

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: Директор департамента образования  
Дата подписания: 31.05.2021 18:05:19  
Уникальный программный ключ:  
1cb4f9edcd6d31e931c556ddefa3b576a443565a5419cb5e3965cc668ec8658b



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**

ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

УТВЕРЖДАЮ

Директор департамента образования

М.С. Куприянов

«30» мая

2019 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
**«МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**  
**КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВЕЩЕСТВА»**  
для подготовки магистров  
по направлению  
28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

Санкт-Петербург

2019

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчик  
проф., д.т.н., проф.

А.Ю. Грязнов

Рецензент  
к.т.н., доц.

Б.В. Иванов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭПУ  
\_\_.\_\_. \_\_ г., протокол № \_\_.

Зав. каф. ЭПУ  
д.т.н., проф.

Н.Н. Потрахов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФЭЛ \_\_.\_\_. \_\_ г., протокол № \_\_.

Председатель УМК ФЭЛ  
к.ф.-м.н., доц.

О.А. Александрова

**Согласовано:**

Начальник ОМОЛА  
к.т.н., доц.

С.А. Галунин

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

№№ учебных планов:	755 – 756-19
Обеспечивающий факультет:	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра:	ЭПУ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	4
Курс	1
Семестр	1
<b>Виды занятий</b>	
Практические занятия (академ. часов)	51
Все аудиторные занятия (академ. часов)	51
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	52
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	92
Всего (академ. часов)	144
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Зачет (семестр)	1

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВЕЩЕСТВА»**

В курсе рассмотрены методы исследования кристаллической структуры вещества, аппаратура для их реализации, особенности и границы применимости методов.

Описаны методики анализа рентгеновских дифрактограмм и обработки результатов экспериментов по определению параметров кристаллической решетки, рассмотрены особенности кристаллической структуры исследуемых объектов.

Дано описание современной рентгеновской аппаратуры для дифрактометрии, рассмотрены перспективы ее развития.

### **SUBJECT SUMMARY «METHODS OF RESEARCH OF SUBSTANCE CRYSTAL STRUCTURE»**

In a course methods of research of substance crystal structure, equipment for their realization, feature and border of applicability of methods are considered.

Techniques of the analysis X-ray diffraction image and processing of results of experiments by definition of parameters of a crystal lattice are described, features of crystal structure of investigated objects are considered.

The description of modern equipment for X-ray diffractometry is given, prospects of its development are described.

## 3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Знать методы исследования кристаллической структуры вещества, аппаратуру для их реализации, особенности и границы применимости методов.

2. Формирование умения использовать различные методы анализа структуры веществ, определять основные свойства и особенности и границы применимости методов.

3. Владеть навыками анализа рентгеновских дифрактограмм и обработки результатов экспериментов по определению параметров кристаллической решетки.

### 3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе знаний, полученных при освоении программы бакалавриата или специалитета, и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Методы анализа микро- и наносистем»,  
и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

### 3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции	Наименование компетенции
СПК-1	Способен анализировать этапы технологического процесса, выявлять критические операции технологического процесса с целью повышения качества изделий микро- и наносистемной техники

В Приложении к рабочей программе дисциплины представлены Фонды оценочных средств проверки степени сформированности компетенций. Фонды оценочных средств предназначены для проверки сформированности компетенций после окончания периода обучения по дисциплине и представляют собой тесты с вариантами ответов.

## **4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **4.1 Содержание разделов дисциплины**

#### **Введение (2 академ. часа)**

Роль рентгеновских методов исследования структуры вещества в современной физике. Общие принципы рентгеноструктурного анализа. Возможности и ограничения рентгеноструктурного анализа.

#### **Тема 1. Основы кристаллографии (26 академ. часов)**

Геометрическая кристаллография. Понятия о симметрии. Координатные оси. Индексы точек, прямых и плоскостей. Понятие обратной решетки. Вычисление межплоскостных расстояний и углов между плоскостями, углов между направлениями в кристалле. Классификация по типу решетки.

#### **Тема 2. Дифракция рентгеновского излучения на кристаллах (22 академ. часа)**

Физические основы дифракции рентгеновского излучения на кристаллах. Формула Вульфа-Бреггов. Уравнения Лауэ для одно-, двух- и пространственной решетки. Углы  $\Theta$  и  $2\Theta$ . Рентгенооптические схемы.

