

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 25.09.2022 12:11:07
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4f1cc2ad1bf35f08

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)

Микромагнетизм

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

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

[Handwritten signature]

Тверь, 2022

I. Аннотация

1. Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

Микромагнетизм

2. 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.

3. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Микромагнетизм» входит в вариативную часть учебного плана ООП и относится к дисциплинам по выбору - дисциплины по углублению профессиональных компетенций. Шифр дисциплины Б1.В.ДВ.11.01. Содержательно она развивает положения курсов по выбору «Современные проблемы ФМЯ», «Физика магнитных явлений (ч.1)», «Магнетизм в конденсированных средах» и используется для углубления профессиональных компетенций в области научно исследовательской (ПК-1, ПК-2) и научно-инновационной (ПК-3) деятельности (способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1); способность 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-2); готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований (ПК-3)).

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 Ч.1».

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

4. Объем дисциплины: 6 зачетных единиц, 216 академических часов, в том числе **контактная работа:** лекции 32 часа, практические занятия 32 часа, **самостоятельная работа:** 152 часа.

В учебном плане 2014 г.н. **объем дисциплины:** 4 зачетных единицы, 144 академических часов, в том числе **контактная работа:** лекции 28 часов, практические занятия 28 часов, **самостоятельная работа:** 88 часа.

5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	<p>Уметь: использовать базовые знания курса общей физики для постановки актуальных задач микромагнетизма.</p> <p>Знать: основные понятия и законы физики электрических и магнитных явлений.</p>
<p>ПК-2 способность проводить</p>	<p>Уметь: ставить и решать актуальные задачи в области физики гистерезисных процессов в</p>

<p>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</p>	<p>высококоэрцитивных материалах.</p> <p>Знать: базовые представления о наиболее важном с практической точки зрения подходе к анализу взаимосвязи структура – свойства современных магнитных материалов, применяемых для создания нового поколения приборов и устройств, широко используемых в различных отраслях техники.</p>
<p>ПК-3 Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований.</p>	<p>Уметь: ставить микромагнитные задачи, применительно к конкретным магнитным материалам.</p> <p>Знать: основные положения микромагнитного подхода.</p>

6. Форма промежуточной аттестации экзамен (7 семестр).

7. Язык преподавания русский

II. Содержание дисциплины, структурированное по темам 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 (час.)
		Лекции	Практические занятия	
1.История возникновения микромагнитного подхода в теории магнетизма. Терминология, предмет исследования, основные направления, микромагнитные задачи.	20	4	4	12
2.Постановка задачи микромагнетизма. Уравнения Брауна.	20	4	4	12
3.Линеаризованные уравнения Брауна. Применение линеаризованных уравнений. Анализ процесса перемагничивания цилиндрических ферромагнитных частиц.	10	4	4	2
4.Магнитная доменная структура. Задача о доменной границе. Типы доменных границ. Основные микромагнитные параметры магнетиков.	10	4	4	2
5.Магнитная структура мелких ферромагнитных частиц. Однодоменное состояние. Понятие абсолютной однодоменности.	10	4	4	2
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	4	4	12

7. Микромагнитное описание гистерезисных свойств новых функциональных материалов, в том числе наноструктурных и композиционных.	18	4	4	10
8. Экзамен	36			36
ИТОГО	216	32	32	152

III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Вопросы для самоподготовки.
2. Вопросы и задания к рейтинг-контролю.

IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Наряду с другими дисциплинами учебного плана дисциплина «Микромагнетизм» участвует в формировании профессиональных компетенций ПК-1 «Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин», ПК-2 «Способность 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-3 «Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований».

Форма проведения промежуточной аттестации: студенты, освоившие программу курса могут сдать экзамен по итогам рейтинговой аттестации согласно «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.).

1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-1 «Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин».

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Уметь начальный	1. Оценить энергию обменного взаимодействия в железе, кобальте и никел. 2. Рассчитать в магнетонах Бора магнитный момент, приходящийся на один атом в Fe.	Умение делать простейшие количественные оценки.
промежуточный	1. Перечислить возможные моды перемагничивания цилиндрических однодоменных частиц. 2. Рассчитать основные критические размеры, определяющие характер процессов перемагничивания в цилиндрических однодоменных частицах.	Знание закономерностей перемагничивания однодоменных частиц.
Знать Начальный	1. Записать формулу для магнитного момента кругового тока. 2. Записать формулу для намагниченности вещества.	Знание основ электромагнетизма.
Промежуточный	1. Записать формулу для оценки энергии	Знание основ

	<p>электростатического взаимодействия точечных зарядов.</p> <p>2. Записать формулу для энергии взаимодействия магнитных моментов.</p>	электромагнетизма.
--	---	--------------------

2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-2 «Способность 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»

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Уметь начальный	<p>1. Оценить, к какому классу материалов по характеру анизотропии относятся Fe, Co и Ni.</p> <p>2. Определить фактор качества для Fe, Co и Ni.</p>	Умение охарактеризовать магнитный материал.
промежуточный	<p>1. Определить поле анизотропии основных магнитотвердых материалов SmCo_5, $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$.</p> <p>2. Рассчитать в магнетонах Бора магнитный момент, который приходится на одну формульную единицу в интерметаллиде</p>	Умение выполнять оценки фундаментальных и структурно-чувствительных характеристик магнитных материалов.

