

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Минзарипов Р.Г.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Диэлектрическая спектроскопия в неупорядоченных системах БЗ.ДВ.5

Направление подготовки: 011200.62 - Физика

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Нигматуллин Р.Р. , Хамзин А.А.

**Рецензент(ы):**

Деминов Р.Г.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Прошин Ю. Н.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No

Казань

2014

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Нигматуллин Р.Р. Кафедра теоретической физики Отделение физики , Raoul.Nigmatullin@kpfu.ru ; доцент, к.н. (доцент) Хамзин А.А. Кафедра теоретической физики Отделение физики , Ajrat.Hamzin@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Диэлектрическая спектроскопия" являются изучение свойств широкого класса непроводящих материалов методами диэлектрической спектроскопии. Иными словами, целью этого курса является изложение базовых сведений по физике диэлектриков, чтобы понять как меняется комплексная диэлектрическая проницаемость и проводимость в широком интервале частот и температур для различных неупорядоченных материалов (некристаллические вещества, жидкости, стекла, пористые системы и др. материалы) состоящих из многих электрически активных частиц, взаимодействующих между собой на микро и наноровнях

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " БЗ.ДВ.5 Профессиональный" основной образовательной программы 011200.62 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 7 семестр.

Для освоения дисциплины необходимы знания следующих базовых дисциплин: математический анализ, дифференциальные уравнения, теория вероятностей, электродинамика (электростатика, взаимодействие вещества и поля) элементарные сведения по квантовой механике (понятие оператора, гамильтониана и кв.-мех. среднего), некоторые базовые сведения по термодинамике и статистической физике (распределение и формула Больцмана, формула Ланжевена и др.) излагаются по ходу курса. Освоение этой дисциплины будет способствовать успешной профессиональной деятельности, позволит глубже понять основы поведения различных неупорядоченных структур, изучаемых методами диэлектрической спектроскопии. Эти структуры привлекают к себе широкий интерес (особенно в последнее время), так как входят в различные технологические циклы и цепочки и ряд параметров, характеризующих их коллективное поведение, могут быть измерены и рассчитаны в рамках ДС. Овладение этими методами позволит в дальнейшем успешно изучать курсы общенаучного и профессионального циклов основной образовательной программы магистратуры, а также связанных с изучением различных нанотехнологий.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-7 (общекультурные компетенции)	способностью к самоорганизации и самообразованию
ОПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей
ОПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
ПК-4 (профессиональные компетенции)	готовностью применять на практике профессиональные знания теории и методов способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

основы поведения диэлектриков в постоянном и переменном электрическом поле

Знать основы метода диэлектрической спектроскопии и способы измерения комплексной диэлектрической проницаемости (КДП).

Знать основные базовые модели, (их пределы применимости) для описания поведения непроводящих веществ в постоянных и переменных электрических полях

2. должен уметь:

рассчитать функцию КДП и сопоставить её с измеренными данными

3. должен владеть:

Иметь представление о различных методах анализа КДП и уметь применять их для расчета термодинамических параметров извлекаемых из реальных спектров

Знать как обрабатывать реальные спектры.

Владеть англоязычной терминологией, связанной с этим курсом.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

к дальнейшему обучению

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 7 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение в физику диэлектриков. Поляризация диэлектрика.	7	1-4	6	6	0	домашнее задание
2.	Тема 2. Диэлектрическая проницаемость	7	5-8	8	8	0	коллоквиум
3.	Тема 3. Диэлектрическая релаксация	7	9-11	6	6	0	домашнее задание
4.	Тема 4. Фрактальная физика диэлектриков	7	12-14	6	6	0	контрольная работа
5.	Тема 5. Дробная кинетика диэлектриков	7	15-18	6	6	0	презентация
	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	зачет
	Итого			32	32	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Введение в физику диэлектриков. Поляризация диэлектрика.

###### *лекционное занятие (6 часа(ов)):*

Диэлектрик в статическом поле. Электрический дипольный момент. Виды поляризаций. Диэлектрик в переменном поле. Поляризуемость. неполярные диэлектрики. Поле Лоренца. Стационарное поле Клаузиуса-Мосотти.

###### *практическое занятие (6 часа(ов)):*

Теория Дебая. Поле Онсагера. Уравнение Кирквуда-Фрелиха. Корреляционный фактор Кирквуда.

