

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 01.04.2025 10:04:20
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:

Руководитель ООП



«21»

мая

2024 г.

Б.Б.Педько

Рабочая программа факультативной дисциплины (с аннотацией)

Физика магнитных явлений

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технологии материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

3 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м..н., доцент Карпенков А.Ю.

Тверь, 2024

I. Аннотация

1. Цель и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся базовых представлений о фундаментальных основах магнетизма, природы магнетизма различных материалов, физических характеристик и законов, описывающих магнитные состояния и свойства магнетиков.

Задачами освоения дисциплины являются:

- изучение классических теорий ферро-, антиферро-, ферримагнетизма и парамагнетизма Ланжевена; изучение основных типов взаимодействий в магнетиках (обменного, магнитокристаллического, магнитостатического, магнитоупругого, с внешним магнитным полем) и влияния каждого из них на основные магнитные свойства магнетиков; магнетокалорического эффекта, ферромагнитной аномалии теплоемкости; изучение физических принципов, лежащих в основе термодинамически равновесного распределения векторов спонтанной намагниченности в магнетиках, особенностей формирования равновесной доменной структуры и основных типах доменных границ.
- освоение методов анализа и решения базовых и оригинальных задач физики магнитных явлений.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Факультативная дисциплина изучается в пятом семестре. Для ее освоения необходимы знания из курса общей физики («Механика», Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Кристаллография».

3. Объем дисциплины: 3 зачетных единиц, 108 академических часов, в том числе:

контактная аудиторная работа: лекции 34 часов, в т.ч. практическая подготовка 17 часов, **самостоятельная работа:** 57 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-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 ПК-4.2. Применяет методы анализа научно-технической информации ПК-4.4. Решает аналитические задачи в области физического материаловедения

5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

зачет

6. Язык преподавания

русский

II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Контроль самостоятельной работы (в том числе курсовая работа)	Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Семинарские/ Практические занятия/ Лабораторные работы (<i>оставить нужное</i>)			
		всего	в т.ч. практич еская подгото вка	всего	в т.ч. практичес кая подготовк а		
Краткий исторический очерк развития учения о магнетизме. Роль русских ученых в развитии магнетизма.	4	2					2
Основные понятия и системы единиц в физике магнитных явлений. Системы единиц в физике магнитных явлений	10	2		2			6
Виды магнетиков. Понятие магнитной восприимчивости и проницаемости.	7	2		1			4
Петля гистерезиса. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы. Расчет 13 параметров магнитного материала из петли гистерезиса в системе СГС и в Международной системе единиц СИ.	13	4		2			7
Источники магнитного поля. Расчет магнитного поля соленоида.	8	2		2			4

Элементарные носители магнетизма. Определение спинового, орбитального и полного магнитного моментов 3d-металлов и 4f-металлов.	8	2		2			4
Магнетизм атомных ядер	6	2					4
Диамагнетизм. Парамагнетизм	6	2					4
Термодинамика магнитных явлений	8	2		2			4
Ферромагнетизм. Теория молекулярного поля Вейсса.	6	2					4
Полуклассическое описание обменного взаимодействия. Обменная энергия. Обменный параметр.	8	2		2			4
Теория антиферромагнетизма в приближении молекулярного поля.	6	2					4
Теория ферримагнетизма Нееля. Магнитные подрешетки. Основные типы температурных зависимостей намагниченности ферримагнетиков. Точка компенсации	6	2					4
Явление магнитокристаллической анизотропии. Физическая природа магнитокристаллической анизотропии. Природа магнитоупругого взаимодействия. Магнитоупругая энергия. Магнитострикция.	6	2					4

Магнитостатическая энергия. Собственное размагничивающее поле магнетиков.	6	2		2			4
Доменная структура магнетиков.	8	2		2			4
ИТОГО	108	34		17			57

