

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Б1.В.17 Спинтроника

---

наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом

Направление подготовки / специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

---

Направленность (профиль)

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

---

Форма обучения

очная

---

Год набора

2023

---

Красноярск 2023

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Программу составили \_\_\_\_\_

к.ф.-м.н., доцент, А.С.Тарасов

\_\_\_\_\_  
должность, инициалы, фамилия

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель преподавания дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование у аспирантов понимания природы явлений, связанных со спинзависимым электронным транспортом в различных классах магнитных и гибридных наноструктур, навыков самостоятельного исследования теоретических проблем спинзависимых явлений, анализа экспериментальных данных, способность решения вопросов, связанных с созданием принципиально новых электронных устройств, построенных на возможности манипулировать спиновыми степенями свободы.

### 1.2 Задачи изучения дисциплины

Формирование представлений об особенностях проявления спинзависимого электронного транспорта и связанных с ним явлений в низкоммерных магнитных и гибридных структурах

изучение теоретических подходов и моделей, описывающих физику явлений при протекании спин-поляризованного тока в наноструктурах;

освоение основных понятий и методов теоретического описания актуальных проблем теории спинового транспорта в наноструктурах;

развитие умения использовать современные экспериментальные методики для исследования явлений спинзависимого электронного транспорта;

### 1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-1: Способен применять знания в области фундаментальной и прикладной физики в научно-исследовательских и прикладных работах</b>	
ПК-1.1: Планирует, организовывает и проводит научные и прикладные исследования, используя знания в области фундаментальной и прикладной физики	знать об особенностях проявления спинзависимого электронного транспорта и связанных с ним явлений в низкоразмерных магнитных и гибридных структурах владеть навыками самостоятельного исследования теоретических проблем спинзависимых явлений

ПК-1.2: Анализирует отечественные и зарубежные достижения в области фундаментальной и прикладной физики для осуществления выбора форм и методов научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем научного	уметь анализировать достижения в области спинтроники
исследования	
<b>ПК-3: Способен разрабатывать и применять новые материалы, исследовать их структуру и свойства</b>	
ПК-3.1: Планирует процессы получения материалов и исследования их свойств	знать основные понятия и методы теоретического описания актуальных проблем теории спинового транспорта в наноструктурах
ПК-3.2: Анализирует перспективные материалы и их нано-, микро-, мезо- и макромасштабные свойства	владеть способностью решения вопросов, связанных с созданием принципиально новых электронных устройств, построенных на возможности манипулировать спиновыми степенями свободы

#### **1.4 Особенности реализации дисциплины**

Язык реализации дисциплины: Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется без применения ЭО и ДОТ.

## 2. Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад. час)	е
		1
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>1 (36)</b>	
занятия лекционного типа	1 (36)	
<b>Самостоятельная работа обучающихся:</b>	<b>1 (36)</b>	
курсовое проектирование (КП)	Нет	
курсовая работа (КР)	Нет	

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

#### 3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

		Контактная работа, ак. час.							
№ п/п	Модули, темы (разделы) дисциплины	Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа				Самостоятельная работа, ак. час.	
				Семинары и/или Практические занятия		Лабораторные работы и/или Практикумы			
		Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС
<b>1. Спектр электронных состояний и транспортные свойства наноструктур</b>									
	1. Квантовый характер электронных процессов в наноструктурах. Принцип размерного квантования. Электронные состояния в низкоразмерных структурах. Простейшие квантовые модели. Прямоугольная яма. Треугольная яма. Двойная квантовая яма. Двумерный канал. Плотность электронных состояний в низкоразмерных структурах. Особенности квантования энергетического спектра электронов в гетеропереходах.	6							
	2. Самостоятельная работа							10	
<b>2. Спин-вентильные структуры; эффект гигантского магнитосопротивления</b>									

<p>1. Спиновая поляризация электронов в ферромагнитном металле. Поляризованный по спину ток. Феноменологическое описание и микроскопический механизм эффекта ГМС. Модель свободных электронов. Проводимость ферромагнитного металла (модель «двух токов»). Модель «двух токов» для эффекта ГМС. Роль магнитного состояния, управление магнитным состоянием многослойных магнитных структур. Межслоевое обменное взаимодействие в многослойных магнитных структурах. Экспериментальные факты. Обзор моделей межслоевого обмена. Феноменологический подход при описании магнитного взаимодействия через немагнитную прослойку. Модель спин-зависимого отражения для обменного взаимодействия через немагнитный металл (модель «квантовой ямы»), общий случай. Приближение свободных электронов. Обменное взаимодействие через полупроводниковую прослойку. Диэлектрическая прослойка. Способы управления межслоевым обменным взаимодействием: спиновая инжекция, оптическое излучение.</p>	6							
2. Самостоятельная работа							10	
<b>3. Магнитные туннельные структуры.</b>								

