

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 10.08.2023 16:23:31  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько



«30»

мая

2023 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Микромагнетизм**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: д.ф.-м.н., профессор Пастушенков Ю.Г.

Тверь, 2023

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

*Целью* изучения дисциплины «Микромагнетизм» является освоение одного из наиболее эффективных современных методов анализа структурно-чувствительных характеристик магнитных материалов, позволяющего выполнять анализ природы высококоэрцитивного состояния магнитных материалов и целенаправленно формировать заданные свойства новых функциональных материалов. Данная дисциплина обеспечивает подготовку для успешного прохождения учебной и производственной практик, готовит необходимую основу для выполнения курсовых и квалификационных работ. Курс «Микромагнетизм» является одним из завершающих курсов профиля подготовки «Физика магнитных явлений».

*Задачей* освоения дисциплины является овладение знаниями, умениями и навыками в рамках микромагнитного подхода к решению актуальных практических задач физики магнитных явлений.

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

Дисциплина «Микромагнетизм» изучается в модуле «Магнитные материалы в радиофизике» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Содержательно она развивает положения курсов по выбору «Современные проблемы ФМЯ», «Физика магнитных явлений Ч.1», «Магнетизм в конденсированных средах» и используется для формирования общепрофессиональной компетенции ОПК-2 «Способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии».

Уровень начальной подготовки обучающегося для успешного освоения дисциплины «Микромагнетизм»: знать основные положения курсов «Электричество и магнетизм», «Магнетизм в конденсированных средах», «Процессы перемагничивания магнетиков», «Физика магнитных явлений».

Освоение данной дисциплины необходимо для успешного прохождения практик и выполнения курсовой и выпускной работ.

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

**контактная аудиторная работа:** лекции 30 часов, практические занятия 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-3. Способен осуществлять разработку радиоэлектронных средств.	ПК-3.1. Осуществляет анализ радиоматериалов и материалов для создания несущих конструкций радиоэлектронных средств.
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		Практические занятия		
		всего	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	
1.История возникновения микромагнитного подхода в теории магнетизма. Терминология, предмет исследования, основные направления, микромагнитные задачи.	14	4		2		8
2.Постановка задачи микромагнетизма. Уравнения Брауна.	16	4		4		8
3.Линеаризованные уравнения Брауна. Применение линеаризованных уравнений. Анализ процесса перемагничивания цилиндрических ферромагнитных частиц.	16	4		4		8
4.Магнитная доменная структура. Задача о доменной границе. Типы доменных границ. Основные микромагнитные параметры магнетиков.	17	5		6		8
5.Магнитная структура мелких ферромагнитных частиц. Однодоменное состояние. Понятие абсолютной однодоменности.	16	4		4		8
6.Микромагнитное описание петель гистерезиса. Петли гистерезиса материалов с задержкой образования и роста доменов обратного знака и с задержкой смещения доменных границ, сравнение результатов расчетов с экспериментом.	20	5		6		9
7.Микромагнитное описание гистерезисных свойств новых функциональных материалов, в том числе наноструктурных и композиционных.	16	4		4		8
<b>Экзамен</b>	27					27
<b>ИТОГО</b>	144	30		30		84

### III. Образовательные технологии

Учебная программа-наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
1.История возникновения микромагнитного подхода в теории магнетизма. Терминология, предмет исследования, основные направления, микромагнитные задачи.	<i>Лекции, занятия</i> <i>практические</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
2.Постановка задачи микромагнетизма. Уравнения Брауна.	<i>Лекции, занятия</i> <i>практические</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
3.Линеаризованные уравнения Брауна. Применение линеаризованных уравнений. Анализ процесса перемагничивания цилиндрических ферромагнитных частиц.	<i>Лекции, занятия</i> <i>практические</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
4.Магнитная доменная структура. Задача о доменной границе. Типы доменных границ. Основные микромагнитные параметры магнетиков.	<i>Лекции, занятия</i> <i>практические</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
5.Магнитная структура мелких ферромагнитных частиц. Однодоменное состояние. Понятие абсолютной однодоменности.	<i>Лекции, занятия</i> <i>практические</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
6.Микромагнитное описание петель гистерезиса. Петли гистерезиса материалов с задержкой образования и роста доменов обратного знака и с задержкой смещения доменных границ, сравнение результатов расчетов с экспериментом.	<i>Лекции, занятия</i> <i>практические</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
7.Микромагнитное описание гистерезисных свойств новых функциональных материалов, в том числе наноструктурных и композиционных.	<i>Лекции, занятия</i> <i>практические</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>

