



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«Дальневосточный федеральный университет»**

(ДВФУ)

**Институт наукоемких технологий и передовых материалов (Школа)**

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП



(подпись)

Саранин А.А.  
(Ф.И.О. рук. ОП)

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента  
Общей и экспериментальной физики



(подпись)

Короченцев А.А.  
(Ф.И.О.)

« 15 » декабря 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Избранные вопросы физики поверхности твердого тела

**Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**  
магистерская программа

«Электроника и нанoeлектроника (совместно с ИАПУ ДВО РАН)»

**Форма подготовки очная**

курс 1 семестр 2

лекции 36 час.

практические занятия 18 час.

лабораторные работы \_\_\_\_\_ час.

в том числе с использованием МАО лек. \_\_\_\_\_ /пр. \_\_\_\_\_ /лаб. \_\_\_\_\_ час.

в том числе в электронной форме лек. \_\_\_\_\_ /пр. \_\_\_\_\_ /лаб. \_\_\_\_\_ час.

всего часов аудиторной нагрузки 36 час.

в том числе с использованием МАО \_\_\_\_\_ час.

в том числе контролируемая самостоятельная работа \_\_\_\_\_ час.

в том числе в электронной форме \_\_\_\_\_ час.

самостоятельная работа 90 час.

в том числе на подготовку к экзамену \_\_\_\_\_ час.

курсовая работа / курсовой проект \_\_\_\_\_ семестр

зачет 2 семестр

экзамен \_\_\_\_\_ семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22 сентября 2017 г. № 959

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики, протокол № 3 от «29» ноября 2021 г.

Директор департамента общей и экспериментальной физики ИНТиПМ: к.ф.-м.н., доцент Короченцев В.В.

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Давыденко А.В.

Владивосток

2022

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента: \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента: \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## **Аннотация дисциплины «Избранные вопросы физики поверхности твердого тела»**

Учебная дисциплина «Избранные вопросы физики поверхности твердого тела» предназначена для магистрантов 1 курса магистратуры 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, магистерской программы «Электроника и наноэлектроника (совместно с ИАПУ ДВО РАН)».

Дисциплина «Избранные вопросы физики поверхности твердого тела» входит в обязательную часть блока дисциплин образовательной программы (Б1.О.04.01), реализуется на 1 курсе, в 2 семестре, завершается зачетом. Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 З.Е. (144 часа). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 час.), практические занятия (18 час.), самостоятельная работа студента (90 час.), зачет.

Язык реализации – русский.

**Цель** изучения дисциплины – рассмотрение поверхностных явлений, проявляющихся на поверхностях и границах раздела в тонких пленках, которые активно используются в промышленности для создания и технологического применения.

### **Задачи:**

- Усвоение основ физики поверхностных явлений.
- Изучение магнитных эффектов, проявляющихся в структурах с пониженной размерностью.
- Умение анализа экспериментальных данных и понимания научных статей.
- Умение работать с научной литературой.
- Способность доложить экспериментальные результаты в доступной и понятной форме.

Дисциплина нацелена на изучение определенного круга поверхностных явлений, которые уже используются в индустрии или перспективны для практического внедрения в промышленный цикл с целью создания устройств наноэлектроники, магнитной памяти и сверхпроводников.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируется следующая общепрофессиональная компетенция:

