

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 21.07.2025 15:23:21  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e9754e8870a7b4fc2ad1b575f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Е.М. Семенова

«24» июня 2025 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.

Тверь, 2025

## **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 для широкого круга применений. Данная дисциплина обеспечивает базовую 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 конденсированного состояния вещества».

Задачей освоения дисциплины является овладение знаниями, умениями и навыками в рамках микромагнитного подхода к решению актуальных практических задач физики конденсированного состояния вещества.

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

Дисциплина «Микромагнетизм» содержательно развивает положения курсов по выбору «Основы физического металловедения», «Физика магнитных материалов».

Уровень начальной подготовки обучающегося для успешного освоения дисциплины «Микромагнетизм»: знать основные положения курсов «Электричество и магнетизм», «Основы физического металловедения», «Физика магнитных материалов».

**3. Объем дисциплины: 3 зачетные единицы, 108 академических часов, в том числе:**

**контактная аудиторная работа:** лекции 30 часов, практические занятия 30 часов;

**самостоятельная работа:** 48 часов, 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
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие. УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.
ПК-2. Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок.	ПК-2.2. Анализирует физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов.
ПК-3. Способен сопровождать типовые технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов.	ПК-3.1. Осуществляет анализ структуры материалов. ПК-3.2. Оценивает влияние технологических факторов типовых режимов термической и химической обработки на свойства и структуру материалов.

**5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения**

Экзамен в 7 семестре

**6. 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
<b>8.Экзамен</b>	36			36
<b>ИТОГО</b>	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 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.)

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

<b>Этап формирования</b>	<b>Типовые контрольные</b>	<b>Показатели и</b>
--------------------------	----------------------------	---------------------

компетенции, в котором участвует дисциплина	задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<b>Уметь начальный</b>	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.
<b>промежуточный</b>	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.
<b>Знать Начальный</b>	1. Записать формулу для магнитного момента кругового тока. 2. Записать формулу для намагниченности вещества.	Знание основ электромагнетизма.
<b>Промежуточный</b>	1. Записать формулу для оценки энергии электростатического взаимодействия точечных зарядов. 2. Записать формулу для энергии взаимодействия	Знание основ электромагнетизма.

	МАГНИТНЫХ МОМЕНТОВ.	
--	---------------------	--

**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»**

<b>Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина</b>	<b>Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)</b>	<b>Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания</b>
<b>Уметь начальный</b>	1. Оценить, к какому классу материалов по характеру анизотропии относятся Fe, Co и Ni. 2. Определить фактор качества для Fe, Co и Ni.	Умение охарактеризовать магнитный материал.
<b>промежуточный</b>	1.Определить поле анизотропии основных магнитотвердых материалов $\text{SmCo}_5$ , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ , $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ . 2.Расчитать в магнетонах Бора магнитный момент, который приходится на одну формульную единицу в интерметаллиде $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ .	Умение выполнять оценки фундаментальных и структурно-чувствительных характеристик магнитных материалов.
<b>Знать Начальный</b>	1. Записать классическое уравнение Брауна и пояснить физический	Знание основ микромагнитного

	<p>смысл входящих в него членов.</p> <p>2. Записать уравнение Брауна для случая когерентного вращения.</p>	<p>подхода.</p>
<b>Промежуточный</b>	<p>1. Записать уравнение Брауна, адаптированное для описания гистерезисных свойств реального магнита с задержкой зародышеобразования.</p> <p>2. Каким образом в выражении для поля зародышеобразования учитывают особенности микроструктуры материалов?</p>	<p>Знание основ микромагнитного подхода.</p>

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

<b>Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина</b>	<b>Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)</b>	<b>Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания</b>
<b>Уметь начальный</b>	<p>1. Что надо сделать, чтобы определить энергетическое произведение постоянного магнита?</p> <p>2. Как узнать теоретический предел коэрцитивной силы магнитотвердого</p>	<p>Знание основных методов определения характеристик постоянных магнитов.</p>

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

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

### **а) Основная литература:**

1. Гуфан, А. Ю. Физика магнитных явлений : учебник / А. Ю. Гуфан. — Ростов-на-Дону : ЮФУ, 2020. — 372 с. — ISBN 978-5-9275-3552-1. —

Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/180688>. — Режим доступа: для авториз. пользователей

2. 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> .
3. Зисман Г. А. Курс общей физики. В 3-х тт. Т.2. Электричество и магнетизм [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.А. Зисман, О.М. Годес. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2007. — 352 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/151>.
4. 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>.
5. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела : учебное пособие / Г. И. Епифанов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1001-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167893>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) Дополнительная литература:

1. Лилеев, А. С. Механизмы перемагничивания магнитных материалов. Моделирование процессов перемагничивания : учебное пособие / А. С. Лилеев. — Москва : МИСИС, 2020. — 49 с. — ISBN 978-5-907226-94-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/156005>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Электричество и магнетизм : учебное пособие / Ш. А. Пиралишвили, Е. В. Шалагина, Н. А. Каляева, Е. А. Попкова. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 160 с. — ISBN 978-5-8114-2430-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167371>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Пастушенков Ю.Г. Магнитная доменная структура. Количественный анализ микромагнитных параметров: Монография. Тверь: Тверской государственный университет, 2007. 151 с.
4. Пастушенков Ю.Г., Пастушенков А.Г. Постоянные магниты. Часть 2. Измерение магнитных характеристик: Учебное пособие. Тверь: Тверской государственный университет, 2016. 110 С.

## **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/м<sup>3</sup>.
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**

<b>Наименование специальных* помещений</b>	<b>Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
Учебная аудитория для проведения	1. Проектор Panasonic PT-VW340ZE 2. экран ScreenMedia 3. Ноутбук (переносной)	Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав

<p>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>4. Комплект учебной мебели на 60 посадочных мест 5. Меловая доска</p>	<p>№1051 от 05.08.2020 г. MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г. Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно</p>
---	--	--

#### Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>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.</p>	<p>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-potr 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</p>	<p>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 -</p>

Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	«LegoMidstormsEV3» 7. Комплект учебной мебели	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 (модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания, утвердившего изменения
1	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
2	Раздел IV	Скорректированы задания для промежуточной аттестации в соответствии с обновленным «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
3	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
4	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
5	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ № 6 от 15.01.2019 г.

6	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
7	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о рейтинговой системе обучения в ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
8	Раздел IX	Актуализированы данные на основе Справки МТО ООП	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021
9	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021