#### **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-3. Способен осуществлять разработку радиоэлектронных средств:**

ПК-3.1. Осуществляет анализ радиоматериалов и материалов для создания несущих конструкций радиоэлектронных средств.

**Задание: ответ на вопрос:**

1. Назвать основные фундаментальные характеристики магнитных материалов.

2. Назвать основные структурно чувствительные характеристики магнитных материалов.

3. Назвать основные фундаментальные характеристики магнитных материалов.

4. Определять основные структурно чувствительные характеристики магнитных материалов.

5. Привести примеры источников магнитных полей.

6. Назвать величину предельного магнитного поля, которое можно получить в лабораторных условиях.

7. Назвать предельное значение энергетического произведения безредкоземельных постоянных магнитов на основе переходных 3d-элементов.

8. Назвать предельное значение энергетического произведения безредкоземельных постоянных магнитов на основе переходных 3d-элементов.

**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.

**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:**

**Выполнить тест:**

1. Как называется подход к описанию свойств ферромагнетиков, впервые предложенный в работе Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшица, получивший в дальнейшем название микромагнитного?

- микроскопический;
- континуальный;
- из первых принципов;
- феноменологический.

2. Какая характеристика магнетика является основной при микромагнитном описании?

- коэрцитивная сила;
- восприимчивость;
- проницаемость;
- намагниченность.

3. Какая связь устанавливается с помощью микромагнитного подхода?

- структура-свойства;
- намагниченность-температура;
- анизотропия-давление;
- коэрцитивная сила-форма образца.

4. Какой подход в теории магнетизма позволяет учесть влияние структурных особенностей образца на его магнитные свойства?

- квантово-механический;
- феноменологический на основе уравнений Максвелла;
- микромагнитный.

5. Какая доменная граница не создает магнитных полей в объеме магнетика?

- доменная граница Блоха;
- доменная граница Нееля;
- доменная граница с поперечными связями.

6. Какой метод устанавливает связь расстояния между доменными границами на базисной плоскости одноосного высокоанизотропного магнетика и поверхностной плотностью энергии доменных границ?

- метод Ч. Киттеля;
- метод Г.С. Кандауровой;
- метод Боденбергера-Хуберта;
- метод Р. Шимчак.

7. Какая характеристика магнитного материала позволяет назвать его высокоанизотропным?

- намагниченность;
- константа анизотропии;
- фактор качества;
- коэрцитивная сила.

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:**

Правильно выбран вариант ответа -1 балл

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

1) Рекомендуемая литература

а) Основная литература:



1. Зисман Г. А. Курс общей физики. В 3-х тт. Т.2. Электричество и магнетизм [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.А. Зисман, О.М. Тодес. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2007. — 352 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/151>.

2. Савельев И. В. Курс общей физики. В 3 т. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: Учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 500 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/98246>.

б) Дополнительная литература:

3. Электричество и магнетизм [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ш.А. Пиралишвили [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 160 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91880>.

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

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

1) Вопросы для самоподготовки.

1. История возникновения микромагнитного подхода в теории магнетизма. Терминология, предмет исследования, основные направления, микромагнитные задачи.

2. Постановка задачи микромагнетизма. Уравнения Брауна.