Наименование категории (группы) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции
Научное мышление	<b>ОПК-1</b> Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	ОПК-1.1 демонстрирует знание понятийного аппарата электроники и нанoeлектроники ОПК-1.2 осуществляет систематизацию научно-технической информации по исследуемой проблеме с использованием компьютерных технологий ОПК-1.3 применяет навыки теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ОПК-1.1 демонстрирует знание понятийного аппарата электроники и нанoeлектроники	<u>Знает</u> понятийный аппарат электроники и нанoeлектроники, математические, естественнонаучные и социально-экономические методы для использования в профессиональной деятельности
	<u>Умеет</u> представлять современную научную картину для описания наблюдаемых явлений в нанoeлектронике
	<u>Владеет</u> навыками коммуникации и презентации научных исследований в области электроники и нанoeлектроники
ОПК-1.2 осуществляет систематизацию научно-технической информации по исследуемой проблеме с использованием компьютерных технологий	<u>Знает</u> методы и способы систематизации научно-технической информации по исследуемой проблеме
	<u>Умеет</u> применять компьютерные технологии для систематизации научно-технической информации
	<u>Владеет</u> навыками выявления естественнонаучной сущности проблем, определения путей их решения и оценки эффективности сделанного выбора
ОПК-1.3 применяет навыки теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте	<u>Знает</u> методы теоретического и экспериментального исследования
	<u>Умеет</u> применять методы теоретического и экспериментального анализа исследуемых объектов, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте
	<u>Владеет</u> навыками теоретического и экспериментального исследования и оценки эффективности выбранного метода

## СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Раздел I. Физические основы новейших магнитных явлений и эффектов (28 часов)

#### 1. Спинтроника. (8 часов)

Основы спинтроники. Спиновый транспорт. Гигантское магнитосопротивление. Модель Мотта.

## **2. Туннельное магнитосопротивление. (8 часов)**

Основы квантовомеханического туннелирования. Модель Джулиера. Модель Слончевского. Туннельное магнитосопротивление.

## **3. Перенос спинового момента от тока.**

**(6 часов)**

Перенос спинового момента от тока. Перенос спинового момента в структурах с многослойных структурах с сильным спин-орбитальным взаимодействием на интерфейсах. Спиновая динамика, вызванная переносом спинового момента.

## **4. Взаимодействие Дзялошинского-Мория (6 часов)**

Общая концепция и необходимые условия возникновения взаимодействия Дзялошинского-Мория в объемных кристаллах. Взаимодействие Дзялошинского-Мория в многослойных системах. Влияние взаимодействия Дзялошинского-Мория на процессы перемагничивания и перенос спиновго момента от тока.

## **Раздел II. Перспективные виды магнитной памяти нового поколения (8 часов)**

### **Тема 1. Магнитная память с произвольной выборкой данных (4 часа)**

Общие принципы построения магнитной памяти с произвольной выборкой данных. Конструкционные особенности. Перспективы развития и использования.

### **Тема 2. Память на беговых дорожках (4 часа)**

Общие принципы построения магнитной памяти на беговых дорожках. Конструкционные особенности. Перспективы развития и использования.

# **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36 ЧАСОВ)**

## **Тема 1. Гигантское магнитосопротивление (8 часов).**

- Принципы записи и чтения информации в жестком диске. Совершенствование технологий чтения и записи.
- Записывающие головки с датчиками гигантского магнитосопротивления
- Среда записи с плоскостной и перпендикулярной магнитной анизотропией
- Спиновый вентиль. Способы создания спиновых вентиляей. Способы закрепления намагниченности в слое.

## **Тема 2. Туннельное магнитосопротивление (8 часов).**

- Записывающие головки с датчиками туннельного магнитосопротивления
- Сенсор туннельного магнитосопротивления
- Виды окислов, используемых в сенсорах туннельного магнитосопротивления
- Память с произвольной выборкой данных на основе структур эффектом высокого туннельного магнитосопротивления. Общие принципы.

## **Тема 3. Перенос спинового момента от тока (8 часов)**

- Память с произвольной выборкой данных на основе структур эффектом высокого туннельного магнитосопротивления, в которых перемагничивание происходит за счет переноса спинового момента от тока. Общие принципы.
- Память на беговых дорожках (первая версия).

## **Тема 4. Взаимодействие Дзялошинского-Мория (8 часов)**

- Скирмионная память на беговых дорожках. Различные способы реализации.

- Память на беговых дорожках на основе смещения доменных границ со спин-орбитальными эффектами (вторая и третьи версии).
- Киральные спиновые структуры в среде с высоким взаимодействием Дзялошинского-Мория.

