейтронных методах. (2 ч.)	Выполняется одна из двух работ. Высокотемпературная сверхпроводимость (4 ч.) Определение удельного заряда электрона (4 ч.)	Подготовка отчета по лабораторной работе (2 ч.)

№, наименование темы	Содержание лекций (количество часов)	Наименование лабораторных работ (количество часов)	Виды СРС (количество часов)
1	2	3	4
Тема 4. Введение в физику твердого тела. Фундаментальные основы рентгеноструктурного анализа	Кристаллические структуры, прямая и обратная решетки. Зона Бриллюэна. Элементарные возбуждения, квазичастицы. (2 ч.)	Выполняется одна из двух работ. Отражение Брэгга: определение постоянной решетки монокристалла (Cu, Mo анод) (4 ч.) Определение постоянной решетки кубической сингонии методом Дебая-Шерера (4 ч.)	Подготовка отчета по лабораторным работам (2 ч.)
Тема 5. Основы взаимодействия излучения с веществом	Принципы рентгеноструктурного анализа. Элементарные процессы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Сечение поглощения, возбужденное состояние. Рентгеновская дифракция, рентгеновская спектроскопия поглощения. (2 ч.)	Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Рентгеноструктурный анализ (4 ч.)	Подготовка отчета по лабораторной работе (2 ч.)
Тема 6. Методы диагностики материалов различных масштабов с использованием синхротронного излучения	Малоугловое рассеяние для исследования наноструктур. Фотоэлектронная спектроскопия. Лазер на свободных электронах. (2 ч.)	Закон Мозли и определение постоянной Ридберга (4 ч.)	Подготовка отчета по лабораторной работе (2 ч.)
Тема 7. Радиационная безопасность при работе с источниками ионизирующего излучения	Закон радиоактивного превращения. Активность радиоактивного вещества. Дозиметрические характеристики поля излучения. Требования к ограничению техногенного облучения в контролируемых условиях. Радиационный контроль при работе с источниками ионизирующих излучений. Методы и приборы радиационного контроля. Способы защиты от ионизирующих излучений. Расчет защиты от ионизирующего излучения (4 ч.)		Повторение пройденного материала (1 ч.)
Тема 8. EXAFS и XANES спектроскопия. Физические основы и применение	Физические принципы методов EXAFS и XANES и примеры их применения. (2 ч.)		Повторение пройденного материала (2 ч.)

№, наименование темы	Содержание лекций (количество часов)	Наименование лабораторных работ (количество часов)	Виды СРС (количество часов)
1	2	3	4
Тема 9. Нейтроны, свойства. Источники нейтронов. Нейтронные пучки.	Нейтроны, свойства. Общие понятия нейтронных методов. Источники нейтронов. Детекторы нейтронов. Нейтронные пучки, способы формирования, характеристики. (2 ч.)	Нейтронно-активационный анализ (4 ч.)	Подготовка отчета по лабораторной работе (2 ч.)
Тема 10. Взаимодействие нейтронов с веществом. Нейтронная дифрактометрия и спектроскопия	Процессы взаимодействия нейтронов с веществом. Принципы нейтронной дифрактометрии. Магнитная дифракция нейтронов. Принципы нейтронной спектроскопии, основы техники. Исследование фононных состояний (2 ч.)		Повторение пройденного 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.

Промежуточная 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 приеме отчета 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 названием 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 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
Необходимой причиной образования характеристического рентгеновского излучения является	образование вакансий в валентных электронных оболочках атома	торможение ускоренных электронов из катода в материале анода	образование вакансий во внутренних электронных оболочках атома
В чем отличие между взаимодействием нейтронов и рентгеновского излучения для элементов начала, середины и конца периодической системы Менделеева?	Рентгеновское излучение более чувствительно к тяжелым элементам, а нейтроны – к легким.	Рентгеновское излучение более чувствительно к легким элементам, а нейтроны, в основном, – к тяжелым.	Эффективность рассеяния рентгеновского излучения определяется зарядом ядра, а для нейтронного рассеяния различия между большинством элементов невелики и не имеют простой зависимости от атомного номера.