	$Nd_2Fe_{14}B$.	
Знать Начальный	1. Записать классическое уравнение Брауна и пояснить физический смысл входящих в него членов. 2. Записать уравнение Брауна для случая когерентного вращения.	Знание основ микромагнитного подхода.
Промежуточный	1. Записать уравнение Брауна, адаптированное для описания гистерезисных свойств реального магнита с задержкой зародышеобразования. 2. Каким образом в выражении для поля зародышеобразования учитывают особенности микроструктуры материалов?	Знание основ микромагнитного подхода.

3. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-3 «Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований».

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Уметь начальный	1. Что надо сделать, чтобы определить энергетическое произведение	Знание основных методов определения характеристик

	<p>постоянного магнита?</p> <p>2. Как узнать теоретический предел коэрцитивной силы магнитотвердого материала?</p>	постоянных магнитов.
промежуточный	<p>1. Записать выражение для теоретического предела энергетического произведения постоянного магнита?</p> <p>2. Какова должна быть коэрцитивная сила магнита, чтобы можно было реализовать его максимальное энергетическое произведение?</p>	Умение анализировать потенциальные возможности магнитотвердых материалов.
Знать Начальный	<p>1. В чем состоит континуальный подход в микромагнетизме?</p> <p>2. Основная характеристика магнетика в микромагнетизме.</p>	Знание основ микромагнитного подхода.
Промежуточный	<p>1. Почему микромагнетизм называют мезоскопической теорией?</p> <p>2. Сформулируйте достоинства и недостатки модели Френкеля-Гейзенберга для описания свойств магнетиков.</p>	Знание места микромагнетизма в физике магнитных явлений..

V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) Основная литература:

1. Боровик, Е.С. Лекции по магнетизму [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е.С. Боровик, В.В. Еременко, А.С. Мильнер. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2005. — 512 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2118> .
2. 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>.
3. 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:

1. 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>.

VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Программное обеспечение, информационные справочные системы и Интернет-ресурсы физико-технического факультета:

1. Научная библиотека ТвГУ: <http://library.tversu.ru/>
2. Электронная библиотека издательства Лань: <http://e.lanbook.com/>
3. Университетская библиотека ONLINE: <http://www.biblioclub.ru/>
4. Сайт издательского дома ЮРАЙТ: <http://www.biblio-online.ru/>

VII. Методические указания 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 $(\text{ВН})_{\text{max}}$ измеряется в Дж/м³.
7. Найдите коэффициент перехода от системы СИ к системе СГС для энергетического произведения постоянного магнита $(\text{ВН})_{\text{max}}$

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?

VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)

Программное обеспечение, информационные справочные системы и Интернет-ресурсы физико-технического факультета (см.раздел VI).

IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>Кафедра общей физики. Лаборатория методики преподавания физики. Кабинет качества преподавания физики. №219 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1 Внешний жесткий диск Transcend 1 Gb 2 Компьютер Kraftway Credo KC36Vista Business/E7400/2*10024Mb DDR800/T160G/DVDRW/500W/CARE3/Монитор 20'' LG W2043S-PFpf 3 Камера Web Logitech – 3 шт. 4 Коммутатор Linksys SD2008T-EU CISCO SB 8-портовый – 3 шт. 5 Сумка Continent 6 Принтер лазерный HP LJ 1100 C4224A 7 МФУ XEROX PH 3100 8 Сканер UMAX Astra 3450 600*1200dpi, 42bit встроенный слайд-проектор 9 Ноутбук Dell Ispiron 1300 (1.7 GHz) 15.4WXGA. 512MB. 80GB 10 Принтер лазерный CANON LBP-2900 A4.600*600 11 Ксерокс 1215 12 Мультимедийный проектор BenQ MP 624 13 АРМС для исследования и демонстрации опытов по дифракции с ПЭВМ (монитор Samsung TFT 22) 14 Интерактивная доска Smart Board 660 15 Компьютер iRU Corp 510 – 6 шт. 16 Стеллаж – 10 шт. 17 Комплект компьютерных датчиков 18 Универсальный измерительный прибор ADM2 19 Демонстрационный набор по электричеству и магнетизму. Часть 1</p>	<p>Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>

	20 Демонстрационный набор по электричеству и магнетизму. Часть 2 21 Демонстрационный набор по оптике 22 Демонстрационный набор по механике 23 Доска для проведения демонстрационных работ – 2 шт. 24 Интерактивный комплект Oculus Development Kit 2 25 Источник питания постоянного тока и напряжения большой мощности 26 Комплект Monster Kit v 1.0 27 ИБП	
--	---	--

Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт 2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь 3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-portr DGS-1016D 4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3» 7. Комплект учебной мебели	Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009 Google Chrome - бесплатно Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. Lazarus 1.4.0 - бесплатно Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011 MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012 Microsoft Express Studio 4 - бесплатно MiKTeX 2.9 - бесплатно MPICH 64-bit – бесплатно MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017

		MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017
--	--	--

Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1.	Раздел IV	Реквизиты «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
2.	Раздел IX	Изменена форма представления данных о материально-технической базе.	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г