

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 10.08.2023 16:35:07
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:

Руководитель ООП



[Handwritten signature]
Б.Б.Педько
«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

Физика нелинейных кристаллов

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

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

[Handwritten signature]

I. Аннотация

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины «Физика нелинейных кристаллов» является углубление знаний по ряду теоретических проблем в области физики сегнетоэлектрических явлений.

Задачами освоения дисциплины являются:

расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения фундаментальных результатов физики нелинейных кристаллов;

практическое овладение методами теоретического описания и основными теоретическими моделями физики нелинейных кристаллов и основными экспериментальными методиками.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Физика нелинейных кристаллов» изучается в модуле «Диэлектрические материалы в радиофизике» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

3. Объем дисциплины: 4 зачетные единицы, 144 академических часа, в том числе:

контактная аудиторная работа: лекции 30 часов, лабораторные работы 30 часов;

самостоятельная работа: 84 часа, в том числе контроль 27 часов.

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

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2. Способен осуществлять техническое обслуживание радиоэлектронной аппаратуры.	ПК-2.1. Использует техническую документацию при работе с радиоэлектронной аппаратурой при проведении научно-исследовательских и прикладных работ. ПК-2.2. Осуществляет работу с современными средствами измерения, применяемыми в

	эксперименте.
ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы.	ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 7 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		Лабораторные работы		
		всего	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	
Глава 1. Нелинейные параметры порядка: деформация, поляризация, намагниченность. Введение. 1.1. Частотная классификация нелинейных эффектов. 1.2. Терминология. 1.3. Реверсивные нелинейные эффекты. 1.4. Эффекты самовоздействия 1.5. Двухчастотные эффекты при близких частотах.	11	3		2		6
Глава 2 Спонтанная поляризация и динамика решетки нелинейного кристалла. 2.1. Метод самосогласованного поля. Свободная энергия в методе самосогласованного поля. 2.2. Модель ангармонических осцилляторов. 2.3. Модель типа порядок-беспорядок. 2.4. Соотношение Лиддана- Сакса-Теллера. Сегнетоэлектрические фазовые переходы с точки зрения динамики кристаллической решетки. Мягкая мода. 2.5. Экспериментальная проверка концепции "мягкой моды". 2.6. Возможные причины исходной неустойчивости решетки (коллективный эффект Яна-Теллера). 2.7. Понятие о вибронной теории сегнетоэлектричества.	18	4		8		6
Глава 3. Исследование мягких мод нелинейных кристаллов методами рассеяния света и нейтронов 3.1. Исследование дисперсионных	14	4		4		6

зависимостей нелинейных кристаллов в неполярной и полярной фазах методами рассеяния света и нейтронов. 3.2. Определение собственного вектора мягкой моды и его симметрии. 3.3. Диффузное рассеяние нейтронов, рентгеновских лучей и электронов. Флуктуации поляризации.						
Глава 4. Нелинейные оптические эффекты. 4.1. Генерация второй гармоники. 4.2. Сегнетоэлектрические кристаллы - материалы нелинейной оптики	19	4		6		9
Глава 5. Сегнетоэластики – механические аналоги сегнетоэлектриков. 5.1. Термодинамические соотношения для сегнетоэластиков. 5.2. Сегнетоэластические домены и их наблюдение. Процессы переключения в сегнетоэластиках. 5.3. Несобственные сегнетоэлектрики. Термодинамические соотношения для несобственных сегнетоэлектриков и их основные следствия.	13	3		4		6
Глава 6. Сегнетоэлектрики с особым типом упорядочения. 6.1. Общие представления об антисегнетоэлектриках. Основные представители. 6.2. Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом. Причины размытия фазового перехода. Кинетика перехода. 6.3. Сегнетоэлектрики с магнитным упорядочением. Элементы термодинамической теории сегнетомагнетиков.	12	4		2		6
Глава 7. Несоразмерная фаза в ферромагнетиках и сегнетоэлектриках. 7.1. Причины образования несоразмерной фазы с точки зрения динамики решетки. 7.2. Солитоны.	9	3				6
Глава 8. Флексоэлектрический эффект Введение. 8.1. Нелинейная упругость и затухание звука. Сегнетоупругость. 8.2. Изменение кривизны пленки сегнетоэлектрика при поляризации – новый электромеханический эффект. 8.3. Поляризация сегнетоэлектрической пластины изгибом.	9	3				6
Глава 9. Ферроики	12	2		4		6

