



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
Физический факультет  
**Кафедра общей и экспериментальной физики**

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета

Н.М. Буфеев

15 апреля 2024 г.



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.ДВ.01.01 Спинтроника

Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Тип образовательной программы - Магистратура

Профиль подготовки: «Электроника и наноэлектроника»

Степень (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

	Стр.
1. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы	5
5. Содержание дисциплины (модуля)	5
5.1 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	5
5.2 Разделы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)	6
5.3 Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий	7
6. Перечень практических занятий.	7
6.1 План самостоятельной работы студентов	8
6.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.	9
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	10
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):	11
а) основная литература;	11
б) дополнительная литература;	11
в) программное обеспечение;	12
г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы	12
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).	12
10. Образовательные технологии	12
11. Оценочные средства (ОС).	12

### **1. 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.

### **2. Место дисциплины в структуре ОПОП:**

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».

Освоение дисциплины необходимо для освоения курсов “Материалы наноэлектроники”, “Полупроводниковая электроника”, «Процессы микро- и нанотехнологий».

### **3. 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 наноэлектроники;

***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
В том числе:		
Подготовка к экзамену	9/0.25	9/0.25
Экзамен	45/1.25	45/1.25
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	Экзамен	Экзамен
Общая трудоемкость	часы зачетные единицы	108 3
		108 3

#### 5. Содержание дисциплины (модуля)

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

##### Тема 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

##### Тема 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

### **Тема 3. Специальные случаи магнетизма**

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

### **Тема 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 многоэлектронных атомов	2	4	8/1/6	21
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.	ОПК-1, ПК-1
2	Тема 2 Разделы 2.1-2.12	Магнитные свойства материалов.		Контрольные вопросы.	ОПК-1, ПК-1
3	Тема 3 Разделы 3.1-3.3	Специальные случаи магнетизма.		Контрольные вопросы.	ОПК-1, ПК-1
4	Тема 4 Разделы 4.1-4.4	Спин - зависимый транспорт носителей заряда		Контрольные вопросы.	ОПК-1, ПК-1

### 6.1 План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1-2	Спин электронов и атомов.	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	Из списка основной и дополнительной литературы.	8
3-6	Магнитные свойства материалов.	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	Из списка основной и дополнительной литературы.	28
7-8	Специальные случаи магнетизма.	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	Из списка основной и дополнительной литературы.	4
9-12	Спин - зависимый транспорт носителей заряда.	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям,	Из списка основной и дополнительной литературы.	22

			выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.		
13-15	Подготовка к экзамену	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	Из списка основной и дополнительной литературы.	45

## 6.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная – самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.
- внеаудиторная – самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа помогает студентам:

### 1) Овладеть знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
- работа со справочниками и другой справочной литературой;
- ознакомление с нормативными и правовыми документами;
- учебно – методическая и научно-исследовательская работа;
- использование компьютерной техники, Интернета и др.;

### 2) Закреплять и систематизировать знания:

- работа с конспектом лекций;
- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;
- подготовка плана;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- подготовка ответов на контрольные вопросы;
- заполнение рабочей тетради;
- аналитическая обработка текста;

- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению на семинаре (конференции, круглом столе и т.п.);
- подготовка реферата;
- составление библиографии использованных источников;
- тестирование и др.;

### **3) Формировать умения:**

- решение ситуационных задач и упражнений по образцу;
- выполнение расчетов (графические и расчетные работы);
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к тестированию;
- опытно-экспериментальная работа;
- подготовка к курсовым работам.

Процесс изучения дисциплины 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.

## **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
13. Явление гигантского магнетосопротивления
14. Теория ГМС
15. Туннельное магнетосопротивление
16. Баллистическое сопротивление
17. Колоссальное магнетосопротивление
18. Гигантский магнетоимпеданс
19. Спин-поляризованный ток
20. Граница ферромагнитный металл – немагнитный металл. Эффект накопления

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

*а) основная литература*

1. Борисенко, В.Е. Наноэлектроника: 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>

б) дополнительная литература

1. Аплеснин, С.С. Основы спинтроники. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2010. — 288 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/551>

2. Гаврилюк А.А., Гаврилюк А.В., Семиров А.В. Магнитные свойства твердых тел.

Учебное пособие. Иркутск : Изд-во ИГПУ, 2000, 135с. 10 экз.

3. 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.

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/>

*Сверено с №5 415*

## 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, лекция с элементами дискуссии, интерактивная лекция (лекция диалог), информационная лекция с элементами обратной связи, информационная лекция.
3.	Практическое занятие	Занятие – решение задач.

## 11. Оценочные средства (ОС):

**Фонд оценочных средств представлен в Приложении к программе.**

11.1. Текущий контроль осуществляется в устной и письменной форме при выполнении студентами учебных заданий – устный и письменный контрольный опрос 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 – экзамен.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника «Электроника и нанoeлектроника».

Разработчик:



\_\_\_\_\_ д.ф.-м.н., Гаврилюк А.А.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики  
«26» марта 2024 г.

Протокол № 7

Зав. кафедрой



\_\_\_\_\_ д.ф.-м.н. Гаврилюк А.А.