

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 02.10.2023 08:39:50  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»



Утверждаю:

Руководитель ООП

А.В. Солнышкин

«30» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Экспериментальные методы исследования**  
**конденсированного состояния вещества**

Направление подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль)

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

2 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Большакова Н.Н.

*Н.Н. Большакова*

Тверь, 2023

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

*Целью* дисциплины является формирование у студентов углубленных знаний в области исследования свойств и структуры конденсированных сред.

*Задачами* освоения дисциплины являются:

- формирование у студентов общего представления об основных специальных методах исследования конденсированного состояния вещества;
- изучение эффектов, связанных с влиянием реальной структуры на проявление физических свойств твердых тел;
- применение на практике профессиональных знаний по физике конденсированного состояния вещества в плане исследования структуры решетки и ее динамики;
- усвоение терминологии, используемой в научных статьях по спектроскопии конденсированного состояния вещества в отечественной и зарубежной периодической литературе;
- подготовка студентов к изучению специальных обзоров и оригинальных работ по отдельным вопросам данной области знания.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества» относится к модулю Элективные дисциплины 1 Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Содержательно она способствует углублению и расширению знаний для дальнейшего изучения физических свойств и структуры конденсированных сред. Учебная дисциплина непосредственно связана с дисциплинами «Физика конденсированных сред», «Специальный физический практикум по магнетизму», «Специальный физический практикум по диэлектрическим материалам».

Уровень начальной подготовки для успешного освоения дисциплины «Экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества»: обучающийся должен *иметь представление* о молекулярно-кинетической теории вещества, использующей статистические законы, и о термодинамике, изучающей макроскопические свойства тел и явлений природы; *знать* основные законы электродинамики и оптики, законы строения твердых тел, а также *владеть* стандартными методами исследования физических свойств конденсированных сред.

**3. Объем дисциплины:** 3 зачетных единицы, 108 академических часов, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 13 часов, практические занятия 13 часов;

**самостоятельная работа:** 82 часа.

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

<i>Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)</i>	<i>Планируемые результаты обучения по дисциплине</i>
УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий.	УК-1.1. Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними УК-1.2. Определяет пробелы в информации, необходимой для решения проблемной ситуации, и проектирует процессы по их устранению. УК-1.3. Критически оценивает надежность источников информации, работает с противоречивой информацией из разных источников
ПК-2. Проводит работу по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.	ПК-2.1. Осуществляет разработки планов и методических программ проведения исследований и разработок; ПК-2.2. Организует сбор и изучение научно-технической информации по теме исследований и разработок; ПК-2.3. Проводит анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений; ПК-2.4. Осуществляет теоретическое обобщение

	научных данных, результатов экспериментов и наблюдений.
--	---

**5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения**

Зачет в 3 семестре.

**6. Язык преподавания:** русский.

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

**1. Для студентов очной формы обучения**

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Практические занятия		
		всего	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	
Раздел 1. Методы исследования дефектной структуры кристаллов.	17	2		2		13
Раздел 2. Методы исследования процессов переключения нелинейных кристаллов.	17	2		2		13
Раздел 3. Методы изучения доменной структуры сегнетоэлектриков и родственных материалов.	21	3		3		15
Раздел 4. Методы исследования оптических и электрооптических свойств кристаллов	17	2		2		13
Раздел 5. Радиоспектроскопические методы исследования твердых тел.	17	2		2		13
Раздел 6. Дифференциальная сканирующая калориметрия.	19	2		2		15
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>13</b>		<b>13</b>		<b>82</b>

**III. Образовательные технологии**

Учебная программа-наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
Раздел 1. Методы исследования дефектной структуры кристаллов.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>1.Изложение теоретического материала (презентация) 2.Решение задач 3.Самостоятельное изучение теоретического материала</i>
Раздел 2. Методы исследования процессов переключения нелинейных кристаллов.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>.Изложение теоретического материала (презентация) 2.Решение задач 3.Самостоятельное изучение теоретического материала</i>
Раздел 3. Методы изучения доменной структуры сегнетоэлектриков и родственных материалов.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>.Изложение теоретического материала (презентация) 2.Решение задач 3.Самостоятельное изучение теоретического материала</i>

