



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

**Кафедра общей и экспериментальной физики**



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.03 Спинтроника

Направление подготовки: 03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Физика материалов твердотельной электроники и фотоники

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очная.

**Согласовано с УМК:**  
физического факультета  
**Протокол № 42**  
от « 15 » апреля 2024 г.  
**Зам. председателя**, к.ф.-м.н, доцент  
В.В. Чумак

**Рекомендовано кафедрой:**  
общей и экспериментальной физики  
**Протокол № 7**  
от « 26 » марта 2024 г.  
**Зав. кафедрой**, д.ф.-м.н., профессор  
А.А. Гаврилюк

Иркутск 2024 г.

## 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):**

Цель дисциплины:

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

Задачи дисциплины:

- ознакомление студентов с основными типами магнитоупорядоченных веществ (ферромагнетики и антиферромагнетики) и их физическими характеристиками, присущими данному типу материала;
- ознакомление студентов с основными принципами формирования магнитоупорядоченной структуры в веществе;
- изучение основных электрических и магнитных свойств наноразмерных гетероструктур, механизмов переноса тока между элементами электронных устройств; особенностей электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов;
- развитие у студентов общих представлений о физических основах технологии производства наноразмерных гетероструктур;
- освоение методов квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники.

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

Дисциплина “Спинтроника” является дисциплиной профессионального цикла и относится к вариативной части (по выбору).

Дисциплина “Спинтроника” опирается на дисциплины “Математический анализ”, «Квантовая теория», “Физика конденсированного состояния».

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

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1. Способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения.

ПК - 1. Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.

В результате изучения дисциплины студент должен:

***Знать:***

- основные сведения о магнитоупорядоченном состоянии вещества, типах обменного взаимодействия и их роль в формировании магнитной структуры;
- механизмы переноса электронов в магнитных гетероструктурах, использование таких гетероструктур при конструировании элементов электронной техники с уникальными магнитными свойствами;

***Уметь:***

- оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в наноразмерных рабочих элементах электронных устройств;
- оценивать возможность применения тех или иных наноразмерных гетероструктур и материалов, чувствительных к воздействию внешнего магнитного поля, в качестве рабочих элементов в приборах микро- и нанoeлектроники;

***Владеть:***

- методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники, способами расчетов зависимости проводимости этих элементов при воздействии на них внешнего магнитного поля.

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры
		3
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	64/1.8	64/1.8
В том числе:	-	
Лекции	18/0.5	18/0.5
Практические занятия (ПЗ)	36/1.0	36/1.0
Контроль самостоятельной работы	10/0.28	10/0.28
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	62/1.7	62/1.7
В том числе:	-	-
Самостоятельная работа студента	40/1/1	40/1/1
Реферат (при наличии)	22/0.6	22/0.6
<b>Контроль</b>	54/1.5	54/1.5
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	Зачет	Зачет
Общая трудоемкость	часы	180
	зачетные единицы	5
		180
		5

#### 5. Содержание дисциплины (модуля)

##### 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля). Все разделы и темы нумеруются.

##### Раздел 1. Спин электронов и атомов

- 1.1. Спин электрона
- 1.2. Взаимодействия (эффекты) с участием спина электрона
- 1.3. Строение электронных оболочек атомов переходных элементов
- 1.4. Орбитальный и спиновый магнитные моменты оболочек многоэлектронных атомов

##### Раздел 2. Магнитные свойства материалов

- 2.1. Основные виды магнетизма веществ
- 2.2. Парамагнетизм Паули
- 2.3. Зонная структура ферромагнетика
- 2.4. Гейзенберговский обменный гамильтониан
- 2.5. Приближение молекулярного поля Вейсса, ферромагнитный переход

- 2.6. Доменная структура ферромагнетика
- 2.7. Стенки Блоха
- 2.8. Коэрцитивная сила и гистерезис
- 2.9. Спиновые волны в ферромагнетике
- 2.10. Теплоёмкость магнонов
- 2.11. Закон Блоха
- 2.12. Ферромагнитный резонанс

### **Раздел 3. Специальные случаи магнетизма**

- 3.1. Магнетизм малых частиц
- 3.2. Однодоменные частицы
- 3.3. Суперпарамагнетизм

### **Раздел 4. Спин - зависимый транспорт носителей заряда**

- 4.1. Гигантское магнитосопротивление
- 4.2. Спин - зависимое туннелирование
- 4.3. Спиновый эффект Холла.
- 4.4. Манипулирование спинами носителей заряда в полупроводниках
- 4.5. Эффект Кондо
- 4.6. Спинтронные приборы

### **5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами**

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин (вписываются разработчиком)							
		2	3	4					
1.	Материалы наноэлектроники								
2.	Полупроводниковая электроника	4							

### **5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий**

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах			
			Лек.	ПЗ	СРС/КС Р/К	Всего
1.	1. Спин электронов и атомов	1.1. Спин электрона 1.2. Взаимодействия (эффекты) с участием спина электрона 1.3. Строение электронных оболочек атомов переходных элементов 1.4. Орбитальный и спиновый магнитные моменты оболочек	2	4	8/1/6	21