III. Образовательные технологии

Учебная программа – наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
Краткий исторический очерк развития учения о магнетизме. Роль русских ученых в развитии магнетизма.	Лекция	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация) Дистанционные образовательные технологии</i>
Основные понятия и системы единиц в физике магнитных явлений. Системы единиц в физике магнитных явлений	Лекция, практическое	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация) Дискуссионные технологии Дистанционные образовательные технологии</i>
Виды магнетиков. Понятие магнитной восприимчивости и проницаемости.	Лекция, практическое	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация) Дискуссионные технологии Дистанционные образовательные технологии</i>
Петля гистерезиса. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы. Расчет 13 параметров магнитного материала из петли гистерезиса в системе СГС и в Международной системе единиц СИ.	Лекция, практическое	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация) Дискуссионные технологии Дистанционные образовательные технологии</i>
Источники магнитного поля. Расчет магнитного поля соленоида.	Лекция, практическое	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация) Дискуссионные технологии Дистанционные образовательные технологии</i>
Элементарные носители магнетизма. Определение спинового, орбитального и полного магнитного моментов 3d-металлов и 4f-металлов.	Лекция, практическое	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация) Дискуссионные технологии Дистанционные образовательные технологии</i>
Магнетизм атомных ядер	Лекция	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация)</i>

Диамagnetизм. Парамагнетизм	Лекция	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация)</i>
Термодинамика магнитных явлений	Лекция, практическое	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация) Дискуссионные технологии Дистанционные образовательные технологии</i>
Ферромагнетизм. Теория молекулярного поля Вейсса.	Лекция	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация) Дистанционные образовательные технологии</i>
Полуклассическое описание обменного взаимодействия. Обменная энергия. Обменный параметр.	Лекция, практическое	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация) Дискуссионные технологии Дистанционные образовательные технологии</i>
Теория антиферромагнетизма в приближении молекулярного поля.	Лекция	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация)</i>
Теория ферримагнетизма Нееля. Магнитные подрешетки. Основные типы температурных зависимостей намагниченности ферримагнетиков. Точка компенсации	Лекция	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация)</i>
Явление магнитокристаллической анизотропии. Физическая природа магнитокристал- лической анизотропии. Природа магнитоупругого взаимодействия. Магнитоупругая энергия. Магнитострикция.	Лекция	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация)</i>
Магнитостатическая энергия. Собственное размагничивающее поле магнетиков.	Лекция, практическое	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация) Дискуссионные технологии Дистанционные образовательные технологии</i>
Доменная структура магнетиков.	Лекция, практическое	<i>Лекция (традиционная, проблемная, лекция-визуализация) Дискуссионные технологии Дистанционные образовательные технологии</i>

IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1) Рекомендуемая литература

а) Основная литература:

1. Гуфан, Гуфан, Физика магнитных явлений, Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета (ЮФУ), 2020, ISBN: 978-5-9275-3552-1, URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=415229>
2. Боровик Е. С., Еременко В. В., Мильнер А. С., Лекции по магнетизму, Москва: Физматлит, 2005, ISBN: 978-5-9221-0577-9, URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75475>.

б) Дополнительная литература

1. Карпенков, Карпенков, Дунаева, Ховайло, Каплунов, Зонные ферро- и ферримагнетики, Тверь: Тверской государственный университет, 2021, URL: <http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=5277274>
2. Карпенков, Карпенков, Ракунов, Ховайло, Каплунов, Теория зонного магнетизма. Зонные парамагнетики, Тверь: Тверской государственный университет, 2021, URL: <http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=5277273> .

2) Программное обеспечение

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Google Chrome
3	Adobe Acrobat Reader

Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. ЭБС «Лань»
2. ЭБС «ZNANIUM.COM»
3. ЭБС «ЮРАИТ»

4. ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
5. ЭБС IPRbooks
6. ЭБС ТвГУ

VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

Тесты и задачи для практических занятий и самостоятельного решения

1. Что называется удельной намагниченностью ферромагнетика и в каких единицах она измеряется в СИ?