Оценка результатов

Итоговая оценка (максимум 100 баллов) складывается из оценки, полученной по итогам текущего контроля знаний (максимум 40 баллов) и в результате промежуточного тестирования (максимум 60 баллов).

Выполнение каждой лабораторной работы оценивается исходя из максимально возможной оценки 5 баллов. Обучающимся предлагается выполнить 8 лабораторных работ. 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

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
90–100	отлично
70–89	хорошо
50–69	удовлетворительно
0–49	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 практикума по ядерной физике Института физики	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 (250 Гб ,HDD, 2 Гб, ОЗУ): 8 шт. Дозиметр ДРГЗ-03: 1 шт. Блок питания: 1 шт. Лабораторные установки: Ослабление альфа-, бета- и гамма - излучения веществом: 1 шт. Характеристики радиоактивного распада: 1 шт. Нейтронная активация: 1 шт.

Наименование специализированных учебных помещений	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
Лаборатории общего физического практикума Института физики	Лабораторные	<p>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. Сосуд Дьюара: 1 шт. Термос с жидким азотом: 1 шт. Форвакуумный насос или форвакуумная откачная система со спиральным насосом НВСП-35: 1 шт. Отградуированный термопреобразователь сопротивления с блоком питания: 1 шт. Стрелочный вакуумметр: 1 шт. Баллоны со сжатым газом: гелий – 1 шт., углекислота – 1 шт., азот – 1 шт. Штативный стержень, 47 см: 1 шт. Воздушный дроссель для наблюдения эффекта Джоуля – Томсона: 1 шт. Сенсор - CASSY 2: 1 шт. Устройство измерения температуры (NiCr-Ni, NTC): 1 шт. Датчик давления S, ±2000 ГПа: 1 шт. Газовый редуктор (гелий): 1 шт. Газовый редуктор (азот): 1 шт. Стальной ключ 30/32 мм, для газовых баллонов: 1 шт. Термопара NiCr-Ni: 1 шт. Вакуумная резиновая подводка, Ø 8 мм: 1 шт. Узколучевая трубка: 1 шт. Катушки Гельмгольца с подставкой: 1 шт. Мультиметр LD analog 20: 2 шт. Источник питания электронных трубок 0–500 В: 1 шт. Источник питания постоянного тока 0–16 В, 0–5 А: 1 шт. Безопасные соединительные провода черные: 100 см – 7 шт., 50 см – 3 шт., 25 см – 3 шт. Mobile-CASSY: 1 шт. Аксиальный В-Сенсор S: 1 шт. Кабель-удлинитель, 15-полюсной: 1 шт. Измерительный модуль для ВТСП: 1 шт. Рентгеновский аппарат марки LD Didactic: 1 шт. Лабораторные установки: Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом: 1 шт. Рентгеноструктурный анализ: 1 шт. Высокотемпературная сверхпроводимость: 1 шт. Закон Мозли и определение постоянной Ридберга: 1 шт. Исследование линейно-поляризованного света и проверка закона Малюса: 1 шт. Исследование эффекта Джоуля-Томсона для различных газов: 1 шт. Определение постоянной решетки кубической сингонии методом Дебая-Шерера: 1 шт. Определение удельного заряда электрона: 1 шт. Отражение Брэгга: определение постоянной решетки монокристалла (Cu, Mo анод): 1 шт. Получение тройной точки азота: 1 шт.</p>

Наименование специализированных учебных помещений	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
Лаборатория структурной биологии 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. Монокристалльный дифрактометр Rigaku Synergy-S с микрофокусным источником рентгеновского излучения с медным анодом, оснащенный четырёхкружным каппа гониометром и двумерным высокоскоростным детектором на основе гибридных пикселей NuPix-6000HE: 1 шт. Стереомикроскоп с рабочим расстоянием 61,5 мм: 1 шт. Система очистки воды Milli-Q Element: 1 шт. Набор дозаторов и пробирок для подготовки образцов и стандартных растворов: 1 шт.