Раздел 4. Методы исследования оптических и электрооптических свойств кристаллов	Лекции, занятия	практические	.Изложение теоретического материала (презентация) 2.Решение задач 3.Самостоятельное изучение теоретического материала
Раздел 5. Радиоспектроскопические методы исследования твердых тел.	Лекции, занятия	практические	.Изложение теоретического материала (презентация) 2.Решение задач 3.Самостоятельное изучение теоретического материала
Раздел 6. Дифференциальная сканирующая калориметрия.	Лекции, занятия	практические	.Изложение теоретического материала (презентация) 2.Решение задач 3.Самостоятельное изучение теоретического материала

#### **IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации**

*Форма проведения промежуточного контроля:* студенты, освоившие программу курса «Экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества» могут сдать зачет по итогам семестровой аттестации согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.).

**Для проведения текущей и промежуточной аттестации:**

**УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.:**

УК-1.1. Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними

УК-1.2. Определяет пробелы в информации, необходимой для решения проблемной ситуации, и проектирует процессы по их устранению.

УК-1.3. Критически оценивает надежность источников информации, работает с противоречивой информацией из разных источников.

**Задание:**

Описать особенности динамики доменной структуры при переключении сегнетоэлектриков.

**Способ аттестации:** устный

**Критерии оценки:**

1 уровень – рассмотрена доменная структура сегнетоэлектриков.

2 уровень – описаны особенности динамики доменной структуры при переключении сегнетоэлектриков.

**ПК-2. Проводит работу по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.**

ПК-2.1. Осуществляет разработки планов и методических программ проведения исследований и разработок;

ПК-2.2. Организует сбор и изучение научно-технической информации по теме исследований и разработок;

ПК-2.3. Проводит анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений;

ПК-2.4. Осуществляет теоретическое обобщение научных данных, результатов экспериментов и наблюдений.

**Задание:**

1. Продемонстрировать навыки владения методами изучения доменной структуры сегнетоэлектриков.

*Пример.* Описать метод исследования доменной структуры с помощью силовой микроскопии пьезоэлектрического отклика.

2. Продемонстрировать умение исследовать оптические свойства анизотропных сред

*Пример.* Рассмотреть поляризационно-оптический метод исследования кристаллов.

3. Продемонстрировать умение исследовать процессы переключения поляризации в сегнетоэлектрических структурах.

*Пример.* Рассмотреть особенности процессов переключения в тонкопленочных сегнетоэлектрических гетероструктурах.

**Способ аттестации:** устный

**Критерии оценки:**

1 уровень – указана суть метода.

2 уровень – рассмотрена физическая суть явления, лежащего в основе метода.

3 уровень – полностью описан метод.

*Пример опросного листа для семестровой аттестации:*

1. Экспериментальное исследование дефектной структуры с применением рентгеновской дифрактометрии.
2. Описать методику исследования процессов импульсного переключения поляризации сегнетоэлектрических материалов и структур на их основе.

## **V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

1) Рекомендуемая литература

а) Основная литература:

1. Современные методы структурного анализа веществ: учебник / М.Ф. Куприянов, А.Г. Рудская, Н.Б. Кофанова и др.; Федеральное агентство по образованию Российской Федерации, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южный федеральный университет". - Ростов: Издательство Южного федерального университета, 2009. - 288 с. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-9275-0653-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=241003>
2. Сорокин, В.С. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики: учебник / В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 448 с. — [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=67462](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=67462)