1. Магнитный момент единицы объема, $\text{А} \cdot \text{м}^{-1}$.
2. Магнитный момент единицы массы, $\text{Тл} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$.
3. Магнитный момент единицы массы, $\text{А} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$.

2. Закон Кюри-Вейсса для магнитной восприимчивости ферромагнетиков имеет вид

$$1. \chi = \frac{C}{T}, 2. \chi = \frac{C}{T - T_C}, 3. \chi = \frac{C}{T - \vartheta_a}.$$

3. Аналог закона Кюри-Вейсса для магнитной восприимчивости антиферромагнетиков имеет вид

$$1. \chi = \frac{C}{T - \vartheta_a}, 2. \chi = \frac{C}{T - T_C}, 3. \chi = \frac{C}{T}.$$

4. Физическая природа существования самопроизвольной намагниченности состоит в следующем:

1. Обменном взаимодействии спиновых магнитных моментов электронов соседних атомов вещества.
2. Взаимодействии магнитных моментов атомов (ионов) с внутрикристаллическим полем.
3. Взаимодействии между орбитальными и спиновыми магнитными моментами электронов в атоме.

5. Классическая теория ферромагнетизма Вейсса справедлива

1. в интервале температур $0 < T < T_C$;
2. в узком интервале температур вблизи точки Кюри;
3. в области высоких температур $T > T_C$.

6. Не зависят от структурных особенностей магнетиков следующие из приведенных магнитных характеристик

1. $I_s (B_s)$, 2. H_c , 3. μ , 4. $(BH)_{\max}$, 5. T_C , 6. $I_r (B_r)$.

7. Характерная температура, при которой магнитные моменты подрешеток двухподрешеточного ферримагнетика равны по величине называется

1. Температура Кюри.
2. Температура Нееля.
3. Температура компенсации.
8. В одноосных ферромагнетиках наблюдаются следующие типы доменных границ

1. 180° -ные. 2. 90° -ные. 3. 45° -ные.

9. Поверхностная плотность энергии 180° -ной доменной границы в одноосном ферромагнитном кристалле равна

$$1. \gamma = 2\sqrt{\frac{A}{K_1}}. \quad 2. \gamma = 4\sqrt{AK_1}. \quad 3. \gamma = 8\sqrt{\frac{K_1}{A}}.$$

10. Используя какую из перечисленных экспериментальных зависимостей можно приближенно оценить величину обменного параметра A ферромагнетика

1. $\mu(H)$. 2. $I(H)$. 3. $I_s(T)$.

Примеры задач.

1. Рассчитать квантовые числа S , L , J для неполностью заполненных электронных оболочек следующих атомов:

3d – переходных металлов Sc, V, Mn, Fe, Co, Ni; 4d - металлов Zr, Hf, W, Ir

4f – металлов Sm, Pr, Dy, Er, Yb.

Записать обозначения термов основного состояния этих атомов.

2. Определить спиновый, орбитальный и полный магнитные моменты следующих атомов:

Mg, Mn, V, Fe, Co, Ni, Pr, Ce, Nd, Sm, Dy, Y, Tb, Tm, Er.

Построить график зависимости величины полного магнитного момента от порядкового номера редкоземельного металла.

3. Оценить обменную энергию, ее объемную плотность и обменный параметр по температуре Кюри для следующих металлов:

Fe, Co, Ni, Gd, Dy. Составить таблицу с указанием значений рассчитанных величин и температур Кюри.

4. Определите поверхностную плотность магнитостатической энергии бесконечной пластины толщиной a , намагниченной до величины остаточной намагниченности I параллельно и перпендикулярно ее плоскости.

5. Оцените величину внешнего магнитного поля, необходимую для магнитного насыщения сферического образца железа.

6. На графике приведены температурные зависимости констант анизотропии K_1 и K_2 монокристалла гадолиния. Определить как меняется тип магнитокристаллической анизотропии Gd в интервале температур $0 < T < 300$ К ($T_c = 25^\circ\text{C}$). Схематично нарисовать зависимость угла Θ между осью С гексагональной элементарной ячейки и направлением легкой оси намагничивания от температуры.