### **Тема 5. Магнитоэлектронные приборы (4 часа)**

- Произвольные магнитоэлектронные приборы, которые выбраны студентами для доклада.

## **II. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Избранные вопросы физики поверхности твердого тела» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

На самостоятельную работу студентов по курсу «Избранные вопросы физики поверхности твердого тела» отводится 72 часа. Контактной самостоятельной работы в рамках данного курса не предусмотрено.

## **III. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства	
			текущий контроль	промежуточная аттестация

1	Тема 1. Гигантское магнитосопротивление	ОПК-5, ПК-5, 12, 13	знает	Конспект (ПР-7)	зачет, вопросы 1-7, Собеседование (УО-1)
			умеет	Творческое задание (ПР-13)	зачет, вопросы 1-7, Собеседование (УО-1)
			владеет	Доклад, сообщение (УО-3)	зачет, вопросы 1-7, Собеседование (УО-1)
2	Тема 2. Туннельное магнитосопротивление	ОПК-5, ПК-5, 12, 13	знает	Конспект (ПР-7)	зачет, вопросы 8-11, Собеседование (УО-1)
			умеет	Творческое задание (ПР-13)	зачет, вопросы 8-11, Собеседование (УО-1)
			владеет	Доклад, сообщение (УО-3)	зачет, вопросы 8-11, Собеседование (УО-1)
3	Тема 3. Перенос спинового момента от тока	ОПК-5, ПК-5, 12, 13	знает	Конспект (ПР-7)	зачет, вопросы 12-17 Собеседование (УО-1)
			умеет	Творческое задание (ПР-13)	зачет, вопросы 12-17 Собеседование (УО-1)
			владеет	Доклад, сообщение (УО-3)	зачет, вопросы 12-17 Собеседование (УО-1)
4	Тема 4. Взаимодействие Дзялошинского-Мория	ОПК-5, ПК-5, 12, 13	знает	Конспект (ПР-7)	зачет, вопросы 18-21 Собеседование (УО-1)
			умеет	Творческое задание (ПР-13)	зачет, вопросы 18-21 Собеседование (УО-1)
			владеет	Доклад, сообщение (УО-3)	зачет, вопросы 18-21 Собеседование (УО-1)



Вопросы и типы заданий к зачету, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

#### **IV. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Белорусская наука, 2009. — 648 с.: <http://www.iprbookshop.ru/11505.html>
2. Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В.А. Гуртов, Р.Н. Осауленко. — Электрон. текстовые данные. — М. : Техносфера, 2012. — 560 с. <http://www.iprbookshop.ru/26903.html>
3. Агеев О.А., Федотов А.А., Смирнов В.А. Методы формирования структур элементов наноэлектроники и наносистемной техники: Учебное пособие. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. - 72 с. <http://window.edu.ru/resource/948/73948>
4. Драгунов В.П. Микро- и наноэлектроника: учебное пособие / В.П. Драгунов, Д.И. Остертак. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 38 с.: <http://www.iprbookshop.ru/45107.html>
5. Афонский А.А. Электронные измерения в нанотехнологиях и в микроэлектронике [Электронный ресурс] / Афонский А.А., Дьяконов В.П. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Профобразование, 2017. – 688 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63585.html> – ЭБС «IPRbooks».

## Дополнительная литература

(электронные и печатные издания)

1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит, 2009. - 416 с. <http://www.iprbookshop.ru/12979.html>
2. Шевченко О.Ю. Основы физики твердого тела: учебное пособие / О.Ю. Шевченко. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2010. — 77 с <http://www.iprbookshop.ru/67512.html>
3. Федотов А.К. Физическое материаловедение. Часть 1. Физика твердого: учебное пособие / А.К. Федотов. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2010. — 400 с. — <http://www.iprbookshop.ru/20161.html>
4. Борисенко В.Е., Воробьева А.И., Данилюк А.Л., Уткина Е.А. Наноэлектроника: теория и практика. 2-ое изд., перераб. и доп. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 366 с.
5. Астайкин А.И. Метрология и радиоизмерения [Электронный ресурс]: учебное пособие / Астайкин А.И., Помазков А.П., Щербак Ю.П. – Электрон. текстовые данные. – Саров: Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2010. – 405 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/18440.html> – ЭБС «IPRbooks».

## Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Нанотехнологии в России <http://www.nanonewsnet.ru>
2. Российский электронный наножурнал <http://www.nanorf.ru>
3. Журнал «Наука и жизнь» <https://www.nkj.ru>
4. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
5. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>

6. [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) - Электронная библиотечная система «Университетская библиотека - online».

7. [www.iqlib.ru](http://www.iqlib.ru) - Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия [www.affp.mics.msu.su](http://www.affp.mics.msu.su)

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется общее программное обеспечение компьютерных учебных классов (Windows XP, Microsoft Office и др.). Аудитории Лабораторного корпуса оснащены проекторами и экранами, с помощью которых можно сделать графическую презентацию найденной информации, сделать доклад, провести презентацию графических материалов лекции.

### **V. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для базового изучения курса необходимо посещать лекции, практические занятия, делать доклады, подготовленные самостоятельно, работать с основной литературой по дисциплине.

Для углубленного изучения теоретического материала курса дисциплины помимо вышеперечисленных рекомендаций необходимо использовать дополнительную литературу, указанную в приведенном выше перечне.

Рекомендованные источники доступны обучаемым в научной библиотеке (НБ) ДВФУ (в перечне приведены соответствующие гиперссылки этих источников), а также в электронной библиотечной системе (ЭБС) IPRbooks (приведены аналогичные гиперссылки).

Доступ к системе ЭБС IPRbooks осуществляется на сайте [www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru) под учётными данными вуза (ДВФУ):

Для подготовки к зачету определен перечень вопросов, представленный ниже, в материалах фонда оценочных средств дисциплины.

### **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

## ДИСЦИПЛИНЫ

Для проведения исследований, связанных с выполнением практических заданий по дисциплине доступно лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 441. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 15) Оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA – 1 шт. Доска аудиторная.	Специализированное ПО не требуется
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 320. Лаборатория пленочных технологий ДВФУ	Вибрационный магнитометр Lakeshore 7400, оптический магнитометр Nanomeke2, Керр-микроскоп Evico Magnetics, магнитно-силовой микроскоп Ntegra Aura	ПО, позволяющее выполнять лабораторные работы на лабораторных установках, Origin – программное обеспечение для построения графиков, Gwyddion – свободно распространяемое программное обеспечение для обработки графических изображений
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб. А1017. Аудитория для самостоятельной работы	Оборудование: Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.)	Специализированное ПО не требуется

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно - навигационной поддержки.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

### План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-4 недели семестра	Подготовка к докладу по практическому занятию 1	16 час.	Доклад
2	5-8 недели семестра	Подготовка к докладу по практическому занятию 2	16 час.	Доклад
3	9-13 недели семестра	Подготовка к докладу по практическому занятию 3	16 час.	Доклад
4	13-16 недели семестра	Подготовка к докладу по практическому занятию 4	16 час.	Доклад
5	17-18 недели семестра	Подготовка к докладу по практическому занятию 5	8 час.	Доклад
Итого			72 час.	

### Темы дисциплины

Практические занятия объединены в пять общих тем:

- Тема 1. Гигантское магнитосопротивление
- Тема 2. Туннельное магнитосопротивление
- Тема 3. Перенос спинового момента от тока
- Тема 4. Взаимодействие Дзялошинского-Мория
- Тема 5. Произвольные магнитоэлектронные приборы.

### Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Курс построен таким образом, что в теоретической части рассматриваются физические явления, на основе которых создаются или уже созданы новые приборы магнитной электроники. Студентам предлагается самостоятельно разобраться в принципах функционирования данных устройств, основываясь на знаниях, полученных в ходе изучения теоретической части курса (на лекциях) и усвоенных самостоятельно из источников основной и дополнительной литературы и сетевых источников. Курс разделен на четыре основные темы и дополнительное занятие по произвольной теме. На каждую из четырех основных тем занятий отводится по 4 часа практических занятий. Студентам необходимо подготовить доклад по каждой теме. Чтобы все учащиеся могли участвовать в докладе, каждая тема разбита на множество не-

больших подпунктов. Каждый студент должен найти и усвоить информацию по всей теме, но подготовить доклад только по нескольким подпунктам. Доклад выполняется в виде презентации, которая представляется на проекторе во время практического занятия. Преподаватель выстраивает презентации докладчиков в определенном порядке таким образом, чтобы в результате тема была полностью разобрана. Если каких-либо студентов на практическом занятии нет, то преподаватель восполняет отсутствующие звенья цепи заранее подготовленными презентациями. Преподаватель имеет в своем распоряжении презентации данных по всем подпунктам всех тем. Отсутствие одного или нескольких студентов не должно стать преградой для осуществления практического занятия. Если больше половины студентов не готовы, то преподаватель проводит вместо практического занятия следующее по списку лекционное занятие.

Ниже приведено разбиение общих тем курса на подпункты.

### **Тема 1. Гигантское магнитосопротивление.**

- История обнаружения эффекта. Нобелевские лауреаты П. Грюнберг и А. Ферт. Их исследования.
- Исследования С. Паркина. Обнаружение эффекта гигантского магнитосопротивления в поликристаллических системах.
- Спиновый вентиль. Способы создания спиновых вентиляей. Способы закрепления намагниченности в слое.
- Принципы записи и чтения информации в жестком диске. Совершенствование технологий чтения и записи. Диаграмма увеличения плотности записи в жестких дисках.
- Технология считывающих головок на основе анизотропного магнитосопротивления.
- Записывающие головки с датчиками гигантского магнитосопротивления.

- Среда записи с плоскостной и перпендикулярной магнитной анизотропией. Преимущества сред с перпендикулярной магнитной анизотропией (термостабильность, плотность записи, и т. д.)

## **Тема 2. Туннельное магнитосопротивление.**

- Записывающие головки с датчиками туннельного магнитосопротивления.
- Сенсор туннельного магнитосопротивления.
- Виды окислов, используемых в сенсорах туннельного магнитосопротивления.
- Ограничения технологии записи информации на основе жестких дисков. Преимущества и недостатки по сравнению с другими технологиями, представленными на данный момент на рынке.
- Твердотельная флэш-память. Принципы функционирования. Преимущества и недостатки. Сравнение с жесткими дисками.
- Оперативная электронная память. Принципы функционирования. Сравнение с остальными видами памяти. Преимущества и недостатки.
- Предпосылки для создания универсальной памяти. Требуемые характеристики универсальной памяти.

## **Тема 3. Перенос спинового момента от тока (4 часа)**

- Память с произвольной выборкой данных. Принципы функционирования.
- Осуществление доступа к данным в памяти с произвольной выборкой данных.
- Характеристики памяти с произвольной выборкой данных.
- История развития памяти с произвольной выборкой данных. Память на основе перемагничивания от поля Эрстеда.
- Память на основе передачи спинового момента от тока в поперечной геометрии. Двухконтактные устройства. STT-эффект.

- Память на основе передачи спинового момента в продольной геометрии. Трехконтактные устройства. SOT-эффект.
- Устройства, представленные на рынке в данный момент.
- Будущее памяти с произвольной выборкой данных. Новые технологии. Топологические изоляторы.