Нелинейные эффекты пересечения: электромеханические, магнитоэлектрические.					
Подготовка к экзамену	27				27
ИТОГО	144	30		30	84

III. Образовательные технологии

Учебная программа- наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
<p>Глава 1. Нелинейные параметры порядка: деформация, поляризация, намагниченность.</p> <p>Введение.</p> <p>1.1. Частотная классификация нелинейных эффектов.</p> <p>1.2. Терминология.</p> <p>1.3. Реверсивные нелинейные эффекты.</p> <p>1.4. Эффекты самовоздействия</p> <p>1.5. Двухчастотные эффекты при близких частотах.</p>	<p><i>Лекции, лабораторные работы</i></p>	<p><i>Активное слушание. Решение индивидуальных задач Самостоятельная работа студентов</i></p>
<p>Глава 2 Спонтанная поляризация и динамика решетки нелинейного кристалла.</p> <p>2.1. Метод самосогласованного поля. Свободная энергия в методе самосогласованного поля.</p> <p>2.2. Модель ангармонических осцилляторов.</p> <p>2.3. Модель типа порядок-беспорядок.</p> <p>2.4. Соотношение Лиддана- Сакса-Теллера. Сегнетоэлектрические фазовые переходы с точки зрения динамики кристаллической решетки. Мягкая мода.</p> <p>2.5. Экспериментальная проверка концепции "мягкой моды".</p> <p>2.6. Возможные причины исходной нестабильности решетки (коллективный эффект Яна-Теллера).</p> <p>2.7. Понятие о вибронной теории сегнетоэлектричества.</p>	<p><i>Лекции, лабораторные работы</i></p>	<p><i>Активное слушание. Решение индивидуальных задач Самостоятельная работа студентов</i></p>
<p>Глава 3. Исследование мягких мод нелинейных кристаллов методами рассеяния света и нейтронов</p> <p>3.1. Исследование дисперсионных зависимостей нелинейных кристаллов в неполярной и полярной фазах методами рассеяния света и нейтронов.</p> <p>3.2. Определение собственного вектора мягкой моды и его симметрии.</p> <p>3.3. Диффузное рассеяние нейтронов, рентгеновских лучей и электронов.</p>	<p><i>Лекции, лабораторные работы</i></p>	<p><i>Активное слушание. Решение индивидуальных задач Самостоятельная работа студентов</i></p>

Флуктуации поляризации.		
Глава 4. Нелинейные оптические эффекты. 4.1. Генерация второй гармоники. 4.2. Сегнетоэлектрические кристаллы - материалы нелинейной оптики	Лекции, лабораторные работы	Активное слушание. Решение индивидуальных задач Самостоятельная работа студентов
Глава 5. Сегнетоэластики – механические аналоги сегнетоэлектриков. 5.1. Термодинамические соотношения для сегнетоэластиков. 5.2. Сегнетоэластические домены и их наблюдение. Процессы переключения в сегнетоэластиках. 5.3. Несобственные сегнетоэлектрики. Термодинамические соотношения для несобственных сегнетоэлектриков и их основные следствия.	Лекции, лабораторные работы	Активное слушание. Решение индивидуальных задач Самостоятельная работа студентов
Глава 6. Сегнетоэлектрики с особым типом упорядочения. 6.1. Общие представления об антисегнетоэлектриках. Основные представители. 6.2. Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом. Причины размытия фазового перехода. Кинетика перехода. 6.3. Сегнетоэлектрики с магнитным упорядочением. Элементы термодинамической теории сегнетомагнетиков.	Лекции, лабораторные работы	Активное слушание. Решение индивидуальных задач Самостоятельная работа студентов
Глава 7. Несоразмерная фаза в ферромагнетиках и сегнетоэлектриках. 7.1. Причины образования несоразмерной фазы с точки зрения динамики решетки. 7.2. Солитоны.	Лекции,	Активное слушание. Самостоятельная работа студентов
Глава 8. Флексоэлектрический эффект Введение. 8.1. Нелинейная упругость и затухание звука. Сегнетоупругость. 8.2. Изменение кривизны пленки сегнетоэлектрика при поляризации – новый электромеханический эффект. 8.3. Поляризация сегнетоэлектрической пластины изгибом.	Лекции,	Активное слушание. Самостоятельная работа студентов
Глава 9. Ферроики Нелинейные эффекты пересечения: электромеханические, магнитоэлектрические.	Лекции, лабораторные работы	Активное слушание. Решение индивидуальных задач Самостоятельная работа студентов

IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

Форма проведения экзамена: студенты, освоившие программу курса, могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается 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:

ПК-2. Способен осуществлять техническое обслуживание радиоэлектронной аппаратуры:

ПК-2.1. Использует техническую документацию при работе с радиоэлектронной аппаратурой при проведении научно-исследовательских и прикладных работ.

ПК-2.2. Осуществляет работу с современными средствами измерения, применяемыми в эксперименте.

Задание:

Выполнить исследование доменной структуры сегнетоэлектрика с помощью методов атомно-силовой микроскопии.

Способ аттестации: получить изображения доменной структуры в формате jpeg

Критерии оценки:

- Имеется полный ответ, на снимках четко видны домены, обучающийся ориентируется в методе и его результате – 3 балла
- Изображение не качественное, не позволяет выделить отдельные домены – 2 балла
- Изображение не получено – 0 баллов

ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы:

ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

Задание:

Ответ на вопрос: 1. Описать гальваномагнитные эффекты в полупроводниках.

2. Экспериментальная проверка концепции "мягкой моды".

Способ аттестации: устный

Критерии оценки:

- Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.
- Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.
- Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Частотная классификация нелинейных эффектов.
2. Терминология.
3. Реверсивные нелинейные эффекты.
4. Эффекты самовоздействия.
5. Двухчастотные эффекты при близких частотах.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки решения типичных примеров:

1. Метод самосогласованного поля.
2. Свободная энергия в методе самосогласованного поля.
3. Модель ангармонических осцилляторов.
4. Модель типа порядок-беспорядок.
5. Соотношение Лиддана- Сакса-Теллера.

6. Сегнетоэлектрические фазовые переходы с точки зрения динамики кристаллической решетки. Мягкая мода.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Исследование дисперсионных зависимостей нелинейных кристаллов в неполярной и полярной фазах методами рассеяния света и нейтронов.
2. Определение собственного вектора мягкой моды и его симметрии.
3. Диффузное рассеяние нейтронов, рентгеновских лучей и электронов. Флуктуации поляризации.
4. Генерация второй гармоники.
5. Сегнетоэлектрические кристаллы - материалы нелинейной оптики

Список вопросов и заданий для проверки уровня сформированности профессиональной компетенции ОПК-2 «Способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии»

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Термодинамические соотношения для сегнетоэластиков.
2. Сегнетоэластические домены и их наблюдение.
3. Процессы переключения в сегнетоэластиках.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки решения типичных примеров:

1. Несобственные сегнетоэлектрики.
2. Термодинамические соотношения для несобственных сегнетоэлектриков и их основные следствия.
3. Общие представления об антисегнетоэлектриках.
4. Основные представители.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом.
2. Причины размытия фазового перехода.
3. Кинетика перехода.
4. Сегнетоэлектрики с магнитным упорядочением.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1) Рекомендуемая литература

а) Основная литература:

1. Нестеров А. А. Технология синтеза порошков сегнетоэлектрических фаз [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2010. — 226 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47157.html>

б) Дополнительная литература:

Алешкевич В.А. Электромагнетизм: учебник. - М.: Физматлит, 2014. - 404 с.

[Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275299>

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;

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

VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

1) *Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:*

Самостоятельная работа студентов предполагает:

–обязательное выполнение домашних заданий, предусмотренных лекционными и лабораторными занятиями;

–углубленное изучение литературы и решение задач по пройденным темам и по вопросам, дополнительно указанным преподавателем;

–использование материалов рабочей программы для систематизации знаний и подготовке к занятиям и контрольным работам

Темы для самостоятельного изучения (возможные темы для рефератов).

1. Когерентное рассеяние нейтронов псевдоспиновыми волнами
2. Исследование мягких сегнетоэлектрических мод кристаллов титаната свинца ($PbTiO_3$)
3. Мягкие моды в ниобате лития ($LiNbO_3$) и танталате лития ($LiTaO_3$)
4. Нейтронные исследования кристаллов тиогиподифосфата олова ($Sn_2P_2S_6$).
5. Затухание мягкого фонона и центральная мода (центральный пик)
6. Рэлеевское рассеяние (центральный пик) в кристаллах $LiNbO_3$ и $LiTaO_3$.

2) *Требования к рейтинг-контролю*

Результаты промежуточной аттестации выставляются на основе текущего контроля успеваемости (рейтинг-контроль, баллы за выполненные практические задания суммируются).

Рейтинг 1 (Темы: 1-5)

Рейтинг

Первая контрольная точка. Содержание модуля 1: Раздел 1-5.

30 баллов, из них 10 –текущая работа, 10- посещаемость, 10- контрольная работа. 6-ая неделя.

1. Задача на темы 1-5.

2. Теоретический вопрос

Список вопросов, выносимых в рейтинг-контроль. Первая контрольная точка.

1. Частотная классификация нелинейных эффектов. Терминология.
2. Реверсивные нелинейные эффекты.
3. Эффекты самовоздействия.
4. Двухчастотные эффекты при близких частотах.
5. Метод самосогласованного поля. Свободная энергия в методе самосогласованного поля.
6. Модель ангармонических осцилляторов.
7. Модель типа порядок-беспорядок.
8. Соотношение Лиддана-Сакса-Теллера. Сегнетоэлектрические фазовые переходы с точки зрения динамики кристаллической решетки. Мягкая мода. 9. Экспериментальная проверка концепции "мягкой моды".
10. Возможные причины исходной неустойчивости решетки (коллективный эффект Яна-Теллера).
11. Понятие о вибронной теории сегнетоэлектричества.
12. Исследование дисперсионных зависимостей нелинейных кристаллов в неполярной и полярной фазах методами рассеяния света и нейтронов.
13. Определение собственного вектора мягкой моды и его симметрии.
14. Диффузное рассеяние нейтронов, рентгеновских лучей и электронов. Флуктуации поляризации.
15. Генерация второй гармоники.
16. Сегнетоэлектрические кристаллы - материалы нелинейной оптики
17. Термодинамические соотношения для сегнетоэластиков.
18. Сегнетоэластические домены и их наблюдение. Процессы переключения в сегнетоэластиках.
19. Несобственные сегнетоэлектрики. Термодинамические соотношения для несобственных сегнетоэлектриков и их основные следствия.

Рейтинг 2 (Темы 6-9)

Вторая контрольная точка. Содержание модуля 2: Раздел 6-9.

30 баллов, из них 10 –текущая работа, 10- посещаемость, 10- контрольная работа. 10-ая неделя

1. Задача на темы 6-9

2. Теоретический вопрос

Список вопросов, выносимых в рейтинг контроль. Вторая контрольная точка

1. Общие представления об антисегнетоэлектриках. Основные представители.

2. Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом. Причины размытия фазового перехода. Кинетика перехода.

3. Сегнетоэлектрики с магнитным упорядочением. Элементы термодинамической теории сегнетомагнетиков.