3. Богомолов А.А., Иванов В.В. Практикум по физике сегнетоэлектриков Тверь: ТвГУ, 2005. 104 с.
4. Фарус, О.А. Физические и физико-химические методы анализа: лабораторный практикум: учебно-методическое пособие / О.А. Фарус, Г.И. Якушева. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 78 с. : ил. - Библиогр.: с. 60-62. - ISBN 978-5-4475-5682-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=375309>
5. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 288 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2023>

б) дополнительная литература:

1. 1. Гуртов, В.А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В.А. Гуртов, Р.Н. Осауленко ; науч. ред. Л.А. Алешина. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Техносфера, 2012. - 560 с. - (Мир физики и техники). - ISBN 978-5-94836-327-1 ; [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233466>
2. Бельская, Н.П. Ядерный магнитный резонанс. Теория и практика : учебное пособие : В 3 ч. / Н.П. Бельская, О.С. Ельцов. - Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2014. - Ч. 2. - 125 с. : ил., табл., схем. - ISBN 978-5-7996-1310-5 ; [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275797>
3. Физика твердого тела: учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 307 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-369-00967-3.- [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=363421>
4. Фомин, Д.В. Экспериментальные методы физики твердого тела : учебное пособие / Д.В. Фомин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 186 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2829-4 ; То же

[Электронный ресурс]. - URL:  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259074>

5. Суворов Э.В., Смирнова И.А. Дифракционное изображение дефектов в рентгеновской топографии (рентгеновской микроскопии) // Успехи физических наук. 2015. Т. 185, № 9. С. 897–915. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ufn.ru/ru/articles/2015/9/a/>

## 2) Программное обеспечение

а) Лицензионное программное обеспечение

б) Свободно распространяемое программное обеспечение

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1.ЭБС«ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);

2.ЭБС «Университетская библиотека онлайн»<https://biblioclub.ru/>;

3.ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Научная электронная библиотека eLibrary.ru;

Электронная база данных диссертаций РГБ;

База данных Реферативных журналов ВИНТИ;

Полнотекстовый доступ к журналам AIP (Американский институт физики);

Полнотекстовый доступ к журналам и книгам издательства Springer Verlag;

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

### ***1) Планы практических занятий и методические рекомендации к ним.***

Лабораторные занятия включают в себя экспериментальное или теоретическое изучение структуры и свойств конденсированных сред с помощью специальных методов исследования, а также его обсуждение в группе.

### ***Тема 1. Методы исследования дефектной структуры кристаллов.***

#### **Вопросы для обсуждения:**

1. Исследование дефектной структуры кристаллов методом рентгеновской микротомографии.
2. Выявление дефектов кристаллов методами селективного травления.
3. Дифракционные методы исследования дефектной структуры кристаллов.

### ***Тема 2. Методы исследования процессов переключения нелинейных кристаллов.***

#### **Вопросы для обсуждения:**

1. Изучение гистерезисных явлений при процессах переключения нелинейных материалов и структур на их основе.
2. Методики импульсного переключения поляризации в сегнетоэлектриках и родственных материалах.
3. Изучение низкочастотных и инфранизкочастотных процессов переключения в нелинейных материалах и структурах на их основе.

### ***Тема 3. Методы изучения доменной структуры сегнетоэлектриков и родственных материалов.***

#### **Вопросы для обсуждения:**

1. Поляризационно-оптические методы наблюдения доменной структуры в нелинейных диэлектриках.
2. Методы наблюдения доменной структуры с помощью нематических жидких кристаллов.
3. Методы наблюдения и изучения динамики доменной структуры с использованием пьезоэлектрической силовой микроскопии.

### ***Тема 4. Методы исследования оптических и электрооптических свойств кристаллов.***

#### **Вопросы для обсуждения:**

1. Двулучепреломление в кристаллических диэлектриках. Методики измерения показателя преломления.
2. Электрооптический эффект. Методики измерения электрооптических параметров.
3. Исследование генерации второй гармоники в кристаллах нелинейной оптики.

