

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОГЛАСОВАНО**

**Заведующий кафедрой**

**Базовая кафедра физики  
твёрдого тела и нанотехнологий  
(Б-ФТТН\_ИИФР)**

наименование кафедры

подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

институт, реализующий ОП ВО

**УТВЕРЖДАЮ**

**Заведующий кафедрой**

**Базовая кафедра физики твёрдого  
тела и нанотехнологий (Б-  
ФТТН\_ИИФР)**

наименование кафедры

**доцент П.П.Турчин**

подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

институт, реализующий дисциплину

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ОСНОВЫ СПИНТРОНИКИ**

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 Основы спинтроники

Направление подготовки /  
специальность 03.04.02 Физика, программа 03.04.02.02  
Физика конденсированного состояния  
вещества 2020г

Направленность  
(профиль)

Форма обучения

очная

Год набора

2020

Красноярск 2021

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по укрупненной группе

030000 «ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ»

---

Направление подготовки /специальность (профиль/специализация)

Направление 03.04.02 Физика, программа 03.04.02.02 Физика  
конденсированного состояния вещества 2020г.

---

Программу доцент, А.С.Тарасов  
составили

---

## 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 спин-зависимых 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 низкомерных 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

<b>ПК-1: способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта</b>	
Уровень 1	теоретические подходы и модели, описывающие физику явлений при протекании спин-поляризованного тока в наноструктурах
Уровень 1	использовать современные экспериментальные методики для исследования явлений спинзависимого электронного транспорта
Уровень 1	методами теоретического описания актуальных проблем теории спинового транспорта в наноструктурах

1.4 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной

программы

для освоения данного курса необходимо изучить следующие дисциплины:

Структурные исследования

Фазовые переходы

Специализированные компьютерные технологии в физике

Физический практикум

Дисциплины, для которых необходимо освоение данного курса:

Научно-исследовательский семинар

НИР

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Преддипломная практика

1.5 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)	Семестр
		3
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>4 (144)</b>	<b>4 (144)</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>0,89 (32)</b>	<b>0,89 (32)</b>
занятия лекционного типа	0,44 (16)	0,44 (16)
занятия семинарского типа		
в том числе: семинары		
практические занятия	0,44 (16)	0,44 (16)
практикумы		
лабораторные работы		
другие виды контактной работы		
в том числе: групповые консультации		
индивидуальные консультации		
иная внеаудиторная контактная работа:		
групповые занятия		
индивидуальные занятия		
<b>Самостоятельная работа обучающихся:</b>	<b>2,11 (76)</b>	<b>2,11 (76)</b>
изучение теоретического курса (ТО)		
расчетно-графические задания, задачи (РГЗ)		
реферат, эссе (Р)		
курсовое проектирование (КП)	Нет	Нет
курсовая работа (КР)	Нет	Нет
<b>Промежуточная аттестация (Экзамен)</b>	<b>1 (36)</b>	<b>1 (36)</b>

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

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

№ п/п	Модули, темы (разделы) дисциплины	Занятия лекционного типа (акад. час)	Занятия семинарского типа		Самостоятельная работа, (акад. час)	Формируемые компетенции
			Семинары и/или Практические занятия (акад. час)	Лабораторные работы и/или Практикумы (акад. час)		
1	2	3	4	5	6	7
1	Спектр электронных состояний и транспортные свойства наноструктур	3	3	0	15	ПК-1
2	Спин-вентильные структуры; эффект гигантского магнитосопротивления	3	3	0	15	ПК-1
3	Магнитные туннельные структуры.	3	3	0	15	ПК-1
4	Спин-зависимый транспорт в гибридных структурах.	3	3	0	15	ПК-1
5	Спиновый транспорт и спиновая динамика в магнитных наноструктурах	4	4	0	16	ПК-1
Всего		16	16	0	76	

#### 3.2 Занятия лекционного типа

№	№ раздела	Наименование занятий	Объем в акад. часах
---	-----------	----------------------	---------------------

п/п	дисциплины		Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
1	1	<p>Квантовый характер электронных процессов в нано-структурах.            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.</p>	3	0	0

2	2	<p>Спиновая поляризация электронов в ферромагнитном металле.</p> <p>Поляризованный по спину ток.</p> <p>Феноменологическое описание и микроскопический механизм эффекта ГМС.</p> <p>Модель свободных электронов.</p> <p>Проводимость ферромагнитного металла (модель «двух токов»). Модель «двух токов» для эффекта ГСМ.</p> <p>Роль магнитного состояния, управление магнитным состоянием многослойных магнитных структур.</p> <p>Межслоевое обменное взаимодействие в многослойных магнитных структурах.</p> <p>Экспериментальные факты. Обзор моделей межслоевого обмена.</p> <p>Феноменологический подход при описании магнитного взаимодействия через немагнитную прослойку. Модель спин-зависимого отражения для обменного взаимодействия через немагнитный металл (модель «квантовой ямы»), общий случай.</p> <p>Приближение свободных электронов.</p> <p>Обменное взаимодействие через полупроводниковую прослойку.</p> <p>Диэлектрическая прослойка. Способы управления межслоевым обменным взаимодействием:</p> <p>спиновая инжекция, оптическое излучение.</p>	3	0	0
---	---	---	---	---	---