4. Причины образования несоизмерной фазы с точки зрения динамики решетки.

5. Солитоны.

6. Нелинейная упругость и затухание звука. Сегнетоупругость.

7. Изменение кривизны пленки сегнетоэлектрика при поляризации - новый электромеханический эффект. 8.3. Поляризация сегнетоэлектрической пластины изгибом.

8. Нелинейные эффекты пересечения: электромеханические, магнитоэлектрические.

Критерии:

работа у доски на семинарском занятии - 3 балла,

правильный ответ на один вопрос контрольной работы - 5 баллов.

доклад на семинаре или написанный реферат (текущая работа) - 10 баллов.

VII. Материально-техническое обеспечение

Учебно-научная лаборатория физики диэлектриков, пьезоэлектриков и сегнетоэлектриков-	1. Экран настенный ScreenMedia 153*203 2. Ноутбук Samsung R 510 3. Проектор LG RD-JT90, DLP ,200 ANSI Lm, 4. Комплект учебной мебели на 24	Microsoft Windows 10 Enterprise MS Office 365 pro plus - Acrobat Reader DC - бесплатно
--	---	---

<p>полупроводников № 35 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>посадочных мест 5. Вольтметр Щ 1516 6. Вольтметр В-7-26 7. Вольтметр В-3-39 8. Генератор ГЗ-109 9. Магазин сопротивлений Р4830 10. Мост Р524 11. Мост Р-571 12. Измеритель В5-509 13. Микротвердомер ПМТ-3 14. Осциллограф С-1-65 15. Вольтметр В-3-42 16. Усилитель У4-28 17. Генератор ГЗ-34 18. Прибор Е7-11 19. Генератор ГЗ-102 20. Генератор Г-4-158 21. Частотомер ЧЗ-34 22. Вольтметр В-3-38 (2 шт) 23. Прибор КМС-6 24. Вольтметр В-7-27 25. Печь СУОП044 26. Источник питания Б-5-50 27. Измеритель Х1-38 28. Измеритель разности фаз Ф2-16 29. Прибор Picoammeter 6485 30. Пробник напряжения до 2500 В 31. Измеритель фаз Е-4-11 32. Термостат ИТИ 33. Прибор Х1-46 34. Выпрямитель ТЕС 35. Осциллограф С-1-68 36. Усилитель У5-11 37. Микроскоп 7М-9</p>	<p>Google Chrome – бесплатно</p>
<p>Учебно-научная лаборатория физики сегнето – и пирозлектриков № 45 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1. Компьютерный измерительный комплекс Cel 1.2/256Mb/Монитор Rover Scan 115GS"/плата сбора данных интегрированная ЛА-н150-14РСІ 2. Компьютер (монитор Philips 206VL, Intel Pen CPU G840/ 2x2048 Mb/ 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)</p>	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise. MS Office 365 pro plus -. Kaspersky Endpoint Security для Windows - 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</p>

	<p>9. Мост Е-7-4</p> <p>10. Измеритель ИМО-3 (2 шт)</p> <p>11. Усилитель У3-33</p> <p>12. Частотометр</p> <p>13. Источник питания (2 шт)</p> <p>14. Вольтметр (2 шт)</p> <p>15. Милливольтметр</p> <p>16. Вольтметр В-3-38</p> <p>17. Выпрямитель ТЕС</p> <p>18. Измеритель разности фаз Ф2-16</p> <p>19. Измеритель Е-7</p> <p>20. Осцилограф С-1 (6 шт)</p> <p>21. Ультротермо УТО</p> <p>22. Термостат У-4</p> <p>23. Генератор Г3-112/1</p> <p>24. Генератор Г3-33</p> <p>25. Генератор Г3-112 (2 шт)</p> <p>26. Генератор Г3-36</p> <p>27. Усилитель У2-8</p>	<p>«СофтЛайн Трейд»;</p> <p>Mathcad 15 M010 -</p> <p>Акт предоставления прав</p> <p>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.			