



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»

**Кафедра общей и экспериментальной физики**

УТВЕРЖДАЮ  
Декан Физического факультета И.М. Буднев  
«22» апреля 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.05 Физика магнитных явлений

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль) подготовки: Материалы и компоненты твердотельной электроники.

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная.

**Согласовано с УМК:**  
физического факультета  
**Протокол № 25**  
от « 21 » апреля 2020 г.  
**Зам. председателя, к.ф.-м.н, доцент**  
В.В. Чумак

**Рекомендовано кафедрой:**  
общей и экспериментальной физики  
**Протокол № 6**  
от «13»апреля 2020 г.  
**Зав. кафедрой, д.ф.-м.н., профессор**  
А.А. Гаврилюк

## Содержание

I	Цели и задачи дисциплины (модуля).....	3
II	Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО.....	3
III	Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
IV	Содержание и структура дисциплины (модуля).....	4
4.1	Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	5
4.2	План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	6
4.3	Содержание учебного материала.....	7
4.3.1	Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	8
4.3.2	Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС).....	9
4.4	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	9
4.5	Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....	10
V	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).....	10
	а) перечень литературы.....	10
	б) периодические издания.....	11
	в) список авторских методических разработок.....	11
	г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	11
VI	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).....	11
6.1	Учебно-лабораторное оборудование.....	11
6.2	Программное обеспечение.....	11
6.3	Технические и электронные средства.....	11
VII	Образовательные технологии.....	12
VIII	Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	12

### **I. Цели и задачи дисциплины (модуля):**

Программа разработана в соответствии с основной образовательной программой ФГОС по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника и предназначена для обеспечения курса «Физика магнитных явлений», изучаемого студентами в течение восьмого семестра.

#### **Основная цель курса:**

- дать студентам целостное, в рамках существующих естественнонаучных положений и современного развития физики классификацию магнитных материалов, их основные физические свойства и область применения.

#### **Для достижения данной цели были поставлены задачи:**

- формирование у студентов представлений о фундаментальные физических процессах, характерных для структур с различным типом магнитного упорядочения;
- освоение методов квантово-механического описания магнитных свойств вещества;
- ознакомление студентов с применением веществ с различными магнитными свойствами в разных областях науки и техники;

### **II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:**

Дисциплина «Физика магнитных явлений» является дисциплиной профессионального цикла.

Методика преподавания направлена на системный подход к обучению и интеграцию дисциплин естественнонаучного цикла, т. к. при изучении курса используются разделы и темы следующих дисциплин:

»Математический анализ», «Квантовая теория», «Физика конденсированного состояния».

### **III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):**

Курс «Физика магнитных явлений», согласно положениям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования при подготовке бакалавра по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, позволяет студенту приобрести следующие компетенции:

- Способен аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик наноматериалов и наноструктур (ПК-2).

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю),  
соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
<p>ПК-2 Способен аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик наноматериалов и наноструктур</p>	<p>ПК-2.1 Способен проводить анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений, используя специализированные знания в области физики магнитных явлений. ПК-2.2 Способен проводить анализ новых направлений исследований и опытно-конструкторских разработок в соответствующей области знаний.</p>	<p><b>Знает:</b> - общие сведения о классификации веществ по их магнитным свойствам, их особенностях и областях применения; - основные теории и модели, объясняющие магнитные свойства твёрдых тел <b>Умеет:</b> - оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в веществах с различным типом магнитного упорядочения; - оценивать физические параметры магнитоупорядоченных веществ (намагниченность, восприимчивость, проницаемость) по экспериментальным данным; - по значениям магнитных параметров, полученных из экспериментальных данных, проводить классификацию веществ по их магнитным свойствам. <b>Владеет:</b> - методами квантово-механического описания магнитных свойств вещества; - способами расчета магнитных характеристик магнитоупорядоченных структур в рамках простых общепринятых моделей.</p>

#### **IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)**

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа, в том числе 44 часа контактной работы. Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. На практическую подготовку отводится 22 аудиторных часов (во время выполнения практических заданий). Форма промежуточной аттестации: зачёт.