3	3	<p>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 магнитосопротивление. Теоретические модели спин-зависимого туннелирования в магнитных туннельных структурах. Модель Жульера. Модель Слончевского (Slonczewski).</p>	1	0	0
4	3	<p>Зависимость туннельного магнитосопротивления от магнитного поля. Зависимость туннельного магнитосопротивления от напряжения смещения. Зависимость туннельного магнитосопротивления от температуры. Роль интерфейса в туннельных структурах.</p>	1	0	0

5	3	<p>Эффект спиновой фильтрации в туннельных структурах с фер-ромагнитным 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</p>	1	0	0
6	4	<p>Гибридные структуры. Спиновая инжекция. Проблема «рассогласование проводимостей». Спиновая аккумуляция. Спиновый ток в полупроводниках. Спиновая релаксация. Спиновый эф-фект Холла. Обратный спиновый эффект Холла. Спиновый эф-фект Зеебека. Структуры с «органикой» для спинтроники.</p>	3	0	0

7	5	Эффект переноса спина. Механизм управления намагниченно-стью 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.	2	0	0
8	5	Взаимосвязь спиновой динамики и спинового тока в структурах ферромагнитный диэлектрик/металл. Доменные стенки в нанопроволоках, их динамика	2	0	0
Всего			16	0	0

### 3.3 Занятия семинарского типа

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
1	1	Простейшие квантовые модели. Прямоугольная яма. Треугольная яма. Двойная квантовая яма. Двумерный канал.	3	0	0
2	2	Модель спин-зависимого отражения для обменного взаимодействия через немагнитный металл (модель «квантовой ямы»), общий случай. Приближение свободных электронов.	3	0	0

3	3	Туннельный переход с обменным смещением. Структуры с двумя потенциальными барьерами. Ферроэлектрический туннельный барьер. Гибридный магнитный туннельный барьер с ферромагнитным барьером.	3	0	0
4	4	Спиновая аккумуляция. Спиновый ток в полупроводниках. Спиновая релаксация. Спиновый эффект Холла	3	0	0
5	5	Нелинейные свойства в СВЧ диапазоне. Взаимосвязь спиновой динамики и спинового тока в структурах ферромагнитный диэлектрик/металл. Механизм управления намагниченностью наноразмерных магнетиков поляризованным током. Взаимосвязь поляризованного тока и спиновой динамики.	4	0	0
Всего			16	0	0

### 3.4 Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
Всего					

## 4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
---------------------	----------	-------------------

Л1.1	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, 2012
------	-------------------------------	---	-----------------------

## 5 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

## 6 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

6.1. Основная литература			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Драгунов В. П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А.	Основы наноэлектроники: учеб. пособие для студентов вузов	Москва: Физматкнига, 2006
Л1.2	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, 2012
Л1.3	Ищенко А. А., Гиричев Г. В., Тарасов Ю. И.	Дифракция электронов: структура и динамика свободных молекул и конденсированного состояния вещества: монография	Москва: Физматлит, 2012
6.2. Дополнительная литература			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л2.1	Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А.	Физика квантовых низкоразмерных структур: научное издание	Москва: Логос, 2000
Л2.2	Дырдин В. В., Польшгалов Ю. И., Мальшин А. А.	Физика твердого тела: учебное пособие	Кемерово: КузГТУ, 2012
6.3. Методические разработки			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год

ЛЗ.1	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, 2012
------	-------------------------------	---	-----------------------

### **7 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Э1	Электронная естественнонаучная библиотека	<a href="http://bib.tiera.ru">http://bib.tiera.ru</a>
Э2	Поисковая машина электронных книг.	<a href="http://www.poiskknig.ru">http://www.poiskknig.ru</a>
Э3	Электронная библиотека	<a href="http://gen.lib.rus.ec">http://gen.lib.rus.ec</a>
Э4	Файловый архив для студентов	<a href="http://www.studfiles.ru">http://www.studfiles.ru</a>

### **8 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Изучение дисциплины «Основы спинтроники» проходит в виде лекционных и семинарских занятий в течение семестра университетской программы подготовки магистров и основано на базовых знаниях по общей и теоретической физике, физике конденсированного состояния вещества, квантовой механике, статистической физике. Семестровая последовательность обусловлена необходимым минимумом начальных знаний для усвоения материала курса и обеспечивает требуемое обобщение и фундаментальный уровень для полноценного изучения последующих спецкурсов.

Изучающим дисциплину рекомендуется привлекать дополнительную литературу и использовать другие организационно-практические формы учебной и научной деятельности, связанные с областью профилирования в рамках рассматриваемого направления подготовки.

### **9 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)**

#### **9.1 Перечень необходимого программного обеспечения**

9.1.1	Математические пакеты, электронные таблицы и базы данных, доступные через локальную сеть СФУ.
-------	---

#### **9.2 Перечень необходимых информационных справочных систем**

9.2.1	ИСС не используются.
-------	----------------------

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

Учебно-лабораторная база кафедры физики твердого тела и нанотехнологий и аудиторный фонд СФУ.