3.2. Учебно-методическое и информационное обеспечение

Основные источники

1. Фетисов, Г. В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ: учебное пособие / Г. В. Фетисов. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 672 с. – ISBN 978-5-9221-0805-8. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/2152> (дата обращения: 09.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. 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: 10.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. 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: 10.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Шмидт В. В. Введение в физику сверхпроводников: Изд. 2-е, испр. и доп. В.В. Рязановым, М. В. Фейгельманом - М.: МЦНМО, 2000.
5. Бокий Г. Б. Кристаллохимия: Изд. 3-е, перер. и доп. – Москва: Наука, 1971 – 400 с.
6. Блохин М. А. и др. Рентгеноспектральный справочник. – М.: Наука, 1982. – 376 с.
7. Бокий Г. Б. и др. Рентгеноструктурный анализ: учебное пособие: Издание 2-е / Под ред. Белов Н. В. – Москва: Изд-во Московского университета, 1964. – 488 с.
8. Вольдсет Р. Прикладная спектроскопия рентгеновского излучения: Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1977. – 192 с.
9. Иванов, А. С. Рентгенография металлов: учебное пособие / А. С. Иванов. – Пермь: ПНИПУ, 2014. – 77 с. – ISBN 978-5-398-01188-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/160408> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
10. Липсон Г. и др. Интерпретация порошковых рентгенограмм. – М., 1972. – 320 с.
11. Марфунин А. С. Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах. – Москва: Недра, 1975.– 327с.

12. Рентгенофлуоресцентный анализ: Применение в заводских лабораториях: Сб. научн. тр.: Пер. с нем. /Под ред. Эрхард Х., Мурашко Г. М. – М.: Металлургия, 1985.– 254 с.

13. Русаков А. А. Рентгенография металлов. Ч.1: [Учеб. пос. в 2-х ч.] Рентгенография металлов. Ч.1. – Москва, 1965. – 290 с.

14. Дулов, Е. Н. Основы дозиметрии. Радиационная безопасность. Учебное пособие к общему физическому практикуму, раздел ядерной физики, для обучающихся по направлениям естественнонаучного профиля / Е. Н., Дулов, Е. В. Воронина., А. Г.Иванова, М. М. Бикчантаев. – Казань, 2017. – 24 с. – https://kpfu.ru/portal/docs/F_562314574/Fiz..osnovy.dozim._ne_fiziki_cor.pdf (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: свободный.

15. Казанский, Ю. А. Кинетика ядерных реакторов. Коэффициенты реактивности. Введение в динамику: учебное пособие / Ю. А. Казанский, Я. В. Слекеничс. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2012. – 300 с. – ISBN 978-5-7262-1696-6. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/75770> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

16. Пятаев, А.В. Искусственная радиоактивность и определение периодов полураспада нуклидов: Учебно-методическое пособие для студентов Института физики / А. В. Пятаев, Е. Н. Дулов, М. М. Бикчантаев, Д. М. Хрипунов. – Казань: Издательство Казанского федерального университета, 2013. – 22 с.: 8 илл. – URL:<https://kpfu.ru/docs/F1050080452/nejtronnaya.aktivaciya.pdf> (дата обращения 10.11.21).– Режим доступа: свободный.

17. Чистяков, В. А. Практикум по ядерной физике. Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета / В. А. Чистяков, Э. К. Садыков, Н. Г. Ивойлов, Е. Н.Дулов, М. М. Бикчантаев. – Казань, 2004. – 154 с. – URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F360793019/Nuclear.lab.2004.pdf> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: свободный.

18. Алексеев, П. А. Нейтронные методы в физике конденсированного состояния: учебное пособие / П. А. Алексеев, А. П. Менушенков. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2012. – 164 с. – ISBN 978-5-7262-1666-9. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/75924> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

19. Черняев, А. П. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом: учебное пособие / А. П. Черняев. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 152 с. – ISBN 5-9221-0432-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/59340> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительные источники

20. Шешин Е. П. Вакуумные технологии.– Долгопрудный: Интеллект, 2009.– 501 с.

21. Батулин, Р. Г. Высокотемпературная сверхпроводимость. Элементы теории, руководство и задания к 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/Methodichka_VTSP_2020.pdf (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: свободный.

