

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Программа одобрена
на заседании
Ученого совета ИТПЭ РАН

Протокол № 2
« 12 » апреля 2022 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор
д.ф.-м.н.



/К.Н. Розанов/

« 12 » апреля 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Электрофизические свойства наноструктурированных
магнитодиэлектрических материалов»
(наименование дисциплины)

Дисциплина по выбору

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ:

1.3.13. - Электрофизика, электрофизические установки
(код и наименование направления подготовки)

Физико-математические, технические науки
(отрасль науки)

Форма обучения: **очная**

Москва, 2022 г.

1. Цели и задачи дисциплины

Целью курса является изучение аспирантами основных механизмов, формирующих частотную дисперсию магнитных свойств материалов в ВЧ и СВЧ диапазонах, а также основных закономерностей, присущих этим механизмам.

Предполагается изложение теорий ферромагнитного резонанса и доменной структуры, знакомство с основными экспериментальными методами, применяемыми для исследования высокочастотных магнитных свойств материалов, знакомство с основными техническими приложениями, использующими высокочастотные магнитные свойства материалов, анализ основных особенностей динамических магнитных свойств наноструктурированных материалов.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к *вариативным* дисциплинам программы аспирантуры. Изучается на 1 семестре 3 курса. Форма контроля – зачет.

свойства наноструктурированных магнитодиэлектрических материалов, используемых в новых технологиях.

3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, в том числе 1,5 зачетные единицы аудиторных занятий и 2,5 зачетные единицы самостоятельной работы.

4. Содержание разделов дисциплины

| № п/п | Разделы и темы занятий | Содержание | Объем | |
|-------|---|--|--------------------------|-------------------------------|
| | | | Аудиторная работа (часы) | Самостоятельная работа (часы) |
| 1. | Природа магнитного упорядочения в твердых телах. | Природа магнитного упорядочения в твердых телах. Обменное взаимодействие. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Магнитостатические свойства магнитных материалов. Гистерезис. Доменная структура. Движение доменных границ. | 9 | 10 |
| 2. | Высокочастотные свойства магнитных материалов | Уравнение Ландау–Лифшица. Ферромагнитный и антиферромагнитный резонансы. Частотная дисперсия магнитной проницаемости. Закон Снуга. Скин-эффект и его влияние на динамическую магнитную проницаемость. | 9 | 16 |
| 3. | Особенности СВЧ магнитной проницаемости | Особенности СВЧ магнитной проницаемости в тонких ферромагнитных пленках. Динамическая магнитная проницаемость ферритов. Частотная дисперсия магнитной проницаемости в композитных материалах. | 9 | 14 |
| 4. | Применения магнитных материалов в технике СВЧ. | Применения магнитных материалов в технике СВЧ (радиопоглопители, антенны на диэлектрической подложке, резонаторы, фильтры, индукторы). Гиротропия магнитной проницаемости и ее применения в технике СВЧ. | 9 | 14 |
| 5. | Особенности измерения динамической магнитной проницаемости в ВЧ и СВЧ диапазонах. | Особенности измерения динамической магнитной проницаемости в ВЧ и СВЧ диапазонах. | 9 | 18 |
| 6. | Искусственный магнетизм | Эффективная динамическая магнитная проницаемость в отсутствие | 9 | 18 |

| | | | |
|--------|---|----|----|
| | постоянного магнитного момента (искусственный магнетизм). | | |
| Всего: | | 54 | 90 |

Самостоятельная работа:

| № п.п. | Темы | Трудоёмкость (количество часов) |
|----------------------|---|------------------------------------|
| 1 | - изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, методические пособия. | 42 часа |
| 2 | - решение задач по заданию преподавателя – решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце семестра, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные, учебно-методические пособия. | 36 часов |
| 3 | -подготовка к зачету | 12 часов |
| ВСЕГО (часов) | | 90 часов |