		многоэлектронных атомов				
2.	2. Магнитные свойства материалов	2.1. Основные виды магнетизма веществ 2.2. Парамагнетизм Паули 2.3. Зонная структура ферромагнетика 2.4. Гейзенберговский обменный гамильтониан 2.5. Приближение молекулярного поля Вейсса, ферромагнитный переход 2.6. Доменная структура ферромагнетика 2.7. Стенки Блоха 2.8. Коэрцитивная сила и гистерезис 2.9. Спиновые волны в ферромагнетике 2.10. Теплоёмкость магнонов 2.11. Закон Блоха 2.12. Ферромагнитный резонанс	8	16	28/4/24	80
3.	3. Специальные случаи магнетизма	3.1. Магнетизм малых частиц 3.2. Однодоменные частицы 3.3. Суперпарамагнетизм	2	4	4/2/4	16
4.	4. Спин - зависимый транспорт носителей заряда	4.1. Гигантское магнитосопротивление 4.2. Спин - зависимое туннелирование 4.3. Спиновый эффект Холла. 4.4. Манипулирование спинами носителей заряда в полупроводниках 4.5. Эффект Кондо 4.6. Спинтронные приборы	6	12	22/3/20	63
<b>Всего:</b>			<b>18</b>	<b>36</b>	<b>62/10/54</b>	<b>180</b>

#### 6. Перечень практических занятий.

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование практических работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1 Разделы 1.1-1.4	Спин электронов и атомов.	4	Контрольные вопросы. Контрольная работа.	ОПК-1, ПК-1
2	Тема 2 Разделы 2.1-2.12	Магнитные свойства материалов.		Контрольные вопросы. Контрольная работа.	ОПК-1, ПК-1
3	Тема 3 Разделы 3.1-3.3	Специальные случаи магнетизма.		Контрольные вопросы. Контрольная работа.	ОПК-1, ПК-1
4	Тема 4 Разделы 4.1-4.4	Спин - зависимый транспорт носителей заряда		Контрольные вопросы.	ОПК-1, ПК-1

## **7. Примерная тематика заданий для самостоятельной работы (реферат)**

1. Спин - поляризованный ток в структурах металл–ферромагнитный полупроводник
2. Спиновый диод на структурах металл–ферромагнитный полупроводник
3. Магнетосопротивление в магнитных туннельных структурах
4. Спиновые фильтры на основе структуры ферромагнитный полупроводник–полупроводник
5. Магнитный биполярный диод
6. Спиновый транзистор
7. Спиновый вентиль и изменение ориентации намагниченности под действием электрического тока
8. Принципы магнитной записи в спин - электронных устройствах
9. Квантовые компьютеры на квантовых точках с электронными спиновыми состояниями
10. Сверхпроводящие переходы с ферромагнитной прослойкой
11. Колоссальное магнетосопротивление в кристаллах и переход металл–изолятор
12. Основные модели и теории колоссального магнетосопротивления в манганитах

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

1. Борисенко, В.Е. Нанoeлектроника: теория и практика. [Электронный ресурс] / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, Е.А. Уткина, А.Л. Данилюк. — Электрон. дан. — М. : Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 369 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/84103>
  2. Шишкин, Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства. [Электронный ресурс] / Г.Г. Шишкин, И.М. Агеев. — Электрон. дан. — М. : Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 411 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/66208>
  3. Аплеснин, С.С. Основы спинтроники. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2010. — 288 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/551>
  4. Гаврилюк А.А., Гаврилюк А.В., Семиров А.В.. Магнитные свойства твердых тел. Учебное пособие. Иркутск : Изд-во ИГПУ, 2000, 135с. 10 экз.
  5. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2009. — 416 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2173>
  4. Гаврилюк А.А., Зубрицкий С.М., Петров А.Л.. Физика металлов и сплавов. Учебное пособие. Иркут. гос. ун-т. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2009, 93с., 14 экз.
- б) дополнительная литература



в) программное обеспечение:

программа тестирования знаний по основным разделам дисциплины

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

1. Книгафонд - библиотека онлайн чтения. [www.knigafund.ru](http://www.knigafund.ru)

2. ЭБС "Издательство Лань" <http://e.lanbook.com/>

### 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

Компьютерные презентации, программа для тестирования.

### 10. Образовательные технологии:

№ п/п	Виды учебной работы	Образовательные технологии
1.	Лекция	Вводная лекция, информация лекция, лекция с элементами дискуссии, интерактивная лекция (лекция диалог), информационная лекция с элементами обратной связи, информационная лекция с элементами проблемных ситуаций.
3.	Практическое занятие	Занятие – решение задач.

### 11. Оценочные средства (ОС):

11.1. Текущий контроль осуществляется в устной и письменной форме при выполнении студентами учебных заданий - решении задач и выполнении контрольных работ на протяжении всего курса.

11.2. Рубежный контроль проводится между модулями – тестирование.

11.3. Промежуточный контроль – подготовка реферата по теме из списка заданий для самостоятельной работы.

11.4. Итоговый контроль – зачет.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Разработчик:

д.ф-м.н.

Гаврилюк А.А.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики

«26» марта 2024г. Протокол № 7

Зав. кафедрой Гаврилюк А.А.