##### Тема 2. Диэлектрическая проницаемость

###### *лекционное занятие (8 часа(ов)):*

Диэлектрические функции отклика в линейном приближении. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Фактор диэлектрических потерь. Соотношения Крамерса-Кронига. Диэлектрическая релаксация и диэлектрический резонанс.

###### *практическое занятие (8 часа(ов)):*

Распределение времен релаксации. Эмпирические функции, предложенные для описания комплексной восприимчивости.

### **Тема 3. Диэлектрическая релаксация**

**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Микроскопические и макроскопические функции дипольной корреляции. Длинно-действующие и коротко-действующие функции дипольной корреляции. Теория Фултона.

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Модели диэлектрической релаксации. Вращательная диффузия.

### **Тема 4. Фрактальная физика диэлектриков**

**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Краткий анализ различных экспериментальных методов, применяемых в диэлектрической спектроскопии (частотные и временные методы). Фракталы и их применение в физике диэлектриков для описания неоднородных сред.

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Модель случайных фракталов и её применение для описания пористых сред. Проницаемость и проводимость в модели случайных фракталов.

### **Тема 5. Дробная кинетика диэлектриков**

**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Новые методы описания диэлектрических спектров. Дробный интеграл и дробная производная и их физическое/геометрическое истолкование. Основы дробного исчисления. Современные методы анализа диэлектрических данных. Новые форматы и их значение для распознавания подгоночных функций. Метод собственных координат.

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Современная теория диэлектрической спектроскопии, основанная на дробной кинетике. Её возможности и пределы применимости для интерпретации диэлектрических спектров.

## **4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

<b>N</b>	<b>Раздел Дисциплины</b>	<b>Семестр</b>	<b>Неделя семестра</b>	<b>Виды самостоятельной работы студентов</b>	<b>Трудоемкость (в часах)</b>	<b>Формы контроля самостоятельной работы</b>
1.	Тема 1. Введение в физику диэлектриков. Поляризация диэлектрика.	7	1-4	подготовка домашнего задания	8	домашнее задание
2.	Тема 2. Диэлектрическая проницаемость	7	5-8	подготовка к коллоквиуму	10	коллоквиум
3.	Тема 3. Диэлектрическая релаксация	7	9-11	проверка домашнего задания	8	домашнее задание
4.	Тема 4. Фрактальная физика диэлектриков	7	12-14	подготовка к контрольной работе	8	контрольная работа
5.	Тема 5. Дробная кинетика диэлектриков	7	15-18	подготовка к презентации	10	презентация
	Итого				44	

## **5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

Виды учебной работы: лекции, практические занятия, подготовка рефератов и их презентаций по статьям, связанными с работами авторов, активно работающих в области диэлектрической спектроскопии

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Введение в физику диэлектриков. Поляризация диэлектрика.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Обзор современных теорий диэлектрической поляризации (Бётчер, Нейнхаус, Рамшау, Омни и др.)

### **Тема 2. Диэлектрическая проницаемость**

коллоквиум , примерные вопросы:

Вопросы коллоквиума: 1. Основные определения: статическая проницаемость и восприимчивость. Учет влияния внутреннего поля в рамках электростатики. Реактивное поле. Уравнение Кирквуда-Фрелиха. 2. Функции диэлектрического отклика. Линейный принцип суперпозиции. Комплексная диэлектрическая проницаемость и проводимость. Соотношения Крамерса-Кронига. 3. Диэлектрическая релаксация и диэлектрический резонанс. Функция распределения времен релаксации. Основные функции, описывающие распределение комплексной проницаемости (Коул-Коул, Коул-Девидсон, Гаврильяк-Негами).

### **Тема 3. Диэлектрическая релаксация**

домашнее задание , примерные вопросы:

Поступательное движение электрических диполей. Формализм функции памяти.

### **Тема 4. Фрактальная физика диэлектриков**

контрольная работа , примерные вопросы:

Вопросы контрольной работы: 1. Диэлектрик в стационарном поле. Сравнение различных методов по расчету локальных полей. 2. Нестационарные поля и поведение диэлектрика в переменном электрическом поле. 3. Комплексная восприимчивость и проницаемость. Способы анализа диэлектрических спектров. 4. Методы описания гетерогенных диэлектриков, основанные на фрактальной геометрии.