### ***Тема 5. Радиоспектроскопические методы исследования твердых тел.***

#### **Вопросы для обсуждения:**

1. Методики ядерного магнитного резонанса в физике конденсированного состояния вещества.
2. Метод электронного парамагнитного резонанса.
3. Исследование сегнетоэлектриков методом эффекта Мессбауэра.

### ***Тема 6. Дифференциальная сканирующая калориметрия.***

#### **Вопросы для обсуждения:**

1. Основы теории метода дифференциальной сканирующей калориметрии.
2. Экспериментальные кривые, полученные методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).
3. Практическое использование метода ДСК: измерение теплоемкости веществ, определение энтальпии фазовых переходов в конденсированных средах.

#### **Перечень вопросов и заданий для систематизации знаний:**

1. Типы дефектов в кристаллических материалах.
2. Методы выявления дефектной структуры кристаллов.
3. Процессы переключения поляризации в объемных кристаллических материалах.
4. Переполяризация в тонких сегнетоэлектрических пленках.
5. Особенности процессов переключения в полимерных сегнетоэлектрических структурах.

6. Доменная структура сегнетоэлектриков.
7. Особенности динамики доменов в сегнетоэлектриках.
8. Методы наблюдения доменной структуры.
9. Силовая микроскопия пьезоэлектрического отклика.
10. Особенности оптических свойств кристаллов.
11. Двухлучепреломление в кристаллических диэлектриках.
12. Линейный и квадратичный электрооптические эффекты. Электрооптические параметры.
13. Генерация второй гармоники в нелинейных кристаллах.
14. Ядерный магнитный резонанс.
15. Электронный парамагнитный резонанс.
16. Эффект Мессбауэра.
17. Явления теплопереноса в твердых телах.
18. Основы теории метода ДСК.
19. Практическое использование метода ДСК.

Программой предусматривается выполнение письменных контрольных работ и отчеты о выполнении студентами заданий на лабораторных занятиях в качестве форм контроля знаний. Для подготовки к промежуточной аттестации предполагается выполнение домашних заданий по каждой пройденной теме изученной в первой и второй половине семестра и использование банка контрольных вопросов и заданий рабочей программы.

## VII. Материально-техническое обеспечение

Наименование специальных помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебно-научная лаборатория физики сегнето – и пирозлектриков № 45 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1. Компьютерный измерительный комплекс Cel 1.2/256Mb/Монитор Rover Scan 115GS"/плата сбора данных интегрированная ЛА-н150-14PCI 2. Компьютер (монитор Philips 206VL, Intel Pen CPU G840/ 2x2048	Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав №785 от 06.08.2021 г. MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №785 от 06.08.2021 г. Kaspersky Endpoint Security

	<p>Мб/ HDD 500 Gb/клав (2 шт)  3. Принтер Xerox Phaser 3150  4. Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5"(3 шт)  5. Микроскоп МВДС  6. Усилитель У4-28  7. Мост ВМ-509  8. Усилитель У5-11 (2 шт)  9. Мост Е-7-4  10. Измеритель ИМО-3 (2 шт)  11. Усилитель У3-33  12. Частотомер  13. Источник питания (2 шт)  14. Вольтметр (2 шт)  15. Милливольтметр  16. Вольтметр В-3-38  17. Выпрямитель ТЕС  18. Измеритель разности фаз Ф2-16  19. Измеритель Е-7  20. Осциллограф С-1 (6 шт)  21. Ультротермо УТО  22. Термостат У-4  23. Генератор Г3-112/1  24. Генератор Г3-33  25. Генератор Г3-112 (2 шт)  26. Генератор Г3-36  27. Усилитель У2-8</p>	<p>для Windows - Акт на передачу прав №1842 30.11.2020  Архиватор 7-Zip - бесплатно  Acrobat Reader DC - бесплатно  Google Chrome – бесплатно  Unreal Commander - бесплатно  Почта Outlook – бесплатно  Origin 8.1 Sr2 - договор №13918/М41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»;  Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011</p>
--	--	---

### VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			
2.			