3. Линеаризованные уравнения Брауна. Применение линеаризованных уравнений.
4. Анализ процесса перемагничивания цилиндрических ферромагнитных частиц.
5. Магнитная доменная структура. Задача о доменной границе. Типы доменных границ. Основные микромагнитные параметры магнетиков.
6. Магнитная структура мелких ферромагнитных частиц. Однодоменное состояние. Понятие абсолютной однодоменности.
7. Микромагнитное описание петель гистерезиса. Петли гистерезиса материалов с задержкой образования и роста доменов обратного знака и с задержкой смещения доменных границ, сравнение результатов расчетов с экспериментом.
8. Микромагнитное описание гистерезисных свойств новых функциональных материалов, в том числе наноструктурных и композиционных.

2) Требования к рейтинг-контролю.

За первый модуль предусмотрено 30 баллов.

За второй модуль также предусмотрено 30 баллов.

**Вопросы и задания для подготовки к рейтинг-контролю.**

1. Покажите, что единицей измерения величины, определяемой выражением  $\frac{2K_1}{\mu_0 I_s}$ , в системе СИ является Тесла. Как называется эта величина?
2. Покажите, что единицей измерения величины, определяемой выражением  $\frac{2K_1}{I_s}$ , в системе СГС является Эрстед. Как называется эта величина?
3. Покажите, что единицей измерения величины, определяемой выражением  $\mu_0 I_s$ , в системе СИ является Тесла.
4. Покажите, что фактор качества  $q = \frac{K}{2\pi I_s^2}$  (СГС) является безразмерной величиной.

5. Покажите, что фактор качества  $q = \frac{K}{2\pi\mu_0 I_s^2}$  (СИ) является безразмерной величиной.
6. Покажите, что энергетическое произведение  $(BH)_{\max}$  измеряется в Дж/м<sup>3</sup>.
7. Найдите коэффициент перехода от системы СИ к системе СГС для энергетического произведения постоянного магнита  $(BH)_{\max}$
8. Рассчитайте фактор качества для кобальта.
9. Запишите значения намагниченности железа, кобальта и никеля.
10. Запишите значения температур Кюри железа, кобальта и никеля.
11. Запишите значения первой константы анизотропии железа, кобальта и никеля.
12. Запишите выражение для поверхностной плотности энергии 180-градусной доменной границы Блоха и рассчитайте ее энергию в железе.
13. Запишите выражение для поверхностной плотности энергии 180-градусной доменной границы Блоха и рассчитайте ее энергию в кобальте.
14. Запишите выражение для поверхностной плотности энергии 180-градусной доменной границы Блоха и рассчитайте ее энергию в никеле.
15. Запишите выражение для толщины 180-градусной доменной границы Блоха и рассчитайте ее энергию в железе.
16. Запишите выражение для толщины 180-градусной доменной границы Блоха и рассчитайте ее энергию в кобальте.
17. Запишите выражение для толщины 180-градусной доменной границы Блоха и рассчитайте ее энергию в никеле.
18. Запишите выражение для определения критического радиуса однодоменного состояния ферромагнитной частицы и рассчитайте его для железа.
19. Запишите выражение для определения критического радиуса однодоменного состояния ферромагнитной частицы и рассчитайте его для кобальта.
20. Запишите выражение для определения критического радиуса однодоменного состояния ферромагнитной частицы и рассчитайте его для никеля.
21. Запишите формулу Брауна для поля зародышеобразования в эллипсоидальной ферромагнитной частице.

22. Запишите выражение, определяющее теоретический предел энергетического произведения постоянного магнита и определите его для случая магнитов типа Nd-Fe-B. Индукция насыщения магнитов этого типа равна 1,3 Тл.
23. Запишите выражение, определяющее теоретический предел энергетического произведения постоянного магнита и определите его для случая магнитов типа Nd-Fe-B. Индукция насыщения магнитов этого типа равна 1,0 Тл.
24. Как связаны между собой значение энергетического произведения постоянного магнита и объемная плотность энергии создаваемого им магнитного поля?

## VII. Материально-техническое обеспечение

<p>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, Лекционная аудитория № 227 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1. Проектор Panasonic PT-VW340ZE 2. экран ScreenMedia 3. Ноутбук (переносной) 4. Комплект учебной мебели на 60 посадочных мест 5. Меловая доска</p>	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise. MS Office 365 pro plus . Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно</p>
--	--	--

## VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

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