### **Тема 5. Дробная кинетика диэлектриков**

презентация , примерные вопросы:

Подготовка и самостоятельные выступления по письменному реферату, связанному с оригинальной научной статьей по физике диэлектриков. Каждый студент обязан разобрать научную статью, связанную с физикой диэлектриков и ориентированной преимущественно на анализ диэлектрических спектров и составить по ней устный и письменный отчет. Оригинальные статьи написаны современными исследователями, профессионально работающими в физике диэлектриков. Для их понимания необходимо знать и понимать основные вопросы физики диэлектриков, которые разбираются на лекционных и практических занятиях.

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

Регламент БРС:

Коллоквиум - 15 баллов

Контрольная работа - 15 баллов

Реферат и презентация по оригинальной статье - 20 баллов

Зачет -50 баллов

Вопросы к зачету:

1. Диэлектрик в статическом поле. Электрический дипольный момент. Виды поляризаций.

2. Диэлектрик в переменном поле. Поляризуемость. неполярные диэлектрики.
3. Поле Лоренца. Стационарное поле Клаузиуса-Мосотти. Теория Дебая. Поле Онсагера.
4. Уравнение Кирквуда-Фрелиха. Корреляционный фактор Кирквуда.
5. Диэлектрические функции отклика в линейном приближении. Комплексная диэлектрическая проницаемость.
6. Соотношения Крамерса-Кронига.
7. Диэлектрическая релаксация и диэлектрический резонанс.
8. Эмпирические функции, предложенные для описания комплексной восприимчивости.
9. Микроскопические и макроскопические функции дипольной корреляции. Длинно-действующие и коротко-действующие функции дипольной корреляции.
10. Теория Фултона. Модели диэлектрической релаксации.
11. Экспериментальных методов, применяемых в диэлектрической спектроскопии.
12. Модель случайных фракталов и её применение для описания пористых сред. Проницаемость и проводимость в модели случайных фракталов.
13. Дробный интеграл и дробная производная и их физическое/геометрическое истолкование. Основы дробного исчисления.
14. Теория диэлектрической спектроскопии, основанная на дробной кинетике.

### 7.1. Основная литература:

- 1.Аминов, Л.К. Термодинамика и статистическая физика: конспекты лекций и задачи : для студентов физического факультета / Л.К. Аминов; Казан. гос. ун-т, Физ. фак..?Казань: Издательство Казанского государственного университета, 2008.?179 с.
- 2.Аминов, Л.К. Термодинамика и статистическая физика: конспекты лекций и задачи : для студентов физического факультета / Л.К. Аминов; Казан. гос. ун-т, Физ. фак..-Казань: Издательство Казанского государственного университета, 2008.-179 с  
[http://kpfu.ru/docs/F2096324044/Thermodynamics\\_and\\_statistical\\_physics.pdf](http://kpfu.ru/docs/F2096324044/Thermodynamics_and_statistical_physics.pdf)
- 3.Ландау, Л.Д. Статистическая физика: Учеб.пособие для студ.ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского.-М.: Физматлит, Б.г..-(Теоретическая физика;Т.5). Ч.1.-5-е изд.,стереотип..-2005.-616 с. <http://e.lanbook.com/view/book/2230/>

### 7.2. Дополнительная литература:

- 1.Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики. - изд.Лань. - 2007. - 448с.  
<http://e.lanbook.com/view/book/692/>
- 2.Термодинамика, статистическая физика и кинетика : учебное пособие / Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин .? Издание 3-е, стереотипное .? Новосибирск : Изд-во Новосибирского университета : Сибирское университетское изд-во, 2001 .? 608 с. ? Библиогр.: с.604-605 .? ISBN 5-7615-0511-2 : 151.89 .? ISBN 5-94087-025-2.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

- Jonscher A.K. Dielectric Relaxation in Solids, Chelsea Dielectric Press, London, 1983. - <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/solidstate.htm>.
- Nigmatullin R.R. - [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_physics/1229/](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/1229/).
- Nigmatullin R.R. and Le Mehaute A. - [http://www.sgu.ru/faculties/fnbmt/docs/solid\\_body/3.php](http://www.sgu.ru/faculties/fnbmt/docs/solid_body/3.php).
- сайт кафедры теоретической физики - <http://www.ksu.ru/f6/k2/index.php>
- ЭБС КнигаФонд - <http://www.knigafund.ru>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)



Освоение дисциплины "Диэлектрическая спектроскопия в неупорядоченных системах" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Аудитории для проведения занятий.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011200.62 "Физика" и профилю подготовки не предусмотрено.

Автор(ы):

Нигматуллин Р.Р. \_\_\_\_\_

Хамзин А.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Деминов Р.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.