5. Ресурсное обеспечение

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретический курс физики в 10 томах. Т. 5. Электродинамика сплошных сред. / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Под ред. Л.П. Питаевского. М.: Физматлит, 2005.
2. Бозорт Р. Ферромагнетизм, М.: Изд-во ин. литературы, 1956.
3. Гуревич А.Г., Мелков Г.А. Магнитные колебания и волны, М.: Физматлит, 1994.
4. К.Н.И. Buschow and F.R. de Boer, Physics of Magnetism and Magnetic Materials, Kluwer Academic Publishers, 2003.
5. Вонсовский С.В. Магнетизм, М. Наука, 1971.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. R. Skomski, Nanomagnetism, J. Phys.: Condens. Matter., vol. 15, 2003, pp. R841–R896.
2. R. Ramprasad, P. Zurcher, M. Petras, et al. Magnetic properties of metallic ferromagnetic nanoparticle composites, J. Appl. Phys., vol. 96, N. 1, 2004, pp. 519–529.
3. J.L. Mattei, M. Le Floch, Percolative behaviour and demagnetizing effects in disordered heterostructures, J. Magn. Magn. Mater., vol. 257, N. 2–3, 2003, pp. 335–345.
4. D.C. Jiles, D.L. Atherton, Theory of ferromagnetic hysteresis, J. Appl. Phys., vol. 55, N. 6, 1984, pp. 2115–2120.
5. A.N. Lagarkov, K.N. Rozanov, High-frequency behavior of magnetic composites, J. Magn. Magn. Mater., vol. 321, 2009, pp. 2082–2092.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»

Ссылки на ресурсы приведены в ООП.

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Институт располагает материально-технической базой, соответствующей действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебными планами аспирантов, а также эффективное выполнение диссертационной работы. Лаборатории Института оснащены оборудованием для проведения научных исследований в области электрофизики, электродинамики, техники СВЧ и родственных направлений в соответствии с паспортом специальности.

В Институте построены уникальные установки для экспериментальных исследований.

Библиотека с читальным залом, книжный фонд которой составляет специализированная методическая и учебная литература, журналы.

Залы, оснащенные компьютером с проектором, обычной доской – для проведения семинаров, лекционных и практических занятий.

7. Образовательные технологии. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Обучение по дисциплине ведется с применением как традиционных методов, так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах, представление докладов на научные конференции, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе и по теме диссертации, освоение новых средств автоматизации и компьютеризации выполняемых научных исследований.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

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

Контрольные темы для проведения текущего контроля:

1. Природа магнитного упорядочения в твердых телах. Обменное взаимодействие. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм.
2. Магнитостатические свойства магнитных материалов. Гистерезис и методы его измерения и анализа.
3. Доменная структура. Движение доменных границ.
4. Уравнение Ландау–Лифшица. Ферромагнитный и антиферромагнитный резонансы.
5. Частотная дисперсия магнитной проницаемости. Закон Снука.
6. Скин-эффект и его влияние на динамическую магнитную проницаемость.
7. Особенности СВЧ магнитной проницаемости в тонких ферромагнитных пленках.
8. Динамическая магнитная проницаемость ферритов.
9. Частотная дисперсия магнитной проницаемости в композитных материалах.
10. Применения магнитных материалов в технике СВЧ (радиопоглотители, антенны на диэлектрической подложке, резонаторы, фильтры, индукторы).
11. Гиروتропия магнитной проницаемости и ее применения в технике СВЧ.
12. Измерение магнитной проницаемости материалов в ВЧ диапазоне.
13. Полосковый метод измерения магнитной проницаемости материалов.
14. Измерение магнитной проницаемости методом Николсона–Росса–Уира.
15. Эффективная динамическая магнитная проницаемость в отсутствие постоянного магнитного момента (искусственный магнетизм).

Зам.директора
по научной работе ИТПЭ РАН



А.М. Мерзликин

Программу разработал



К.Н. Розанов

Ученый секретарь, заведующий
аспирантурой ИТПЭ РАН



А.Т. Кунавин