1. Классические туннельные переходы с немагнитными электродами. Туннельный ток. Спин-поляризованный туннельный ток в структуре ферромагнетик/диэлектрик/сверхпроводник Спин-поляризованный электронный транспорт в туннельных структурах с ферромагнитными электродами. Туннельное магнитосо-противление. Теоретические модели спин-зависимого туннелирования в магнитных туннельных структурах. Модель Жульера. Модель Слончевского (Slonczewski).	4							
2. Зависимость туннельного магнитосопротивления от магнитного поля. Зависимость туннельного магнитосопротивления от напряжения смещения. Зависимость туннельного магнитосопротивления от температуры. Роль интерфейса в туннельных структурах.	2							
3. Эффект спиновой фильтрации в туннельных структурах с ферромагнитным потенциальным барьером. Туннельный переход с обменным смещением. Структуры с двумя потенциальными барьерами. Ферроэлектрический туннельный барьер. Гибридный магнитный туннельный барьер с ферромагнитным барьером. Кооперативные системы магнитных туннельных контактов. Спин-зависимый электронный транспорт в туннельных структурах в условиях внешних воздействий. Влияние СВЧ излучения. Влияние оптического излучения	4							
4. Самостоятельная работа							6	
<b>4. Спин-зависимый транспорт в гибридных структурах.</b>								



1. Гибридные структуры. Спиновая инжекция. Проблема «рассогласование проводимостей». Спиновая аккумуляция. Спиновый ток в полупроводниках. Спиновая релаксация. Спиновый эффект Холла. Обратный спиновый эффект Холла. Спиновый эффект Зеебека. Структуры с «органикой» для спинтроники.	6							
2. Самостоятельная работа							5	
<b>5. Спиновый транс-порт и спиновая динамика в магнитных наноструктурах</b>								
1. Эффект переноса спина. Механизм управления намагниченностью наноразмерных магнетиков поляризованным током. Взаимосвязь поляризованного тока и спиновой динамики. Обобщенное уравнение движения намагниченности (с учетом спин-поляризованного тока). Генерация СВЧ излучения. Диодный эффект, детектирования СВЧ излучения. Нелинейные свойства в СВЧ диапазоне.	4							
2. Взаимосвязь спиновой динамики и спинового тока в структурах ферромагнитный диэлектрик/металл. Доменные стенки в нанопроволоках, их динамика	4							
3. Самостоятельная работа							5	
Всего	36						36	

## **4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### **4.1 Печатные и электронные издания:**

1. Драгунов В. П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А. Основы наноэлектроники: учеб. пособие для студентов вузов(Москва: Физматкнига).
2. Волков Н. В., Попков С. И. Магнетизм твердых тел; диа- и парамагнетизм; магнитный порядок (физика магнитных явлений): учебно-методическое пособие [для студентов программ 011200.68.02 «Физика конденсированного состояния вещества»; 011200.68.06 «Физика магнитных явлений»](Красноярск: СФУ).
3. Ищенко А. А., Гиричев Г. В., Тарасов Ю. И. Дифракция электронов: структура и динамика свободных молекул и конденсированного состояния вещества: монография(Москва: Физматлит).
4. Стародуб В. А., Стародуб Т. Н., Кажева О. Н., Брегадзе В. И. Материалы современной электроники и спинтроники: [монография](Москва: Физматлит).
5. Павлов П. В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела: учебник для вузов по направлению "Физика" и специальностям "Физика и технология материалов и компонентов электронной техники", "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы"(Москва: Высшая школа).
6. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур: научное издание(Москва: Логос).
7. Дырдин В. В., Польшгалов Ю. И., Мальшин А. А. Физика твердого тела: учебное пособие(Кемерово: КузГТУ).
8. Александров К. С., Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П., Сорокин П. Б., Бурков С. И., Глушков Д. А., Четвергов Н. А., Софронова С. Н., Токарев Н. А. Теоретическая физика твердого тела: электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины(Красноярск: СФУ).
9. Овчинников С. Г., Орлов Ю. С. Квантовая теория магнетизма: учебно-методическое пособие для самостоятельной работы [для студентов напр. 010700.62 «Физика», спец. 010701.65 «Физика», 010704.65 «Физика конденсированного состояния вещества»](Красноярск: СФУ).

### **4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):**

1. Специального программного обеспечения не требуется

### **4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:**

1. Доступ к библиотечному фонду (см. сайт СФУ, раздел «Библиотека», <http://bik.sfu-kras.ru/>).

## **5 Фонд оценочных средств**

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

## **6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Лекции проводятся в учебных аудиториях для занятий лекционного типа, оборудованных учебной мебелью и доской.