22. Богдан, Т. В. Основы рентгеновской дифрактометрии: учебно-методическое пособие к общему курсу «Кристаллохимия». – Москва: МГУ. 2012. – 64 с. – URL: http://www.chem.msu.ru/rus/lab/phys/crychem/lectures/man_bogdan.pdf(дата обращения 10.11.21). – Режим доступа: свободный.

23. Иверонова, В. И. Теория рассеяния рентгеновских лучей: учебное пособие для физ. спец. вузов: 2-е издание, дополненное и переработанное. – Москва: Издательство МГУ, 1978. – 277с.
24. Курмаев, Э. З. Рентгеновские спектры твердых тел /Под ред. Вонсовский С. В. – М.: Наука, 1988 - 174с.
25. Миркин, Л. И. Рентгеноструктурный анализ. Индексирование рентгенограмм: справочное руководство. – Москва: Наука, 1981. – 496 с.
26. Миркин, Л. И. Рентгеноструктурный анализ: Справочное руководство. Получение и изменение рентгенограмм. – Москва: Наука, 1976. – 326 с.
27. Пенкаля, Т. Очерки кристаллохимии: Пер. с польск. / Под ред. Франк-Каменецкий В. А. – Л.: Химия, 1974. – 496 с.
28. Скрипов Ф. И. Курс лекций по радиоспектроскопии – Ленинград: Изд-во Ленинградского ун-та, 1964 - 212с.
29. Щелев, М. Я. Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений: энциклопедия: в 3 книгах / М. Я. Щелев; под редакцией М. Я. Щелева. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. – Книга 3: Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц – 2017. – 196 с. – ISBN 978-5-9221-1740-1. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/105017> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
30. Зарипова, Л. Д. Физические основы дозиметрии. Радиационная безопасность: Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета / Л. Д. Зарипова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та. 2008. – 42 с.: ил. – URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F210882866/phys.base.pdf> (дата обращения 10.11.21).
31. Сапожников, Ю. А. Радиоактивность окружающей среды: теория и практика: учебное пособие / Ю. А. Сапожников, Р. А. Алиев, С. Н. Калмыков; художник С. Инфантэ. – 3-е изд. – Москва: Лаборатория знаний, 2020. – 289 с. – ISBN 978-5-00101-928-2. – Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/152041> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
32. Кадилин, В. В. Прикладная нейтронная физика: учебное пособие / В. В. Кадилин, Е. В. Рябева, В. Т. Самосадный. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2011. – 124 с. – ISBN 978-5-7262-1515-0. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/75893> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
33. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела: перевод с английского / Под ред. Гусев А. А. – Москва: Наука, 1978. – 792 с.
34. Чернышев, А. П. Введение в физику твердого тела и нанофизику. Специальный курс физики. Конспект лекций: учебное пособие / А. П. Чернышев. – Новосибирск: НГТУ, 2019. – 88 с. – ISBN 978-5-7782-4048-3. –Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/152330> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
35. Мухин, К. Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник: в 3 томах / К. Н. Мухин. – 7-е изд, стер. – Санкт-Петербург: Лань, [б. г.]. – Том 1: Физика атомного ядра – 2009. – 384 с. – ISBN 978-5-8114-0739-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/277> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3.3. Кадровые условия

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

4. РУКОВОДИТЕЛЬ И АВТОР(Ы) ПРОГРАММЫ

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

Авторы:

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

Дулов Евгений Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики твердого тела Института физики КФУ;

Зарипова Ландыш Дамировна, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник кафедры физики твердого тела Института физики КФУ;

Исламов ДаутРинатович, канд. хим. наук, старший научный сотрудник, научно-исследовательской лаборатории «Структурная биология» КФУ;

Киямов Айрат Газинурович, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры общей физики Института физики КФУ;

Покровский Сергей Владимирович, ассистент кафедры ядерно-физического материаловедения Института физики КФУ;

Руднев Игорь Анатольевич, д-р. физ.-мат. наук, доцент кафедры ядерно-физического материаловедения Института физики КФУ;

Усачев Константин Сергеевич, д-р физ.-мат. наук, доцент кафедры медицинской физики Института физики КФУ.