

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. Алишев

(подпись)

« 11 » ноября 2021 г.




**Дополнительная профессиональная программа  
повышения квалификации**

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

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

Председатель комиссии Недопекин О. В.

  
(подпись)

Директор ИФ

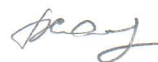
  
(подпись)

М. Р. Гафуров

(инициалы, фамилия)

« 11 » ноября 2021 г.

Казань – 2021



## **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 в области биологии, ветеринарии, медицины и здравоохранения (биология, биомедицина, зоология, клиническая и профилактическая медицина, ветеринария, фармация 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	Трудоём- 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. Нейтроны, свойства. Источники нейтронов. Взаимодействие нейтронов с веществом.	8	6	2	4	0	2
Тема 9. Применение синхротронного и нейтронного излучения в практической медицине	4	2	2	0	0	1
Тема 10. Применение синхротронного и нейтронного излучения в области биологически наук.	4	2	2	0	0	2
<b>Всего</b>	<b>68</b>	<b>50</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	<b>0</b>	<b>18</b>
Итоговая аттестация	4	4	0	0	4	0
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>54</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	<b>4</b>	<b>18</b>

## 2.2. Календарный учебный график

Период обучения (дни, недели) <sup>1)</sup>	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	Нейтроны, свойства. Источники нейтронов.
10 день	Взаимодействие нейтронов с веществом
11 день	Применение синхротронного и нейтронного излучения в практической медицине
12 день	Применение синхротронного и нейтронного излучения в области биологически наук.
13 день	Итоговая аттестация

<sup>1)</sup>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.)

№, наименование темы	Содержание лекций (количество часов)	Наименование лабораторных работ (количество часов)	Виды СРС (количество часов)
1	2	3	4
Тема 8. Нейтроны, свойства. Источники нейтронов. Взаимодействие нейтронов с веществом.	Нейтроны, свойства. Общие понятия нейтронных методов. Источники нейтронов. Детекторы нейтронов. Нейтронные пучки, способы формирования, характеристики. Процессы взаимодействия нейтронов с веществом. Принципы нейтронной дифрактометрии. Магнитная дифракция нейтронов. Принципы нейтронной спектроскопии, основы техники. Исследование фононных состояний (2 ч.)	Нейтронно-активационный анализ (4 ч.)	Подготовка отчета по лабораторной работе (2 ч.)
Тема 9. Применение синхротронного и нейтронного излучения в практической медицине	Примеры применения синхротронного и нейтронного излучения в области рентгеновской диагностики и терапии, классификация решаемых проблем, актуальность использования синхротронных и нейтронных методов в практической медицине (2 ч.)		Самостоятельное изучение методов, дополняющих рентгеновские и нейтронные методы исследования в практической медицине (1 ч.)
Тема 10. Применение синхротронного и нейтронного излучения в области биологически наук.	Применение синхротронного и нейтронного излучения в белковой кристаллографии, геномной инженерии, молекулярной биологии, вирусологии, профилактика и лечение заболеваний (2 ч.)		Самостоятельное изучение физических принципов, лежащих в основе методов синхротронного исследования в области расшифровки белков (2 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.

<b>Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений</b>	
<b>баллы</b>	<b>вербальный аналог</b>
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(250Гб,HDD,2Гб,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.
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 четырёхкратным каппа гониометром и двумерным высокоскоростным детектором на основе гибридных пикселей HyPix-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.

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.  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, <math>\pm 2000</math> 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, <math>\varnothing</math> 8 мм: 1 шт.  Узколучевая трубка: 1 шт.  Катушки Гельмгольца с подставкой: 1 шт.  Мультиметр LDanalog 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>

### 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: 23.11.2021). – 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](https://kpfu.ru/portal/docs/F_562314574/Fiz..osnovy.dozim._ne_fiziki_cor.pdf) (дата обращения: 23.11.2021). – 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: 23.11.2021). – 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.

20. Белушкин, А. В. Синхротронные и нейтронные методы исследования свойств конденсированных сред. Соперничество или сотрудничество? / А. В. Белушкин, Д. П. Козленко, А. В. Рогачев // Поверхность. Рентгеновские, Синхротронные и нейтронные исследования. – 2011. – № 9, С. 18–46.

21. Минкина, Т.М. Синхротронное рентгеновское излучение и его применение для исследований почв и растений: возможности и перспективы: учебное пособие / Т.М. Минкина, А.В. Солдатов, Д.Г. Невидомская. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2018. – 108 с. – ISBN 978-5-9275-2437-2. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1021563> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: по подписке.

22. Недорезов, В. Г. Синхротронное излучение: из рук физиков – в руки врачей // Природа. – 2005. – № 5. – С. 73–82.

23. Рентгеноспектральные методы исследования материалов на основе синхротронного излучения: учебное пособие / Г. Э. Яловега, М. И. Мазурицкий, А. Т. Козаков [и др.]; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – 146 с. – ISBN 978-5-9275-3202-5. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1088157> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: по подписке.

#### Дополнительные источники

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

25. 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](https://kpfu.ru/portal/docs/F475544732/Methodichka_VTSP_2020.pdf) (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: свободный.

26. 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/cryschem/lectures/man\\_bogdan.pdf](http://www.chem.msu.ru/rus/lab/phys/cryschem/lectures/man_bogdan.pdf) (дата обращения 10.11.21). – Режим доступа: свободный.

27. Иверонова, В. И. Теория рассеяния рентгеновских лучей: учебное пособие для физ. спец. вузов: 2-е издание, дополненное и переработанное. – Москва: Издательство МГУ, 1978. – 277с.
28. Курмаев, Э. З. Рентгеновские спектры твердых тел /Под ред. Вонсовский С. В. – М.: Наука, 1988.– 174с.
29. Миркин, Л. И. Рентгеноструктурный анализ. Индексирование рентгенограмм: справочное руководство. – Москва: Наука, 1981. – 496 с.
30. Миркин, Л. И. Рентгеноструктурный анализ: Справочное руководство. Получение и изменение рентгенограмм. – Москва: Наука, 1976. – 326 с.
31. Пенкаля, Т. Очерки кристаллохимии: Пер. с польск. / Под ред. Франк-Каменецкий В. А. – Л.: Химия, 1974. – 496 с.
32. Скрипов Ф. И. Курс лекций по радиоспектроскопии – Ленинград: Изд-во Ленинградского ун-та, 1964 - 212с.
33. 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).
34. 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.
35. 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.
36. Китиль, Ч. Введение в физику твердого тела: перевод с английского / Под ред. Гусев А. А. – Москва: Наука, 1978. – 792 с.
37. 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.
38. 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.