**4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов**

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельна я работа	
					Лекции	Семинарские/ практические/ лабораторные занятия	Консуль тации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1. <b>Магнитные свойства атома</b>	8	6	2	2	2	-	2	Опрос
2	Раздел 2. <b>Парамагнитные вещества</b>	8	8	2	2	2	-	4	Решение задач
3	Раздел 3. <b>Диамагнитные вещества</b>	8	6	2	2	2	-	2	Решение задач
4	Раздел 4. <b>Магнитные свойства металлов</b>	8	12	4	4	4	-	4	Решение задач
5	Раздел 5. <b>Ферромагнетизм</b>	8	12	4	4	4	-	4	Решение задач
6	Раздел 6. <b>Природа ферромагнитного состояния</b>	8	8	2	2	2	-	4	Опрос
8	Раздел 7. <b>Динамика магнитной решётки</b>	8	12	4	4	4	-	4	Решение задач
9	Раздел 8. <b>Доменная структура ферромагнетиков</b>	8	8	2	2	2	-	4	Опрос
<b><u>Итого часов</u></b>				<b>72</b>		<b>22</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	

#### 4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
8	Разделы 2,3,4,5,7	Решение домашних задач	В течение семестра	24	Задачи и упражнения	Из списка литературы.
8	Разделы 1,6,8	Подготовка к опросу	После завершения лекций по данным разделам	4	Опрос	Из списка литературы.
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				28		

### 4.3. Содержание учебного материала

#### Содержание разделов и тем дисциплины

#### **1. Магнитные свойства атома**

- 1.1. Планетарная модель атома
- 1.2. Модель атома Бора-Зоммерфельда. Атом водорода
- 1.3. Пространственное квантование
- 1.4. Простая планетарная модель сложных атомов
- 1.5. Экспериментальные факты, не объясняемые простой планетарной моделью
- 1.6. Спин. Собственный магнитный момент электрона
- 1.7. Векторная модель атома
- 1.8. Магнитный момент атома. Фактор Ланде
- 1.9. Эффект Зеемана
- 1.10. Диамагнетизм электронной оболочки атома

#### **2. Парамагнитные вещества**

- 2.1. Классическая теория Ланжевена
- 2.2. Свойства парамагнетиков в малых полях
- 2.3. Сравнение с экспериментом. Пары щелочных металлов. Соли редкоземельных элементов
- 2.4. Магнитные свойства ионов переходных элементов и влияние поля кристаллической решётки
- 2.5. Некоторые парамагнитные молекулы
- 2.6. Свойства парамагнетиков в сильных полях
- 2.7. Адиабатическое размагничивание и свойства парамагнетиков при температурах меньше 1 К

#### **3. Диамагнитные вещества**

- 3.1. Диамагнитная восприимчивость атомов и ионов
- 3.2. Свойства химических соединений

#### **4. Магнитные свойства металлов**

- 4.1. Свойства электронов проводимости в металле
- 4.2. Парамагнетизм свободных электронов
- 4.3. Диамагнетизм свободных электронов
- 4.4. Экспериментальные данные о магнитной восприимчивости металлов. Сравнение с теорией
- 4.5. Свойства переходных металлов

#### **5. Ферромагнетизм**

- 5.1. Кривая намагничивания и особенности свойств ферромагнетиков
- 5.2. Формальная теория ферромагнетизма
- 5.3. Гиромангнитные опыты

#### **6. Природа ферромагнитного состояния**

- 6.1. Основные идеи
- 6.2. Некоторые сведения из квантовой механики
- 6.3. Молекула водорода и обменная энергия
- 6.4. Обменное взаимодействие и критерий ферромагнетизма
- 6.5. Зависимость свойств ферромагнетиков от температуры. Атомные магнитные моменты ферромагнитных элементов

#### **7. Динамика магнитной решётки**

- 7.1. Общие представления о спиновых волнах
- 7.2. Полуклассическая теория спиновых волн в ферромагнетике

