

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Рентгеновская дифракция
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики и техники низких температур
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.М. Тихонов, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и техники низких температур 01.04.2024

## Аннотация

Систематически рассмотрены явления, связанные с рассеянием рентгеновского излучения в газе, жидкости и твердом теле. В рамках курса рассмотрены современные источники синхротронного излучения, элементы рентгеновской оптики и практические применения методов рентгеновского рассеяния. Программа рассчитана на обучение основам рентгеновского структурного анализа студентов старших курсов, специализирующихся в области физики конденсированного состояния, физики твердого тела, физики низких температур.

Курс предполагается вполне доступным студентам 1 курса магистратуры ЛФИ МФТИ, как теоретикам, так и экспериментаторам, специализирующимся по физике твердого тела.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- сформировать у студентов профессиональные компетенции, связанные с использованием современных теоретических и экспериментальных концепций в области рентгеновского излучения.

#### Задачи дисциплины

- изучить явления, связанные с рассеянием рентгеновского излучения в газе, жидкости и твердом теле.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту

ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- методы рентгеновского анализа структуры конденсированных сред.

уметь:

- пользоваться описаниями структуры кристаллов.

владеть:

- методами классификации структуры кристаллов.

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

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Источники и детекторы рентгеновского излучения.	10	10		15
2	Дифракция в аморфных и кристаллических структурах.	10	10		15
3	Дифракция в двумерных структурах и жидкостях.	10	10		15
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Источники и детекторы рентгеновского излучения.

Тормозное излучение. Лабораторные источники рентгеновского излучения.

Магнитотормозное излучение. Источники синхротронного излучения.

Элементы рентгеновской оптики. Детекторы.

Рентгеновская дифракция в аморфных веществах: газы, жидкости, твердые тела.

Малоугловое рентгеновское рассеяние системой идентичных частиц. Принципы определения структуры.

## 2. Дифракция в аморфных и кристаллических структурах.

Малоугловое рентгеновское рассеяние системой идентичных частиц. Принципы определения структуры.

Общая теория дифракции рентгеновских лучей в кристаллах (кинематическое приближение).

Интегральная интенсивность брэгговских пиков.

Диффузное тепловое рассеяние рентгеновских лучей. Температурная зависимость сечения дифракции.

Рассеяние рентгеновских лучей на волнах зарядовой плотности.

## 3. Дифракция в двумерных структурах и жидкостях.

Рассеяние рентгеновских лучей на двумерных структурах.

Термодинамика фазовых переходов в монослоях Гиббса и Ленгмюра.

Метод рефлектометрии. Первое борновское приближение. Формализм Перрата.

Метод скользящей дифракции. Определение молекулярной структуры ленгмюровских монослоев.

Капиллярные волны на поверхности жидкости. Критический кроссовер на границе жидкость-жидкость. Диффузное рассеяние.

Рассеяние рентгеновских лучей на магнитной структуре кристаллов. Интенсивность магнитных пиков.

Рентгеновская топография. Методы рентгеновской спектроскопии.

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

Аудитория, доска, мел.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 8 : Электродинамика сплошных сред : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— М. : Наука, 1992, 2001, 2003, 2005 .— 662 с.
2. Введение в физику твердого тела [Текст] : учебник для вузов / Ч. Киттель ; пер. под ред. А. А. Гусева .— 2-е изд., стереотип. / перепеч. с изд. 1978 г. — М. : Медиа Стар, 2006 .— 792 с.
3. A. Guiner, X-ray Diffraction, In Crystals, Imperfect Crystals and Amorphous Bodies, New York, Dover Publications, 1994.
4. B.E. Warren, X-ray Diffraction, Dover Publications, Inc., New-York, 1996.

### Дополнительная литература

1. M. Tolan, M. X-ray Scattering from Soft-Matter Thin Films, Springer Tracts in Modern Physics, 148, Springer, 1999.
2. V. M. Kaganer, H. Möhwald, P. Dutta, Rev. Mod. Phys 71, 779 (1999).

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

Нет

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

Не предусмотрено.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Общая и прикладная физика  
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау  
кафедра физики и техники низких температур  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** А.М. Тихонов, д-р физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Рентгеновская дифракция» обучающийся должен:

**знать:**

- методы рентгеновского анализа структуры конденсированных сред.

**уметь:**

- пользоваться описаниями структуры кристаллов.

**владеть:**

- методами классификации структуры кристаллов.

### **3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

1. Источники и детекторы рентгеновского излучения
2. Тормозное излучение. Лабораторные источники рентгеновского излучения.
3. Магнитотормозное излучение. Источники синхротронного излучения.
4. Элементы рентгеновской оптики. Детекторы.
5. Рентгеновская дифракция в аморфных веществах: газы, жидкости, твердые тела.
6. Малоугловое рентгеновское рассеяние системой идентичных частиц. Принципы определения структуры.
7. Дифракция в аморфных и кристаллических структурах.
8. Малоугловое рентгеновское рассеяние системой идентичных частиц. Принципы определения структуры.
9. Общая теория дифракции рентгеновских лучей в кристаллах (кинематическое приближение).
10. Интегральная интенсивность брэгговских пиков.
11. Диффузное тепловое рассеяние рентгеновских лучей. Температурная зависимость сечения дифракции.
12. Рассеяние рентгеновских лучей на волнах зарядовой плотности.
13. Дифракция в двумерных структурах и жидкостях
14. Рассеяние рентгеновских лучей на двумерных структурах.
15. Термодинамика фазовых переходов в монослоях Гиббса и Ленгмюра.
16. Метод рефлектометрии. Первое борновское приближение. Формализм Перрата.
17. Метод скользящей дифракции. Определение молекулярной структуры ленгмюровских монослоев.
18. Капиллярные волны на поверхности жидкости. Критический кроссовер на границе жидкость-жидкость. Диффузное рассеяние.
19. Рассеяние рентгеновских лучей на магнитной структуре кристаллов. Интенсивность магнитных пиков.
20. Рентгеновская топография. Методы рентгеновской спектроскопии.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Диффузное тепловое рассеяние рентгеновских лучей. Температурная зависимость сечения дифракции.
2. Магнитотормозное излучение. Источники синхротронного излучения.

Билет 2.

1. Интегральная интенсивность брэгговских пиков.
2. Тормозное излучение. Лабораторные источники рентгеновского излучения.

Билет 3.

1. Малоугловое рентгеновское рассеяние системой идентичных частиц. Принципы определения структуры.
2. Капиллярные волны на поверхности жидкости. Критический кроссовер на границе жидкость-жидкость. Диффузное рассеяние.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.