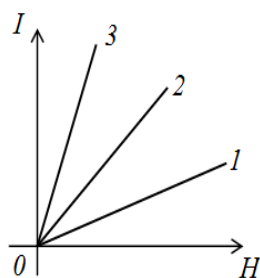
7. Оценить величину первой константы анизотропии одноосного монокристалла SmCo_5 , если его поле анизотропии $H_A = 430$ кЭ, удельная намагниченность насыщения $\sigma_s = 100$ Гс·см³/г, а плотность $\rho = 8,7$ г/см³.

8. Обозначение спектроскопического терма основного состояния атома церия имеет вид 3H_4 . Определить основные квантовые числа его незаполненной 4f оболочки.

9. Как основные магнитные характеристики (I , H , CI , CH) определяются через основные термодинамические потенциалы F , Φ , U ?

10. Записать формулы для магнетокалорического эффекта ферромагнетика через изменение намагниченности, и магнетокалорического эффекта парамагнетика через изменение напряженности магнитного поля. Где находят практическое применение эти формулы?

11. Какая из представленных ниже кривых намагничивания парамагнетика измерена при наименьшей температуре?



12. Во внешнем поле $H = 100$ А/м сферический ферромагнитный образец достигает намагниченности $I = 270$ А/м. Чему равна магнитная восприимчивость материала в данном поле?

13. В чем состоит физическая причина возникновения собственного размагничивающего поля образца? Как направлено это поле по отношению к намагниченности? Чему равно истинное (внутреннее) магнитное поле намагниченного образца? Почему на практике необходимо учитывать различие в значениях внешнего и внутреннего полей?

14. Определить эффективную ширину 180° -ной доменной границы в кобальте, если известны значения обменного параметра $A = 0,75 \cdot 10^{-6}$ эрг/см и константы анизотропии $K_1 = 4,3 \cdot 10^6$ эрг/см³.

15. Во внешнем поле H сферический ферромагнитный образец достигает намагниченности I_0 . Образец сложной формы из данного материала в том же поле имеет намагниченность I_N . Рассчитайте размагничивающий фактор образца сложной формы.

16. Оценить обменную энергию, ее объемную плотность и обменный параметр по температуре Кюри для следующих металлов: Fe, Co, Ni, Gd, Dy. Составить таблицу с указанием значений рассчитанных величин и температур Кюри.

17. Найти величину магнитного момента шара радиуса R из материала с магнитной восприимчивостью χ в магнитном поле H . Ответ представить в системах СИ и СГС. Рассмотреть также предельный случай при $\chi \rightarrow \infty$.

18. Ферромагнитный образец во внешнем поле $H = 20$ А/м достигает намагниченности $I = 15$ А/м. Какую форму имеет образец, если в данном поле восприимчивость материала $\mu = 1$?

Примеры вопросов для самостоятельного изучения.

1. Каковы особенности обменного взаимодействия в ферромагнетиках?
2. Как в модели ферромагнетизма определяется внутримолекулярное поле каждой из магнитных подрешеток?
3. Как зависит от температуры магнитная восприимчивость ферромагнетиков?
4. Объяснить смысл всех параметров, входящих в закон Кюри-Вейсса для ферромагнетиков? Для какой области температур он справедлив?
5. Учет собственных размагничивающих полей образцов конечной формы при магнитных измерениях. «Сдвиговая коррекция» кривых намагничивания и петель гистерезиса.
6. Экспериментальные методы исследования доменной структуры ферро- и ферромагнетиков.
7. Как оценить постоянную молекулярного поля экспериментальным путем? Какой порядок величины имеет внутримолекулярное поле? Сопоставить эти значения с реально достижимыми магнитными полями?

VII. Материально-техническое обеспечение

Аудит-я	Оборудование
3-40	комплект учебной мебели, вольтметр, экран настенный, контроллер, сканеры для вольтметра, двухфазные Lock-in усилители, компьютеры, установка "Мишень"

VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

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