## 8. Доменная структура ферромагнетиков

### 8.1. Причина образования доменов

### 8.2. Переходные слои между доменами

#### 4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1.	Магнитные свойства атома	Повторение понятий из курсов атомной физики и квантовой механики.	2	2	опрос домашний конспект	ПК-2
2.	Парамагнитные вещества	Решение задач на расчёт магнитных характеристик парамагнитных веществ	2	2	опрос, контрольное задание	
3.	Диамагнитные вещества	Решение задач на расчёт магнитных характеристик диамагнитных веществ	2	2	опрос, контрольное задание	
4.	Магнитные свойства металлов	Решение задач на расчёт магнитных характеристик металлов	4	4	опрос, контрольное задание	
5.	Ферромагнетизм	Решение задач на расчёт магнитных характеристик ферромагнитных веществ	4	4	опрос, контрольное задание	
6.	Природа ферромагнитного состояния	Построение гамильтониана, описывающего простейший случай ферромагнитного упорядочения.	2	2	опрос, контрольное задание	
7.	Динамика магнитной решётки.	Решение задач на расчёт вклада спиновых волн в термодинамику ферромагнетика	4	4	опрос, контрольное задание	
8.	Доменная структура ферромагнетиков	Оценка размеров доменов для различных ферромагнетиков.	2	2	опрос, контрольное задание	

### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Простая планетарная модель сложных атомов. Экспериментальные факты, не объясняемые простой планетарной моделью. Спин. Собственный магнитный момент электрона.	Внеаудиторная работа.	Повторение пройденного ранее материала.		4
2.	Классическая теория парамагнетизма Ланжевена.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы.	4
3.	Диамагнитные свойства химических соединений.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы.	Из списка литературы.	2
4.	Экспериментальные данные о магнитной восприимчивости металлов. Сравнение с теорией. Свойства переходных металлов.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы.	Из списка литературы.	4
5.	Ферромагнетизм. Формальная теория.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы.	4
6.	Зависимость свойств ферромагнетиков от температуры. Атомные магнитные моменты ферромагнитных элементов.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы.	4
7.	Динамика магнитной решётки	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы.	4
8.	Доменная структура ферромагнетиков	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы.	2

### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода

обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Теоретические знания, полученные студентами на практических занятиях и при самостоятельном изучении курса по литературным источникам, закрепляются при выполнении практических заданий.

При выполнении практических заданий обращается особое внимание на выработку у студентов умения грамотно выполнять и оформлять документацию, умения пользоваться научно-технической справочной литературой. Каждый студент должен подготовиться к защите своего отчета, разобравшись с теорией исследуемого явления.

Текущая работа над учебными материалами включает в себя систематизацию теоретического материала каждой практической работы, заполнения пропущенных мест, уточнения схем и выделения главных мыслей основного содержания работы. Для этого используются имеющиеся учебно-методические материалы и другая рекомендованная литература.

Границы между разными видами самостоятельных работ достаточно размыты, а сами виды работы пересекаются. Таким образом, самостоятельная работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее.

Закрепление всего изученного материала осуществляется на контрольной работе. Также может быть проведен опрос по всем темам курса. Преподаватель помогает разобраться с проблемными вопросами и задачами (по мере их поступления) в ходе текущих консультаций.

#### **4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)**

Курсовые работы учебным планом не предусмотрены

#### **V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

перечень литературы

*а) основная литература*

1. Байков, Ю.А. Физика конденсированного состояния. [Электронный ресурс] / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. — Электрон. дан. — М. : Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 296 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/70766>
2. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела. [Электронный ресурс] - Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2011. — 288 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2023>

3. Павлов П.В. Физика твердого тела. Высшая школа., М. 2000.

4. Гаврилюк А.А., Гаврилюк А.В., Семиров А.В.. Магнитные свойства твердых тел. Учебное пособие. Иркутск 2000. 135с.