#### **Тема 3. Методы рентгеноструктурного анализа (26 академ. часов)**

Фундаментальные методы рентгеноструктурного анализа - метод Лауэ, метод вращения монокристалла, метод поликристалла, метод широкорасходящегося пучка. Интерпретация дифракционных картин, полученных этими методами. Некоторые экспериментальные методы структурного анализа. Определение ориентировки: «метод Лауэ» и «метод вращения».

#### **Тема 4. Трубки для рентгеноструктурного анализа (20 академ. часов)**

Принципы конструирования трубок для рентгеновских дифрактометров. Выбор материала мишени. Высоковольтные источники питания трубок для структурного анализа. Фильтры первичного излучения. Системы охлаждения. Выпускные окна.

#### **Тема 5. Рентгеновские дифрактометры (24 академ. часа)**

Принципы конструирования дифрактометров. Основные технические характеристики дифрактометров. Гониометры. Держатели образца с вращением. Детекторы современных дифрактометров. Дифрактометры с позиционно-чувствительными детекторами. ПЗС-линейки. Программное обеспечение рентгеноструктурного анализа.

#### **Тема 6. Специализированный рентгеноструктурный анализ (20 академ. часа)**

Анализ макронапряжений. Анализ текстурированного состояния поликристаллических объектов. Анализ остаточных напряжений. Высокотемпературные приставки. Низкотемпературные приставки. Анализ фазового состава вещества. Определение ориентировки монокристаллических образцов.

#### **Заключение (4 академ. часа)**

Перспективы развития рентгеноструктурного анализа. Новые типы дифрактометров. Перспективы применения рентгеноструктурного анализа в молекулярной биологии.



## 4.2 Перечень практических занятий

1. Общие принципы рентгеноструктурного анализа. Понятие обратной решетки.
3. Вычисление межплоскостных расстояний и углов между плоскостями, углов между направлениями в кристалле.
4. Физические основы дифракции рентгеновского излучения на кристаллах. Формула Вульфа-Бреггов.
5. Уравнения Лауэ для одно-, двух- и пространственной решетки.
6. Рентгенооптические схемы.
7. Фундаментальные методы рентгеноструктурного анализа.
8. Интерпретация дифракционных картин.
9. Определение ориентировки: «метод Лауэ» и «метод вращения».
10. Принципы конструирования трубок для рентгеновских дифрактометров.
11. Высоковольтные источники питания трубок для структурного анализа.
12. Расчет схем съемки, выбор материала мишени и фильтров первичного излучения.
13. Основные технические характеристики дифрактометров.
14. Детекторы современных дифрактометров. Дифрактометры с позиционно-чувствительными детекторами.
15. Анализ текстурированного и напряженного состояния поликристаллических объектов.
16. Высокотемпературные приставки. Низкотемпературные приставки.
17. Перспективы применения рентгеноструктурного анализа в молекулярной биологии.

## 5 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№	Название, библиографическое описание	Семестр	К-во экз. в библиот.
Основная литература			
1	Брытов И.А., Грязнов А.Ю., Потрахов Н.Н. Диагностика материалов и структур электронной техники [Электронный ресурс]: электрон. метод. указания. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007.	1	ОЭРБ
2	Потрахов Н.Н., Лифшиц В.А., Потрахов Е.Н., Грязнов А.Ю., Бессонов В.Б., Жамова К.К. Методы исследования кристаллической структуры вещества [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013.	1	ОЭРБ
Дополнительная литература			
1	Иванов С.А., Комяк Н.И., Павлюк Э.Г. Рентгеновские методы исследования строения кристаллических веществ: учеб. пособие. – Л.: Изд-во ЛЭТИ, 1979.	1	82
2	Клюев В.В., Соснин Ф.Р. и др. Рентгенотехника: Справочник в 2 кн. – М.: Машиностроение, 1992.	1	2

### 5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№	Электронный адрес
1	<a href="http://epu-files.narod.ru">http://epu-files.narod.ru</a>
2	<a href="http://www.zhuravlev.info">http://www.zhuravlev.info</a>

## **6 ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Методические материалы; описание шкал оценивания; типовые контрольные задания или иные материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Конкретные формы и процедуры текущего контроля знаний и промежуточной аттестации, а также методические указания для обучающихся по самостоятельной работе при освоении дисциплины доводятся до сведения обучающихся в течение первых недель обучения.

## 7 ОПИСАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ

№	Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
1	Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, экран, маркерная доска	Windows 7 и выше Adobe Acrobat Reader Microsoft Office

## **8 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ**

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№	Дата	Изменение	Дата заседания УМК, № прот-ла	Автор	Нач. ОМОЛА