#### **Тема 4. Взаимодействие Дзялошинского-Мория (4 часа)**

- Память на беговых дорожках. Общие принципы функционирования.
- Память на беговых дорожках первые версии. Память на доменных границах. История развития. Переход на среды с перпендикулярной анизотропией.
- SOT-эффект в памяти на беговых дорожках.
- Антиферромагнитные среды записи информации в памяти на беговых дорожках. Перспективы развития.
- Скирмионная память на беговых дорожках. Различные способы реализации.
- Киральные спиновые структуры в среде с высоким взаимодействием Дзялошинского-Мория.
- Устройства магнитной логики, будущее спинтроники.

#### **Тема 5. Магнитоэлектронные приборы (2 часа)**

- Студенты могут подготовить доклад на любую тему по магнитоэлектронным приборам. В случае большой задолженности студентов данное занятие отводится на сдачу долгов.

### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Результаты самостоятельной работы отражаются в презентациях в электронном виде.



К представлению и оформлению презентаций по практическим занятиям предъявляются следующие требования.

### Структура презентаций

Презентации по подпунктам темы практического занятия представляются в электронной форме, подготовленные как файлы презентации с расширением \*.ppt(x).

Презентация должна охватывать наиболее полную информацию в подпункте.

На презентацию каждого подпункта устанавливается минимальное время равное 15 мин и максимальное время, равное 25 минутам. Количество слайдов не ограничено.

Титульного листа, введения и выводов в презентациях не требуется. Презентация должна содержать только информацию о конкретном подпункте. Презентация должна содержать графическую и текстовую информацию. Представление только одного вида информации не допустимо. В презентацию могут входить анимированные видеоролики, анимированные эффекты, при этом они не должны затруднять восприятие материала.

### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

*Оценивание практических работ* проводится по следующим основным критериям:

- полнота раскрытия проблемы;
- качество изложения материала, умение докладывать;
- понимание студентом материала;
- уровень выполнения презентации;

Студент должен наиболее полно раскрыть данный ему подпункт общей темы. Полнота проработки материала оценивается по продолжительности доклада. При этом запрещается докладывать одну и ту же информацию не-

ограниченно долго для увеличения продолжительности доклада. Также запрещается специальное затягивание доклада (большие паузы, неторопливая речь). Если преподаватель замечает умышленное затягивание доклада, то студент получает замечание и оценка выполнения практического задания снижается.

Оценивается умение студентов докладывать, их речь, уверенность, отсутствие речевых ошибок, умение расставлять акценты. Это не главный критерий оценки выполнения практического задания, однако за счет уверенной презентации студент может повысить общий балл за работу.

Студент должен понимать материал, следовательно, оценивается отсутствие ошибок в понимании физики процессов и явлений, используемых в рассматриваемых приборах.

Заключительным критерием является оценка выполнения презентации. Презентация должна быть яркой, вся информация должна быть доступна для слушателя, графическая информация оптимально размещена на слайдах, размер и тип используемых шрифтов должны быть оптимальны для восприятия.

### **Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

Студенты самостоятельно готовятся к докладу по теме после прочтения им теоретических основ исследуемого явления. Студенты могут пользоваться любыми источниками информации, если они уверены в том, что информация достоверна. Перед составлением презентации рекомендуется сначала вникнуть в суть рассматриваемой проблемы, понять принципы работы исследуемого устройства и собрать достаточное количество материала. Затем студенты могут перейти к формированию презентации. После окончания работы над презентацией студенты должны отработать доклад так, чтобы укладываться в разрешенный временной интервал, и чтобы выступление смотрелось уверенно и эффектно.

### **Методические указания к выполнению презентаций**

Презентация дает возможность наглядно представить инновационные идеи, разработки и планы. Учебная презентация представляет собой результат самостоятельной работы студентов, с помощью которой они наглядно демонстрируют материалы публичного выступления перед аудиторией.