*б) периодические издания*

*в) список авторских методических разработок*

1. Гаврилюк А.А., Зубрицкий С.М., Петров А.Л.. Физика металлов и сплавов. Учебное пособие. Иркутск-2009, 93с.

*г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы:*

- Книгафонд - библиотека онлайн чтения. [www.knigafund.ru](http://www.knigafund.ru)
- ЭЧЗ «БИБЛИОТЕХ» <https://isu.bibliotech.ru/>
- ЭБС «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС «РУКОНТ» <http://rucont.ru>
- Архив научных журналов JSTOR (<http://www.jstor.org>)

## **VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

### **6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

Практические занятия по данной дисциплине проводятся в учебной аудитории по расписанию. Лабораторное оборудование не предусмотрено.

Имеются списки заданий и методическое руководство в электронном и печатном виде.

### **6.2. Программное обеспечение:**

Стандартные сервисы сети Интернет, стандартные средствами просмотра презентаций и других материалов по курсу

### **6.3. Технические и электронные средства:**

Для проведения практических и лекционных занятий в качестве демонстрационного оборудования используются проектор, экран и меловая доска. Используются современные образовательные технологии: информационные (лекции и презентации в Power Point), проектные (мультимедиа, видео, документальные фильмы). Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов, в ходе которой они могут вычитывать научные статьи по темам курса. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук. На факультете имеется

компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

Материалы: научные статьи из рецензируемых журналов и монографии, рассматривающие современные подходы и исследования в области физики магнитных явлений.

## **VII. Образовательные технологии**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО, в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий. Интерактивные формы работы на учебных занятиях предусматривают активную позицию студентов при изучении материала, например, самостоятельно подготовить дополнение к теме и вынести его на обсуждение, провести дискуссию, включить элементы собственных научных исследований и сделать краткую презентацию своих выступлений на научных конференциях. Все это формирует способности применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в области исследований магнитного состояния вещества.

На практических занятиях студенты используют авторские задачи. По материалам наблюдений они приобретают исследовательские навыки, необходимые для работы по междисциплинарным направлениям, после получения базового образования и формируют компетенцию готовности выявить естественнонаучную сущность проблем, компетенцию готовности использовать методы теоретической и экспериментальной физики в профессиональной деятельности для изучения магнитных веществ.

Программа основана на использовании современных образовательных технологий: информационных (лекции и презентации в Power Point), проектных (мультимедиа, видео), дистанционные, научно-исследовательской направленности и т. п.

## **VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации**

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

### **8.1.1. Оценочные средства для входного контроля**

Проводится опрос на первом занятии.

### **8.1.2. Оценочные средства текущего контроля**

Содержание учебного материала разделено на дидактические единицы (ДЕ) – предметные темы, подлежащие обязательному изучению и усвоению в процессе обучения. Учитывается промежуточная аттестация по итогам самостоятельной работы, предусмотренной программой курса.

Примерные тестовые задания по физике магнитных явлений приведены в фондах оценочных средств.

## 8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

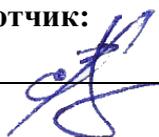
Промежуточная аттестация проводится в форме зачёта.

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п/п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Опрос	Магнитные свойства атома	ПК-2
2.	Проверка решения домашней задачи	Парамагнитные вещества	ПК-2
3.	Проверка решения домашней задачи	Диамагнитные вещества	ПК-2
4.	Проверка решения домашней задачи	Магнитные свойства металлов	ПК-2
5.	Проверка решения домашней задачи	Ферромагнетизм	ПК-2
6.	Контрольная работа	Природа ферромагнитного состояния	ПК-2
7.	Проверка решения домашней задачи	Динамика магнитной решётки	ПК-2
8.	Проверка решения домашней задачи	Доменная структура ферромагнетиков	ПК-2

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника.

**Разработчик:**

 к.ф.-м.н., доцент Зубрицкий С.М.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики «13» апреля 2020 г.

Протокол № 6

Зав. кафедрой  д.ф.-м.н. Гаврилюк А.А.

*Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.*