Компьютерная презентация – это файл с необходимыми материалами, который состоит из последовательности слайдов. Каждый слайд содержит законченную по смыслу информацию, так как она не переносится на следующий слайд автоматически в отличие от текстового документа. Студенту – автору презентации, необходимо уметь распределять материал в пределах страницы и грамотно размещать отдельные объекты. В этом ему поможет целый набор готовых объектов (пиктограмм, геометрических фигур, текстовых окон и т.д.).

Бесспорным достоинством презентации является возможность при необходимости быстро вернуться к любому из ранее просмотренных слайдов или буквально на ходу изменить последовательность изложения материала. Презентация помогает самому выступающему не забыть главное и точнее расставить акценты.

Одной из основных программ для создания презентаций в мировой практике является программа PowerPoint компании Microsoft.

### **Структура презентации**

Первый слайд презентации должен содержать общую тему практической работы и конкретно рассматриваемый в данной презентации подпункт, фамилию, имя и отчество исполнителя, номер учебной группы, а также фамилию, имя, отчество, должность и ученую степень преподавателя. Последующие слайды содержат основную информацию. Выводов не требуется. Файл должен быть назван как (Фамилия студента)\_(номер темы)\_(номер подпункта в теме).ppt, например Иванов\_2\_5.ppt

## **Рекомендации по оформлению презентаций в Microsoft Power Point**

Предпочтительно использование шрифтов типа Times или Arial, однако, это не строгое требование. Шрифт должен быть разборчивым и понятным. Особое внимание нужно уделить размеру шрифтов. Он должен быть таким, чтобы вся аудитория могла разобрать любую информацию, представленную на слайде. Использование мелкого размера шрифтов снижает качество восприятия материала, уровень интереса к докладу и общей дисциплины в аудитории. Не рекомендуется перегружать слайд информацией. Лучше разбить слайд на несколько, если такое представляется возможным. С другой стороны, необходимо стремиться, чтобы каждый слайд не содержал больших пустых участков и был наполнен информацией.

Макет презентации должен быть оформлен в строгой цветовой гамме. Фон не должен быть слишком ярким или пестрым. Текст должен хорошо читаться. Одни и те же элементы на разных слайдах должны быть одного цвета.

Каждый слайд должен содержать заголовок. В конце заголовков точка не ставится. В заголовках должен быть отражен вывод из представленной на слайде информации. Оформление заголовков заглавными буквами можно использовать только в случае их краткости.

На слайде следует помещать не более 5-6 строк и не более 5-7 слов в предложении. Текст на слайдах должен хорошо читаться.

При добавлении рисунков, схем, диаграмм, снимков экрана (скриншотов) необходимо проверить текст этих элементов на наличие ошибок. Необходимо проверять правильность написания названий улиц, фамилий авторов методик и т.д.

Нельзя перегружать слайды анимационными эффектами – это отвлекает слушателей от смыслового содержания слайда. Для смены слайдов используйте один и тот же анимационный эффект.

## **Порядок и принципы выполнения компьютерной презентации**

Основные этапы работы над компьютерной презентацией:

1. Спланируйте общий вид презентации по выбранной теме, опираясь на собственные разработки и рекомендации преподавателя.
2. Распределите материал по слайдам.
3. Отредактируйте и оформите слайды.
4. Задайте единообразный анимационный эффект для демонстрации презентации.
5. Распечатайте презентацию.
6. Проговорите готовый вариант перед демонстрацией с целью выявления ошибок.
7. Доработайте презентацию, если возникла необходимость.

### **Основные принципы выполнения и представления компьютерной презентации**

- помните, что компьютерная презентация не предназначена для автономного использования, она должна лишь помогать докладчику во время его выступления, правильно расставлять акценты;
- не усложняйте презентацию и не перегружайте ее текстом, статистическими данными и графическими изображениями;
- Не читайте текст на слайдах. Устная речь докладчика должна дополнять, описывать, но не пересказывать, представленную на слайдах информацию;
- дайте время аудитории ознакомиться с информацией каждого нового слайда, а уже после этого давать свои комментарии показанному на экране. В противном случае внимание слушателей будет рассеиваться;
- делайте перерывы. Не следует торопиться с демонстрацией последующего слайда. Позвольте слушателям подумать и усвоить информацию;
- обязательно отредактируйте презентацию перед выступлением после предварительного просмотра (репетиции).

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-1.1 демонстрирует знание понятийного аппарата электроники и нанoeлектроники	Знает	<i>Знает</i> понятийный аппарат электроники и нанoeлектроники, математические, естественнонаучные и социально-экономические методы для использования в профессиональной деятельности
	Умеет	<i>Умеет</i> представлять современную научную картину для описания наблюдаемых явлений в нанoeлектронике
	Владеет	<i>Владеет</i> навыками коммуникации и презентации научных исследований в области электроники и нанoeлектроники
ОПК-1.2 осуществляет систематизацию научно-технической информации по исследуемой проблеме с использованием компьютерных технологий	Знает	<i>Знает</i> методы и способы систематизации научно-технической информации по исследуемой проблеме
	Умеет	<i>Умеет</i> применять компьютерные технологии для систематизации научно-технической информации
	Владеет	<i>Владеет</i> навыками выявления естественнонаучной сущности проблем, определения путей их решения и оценки эффективности сделанного выбора
ОПК-1.3 применяет навыки теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте	Знает	<i>Знает</i> методы теоретического и экспериментального исследования
	Умеет	<i>Умеет</i> применять методы теоретического и экспериментального анализа исследуемых объектов, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте
	Владеет	<i>Владеет</i> навыками теоретического и экспериментального исследования и оценки эффективности выбранного метода

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Тема 1. Гигантское магнитосопротивление	ОПК-1	знает	Конспект (ПР-7)	зачет, вопросы 1-7, Собеседование (УО-1)
			умеет	Творческое задание (ПР-13)	зачет, вопросы 1-7, Собеседование (УО-1)
			владеет	Доклад, сообщение (УО-3)	зачет, вопросы 1-7, Собеседование (УО-1)

2	Тема 2. Туннельное магнитосопротивление	ОПК-1	знает	Конспект (ПР-7)	зачет, вопросы 8-11, Собеседование (УО-1)
			умеет	Творческое задание (ПР-13)	зачет, вопросы 8-11, Собеседование (УО-1)
			владеет	Доклад, сообщение (УО-3)	зачет, вопросы 8-11, Собеседование (УО-1)
3	Тема 3. Перенос спинного момента от тока	ОПК-1	знает	Конспект (ПР-7)	зачет, вопросы 12-17 Собеседование (УО-1)
			умеет	Творческое задание (ПР-13)	зачет, вопросы 12-17 Собеседование (УО-1)
			владеет	Доклад, сообщение (УО-3)	зачет, вопросы 12-17 Собеседование (УО-1)
4	Тема 4. Взаимодействие Дзялошинского-Мория	ОПК-1	знает	Конспект (ПР-7)	зачет, вопросы 18-21 Собеседование (УО-1)
			умеет	Творческое задание (ПР-13)	зачет, вопросы 18-21 Собеседование (УО-1)
			владеет	Доклад, сообщение (УО-3)	зачет, вопросы 18-21 Собеседование (УО-1)

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	критерии	показатели	баллы
ОПК-1.1 демонстрирует знание понятийного аппарата электроники и нанoeлектроники	<i>Знает</i> понятийный аппарат электроники и нанoeлектроники, математические, естественнонаучные и социально-экономические методы для использования в профессио-	Принципы научного поиска информации в сети «Интернет» и научной литературе	Представление доклада, раскрывающего основные аспекты заданной темы	60 - 74

	нальной деятельности			
	<u>Умеет</u> представлять современную научную картину для описания наблюдаемых явлений в нанoeлектронике	Умение выделить нужную информацию из многообразия данных и интерпретировать ее	Представление доклада, полностью раскрывающего заданную тему	75 - 89
	<u>Владеет</u> навыками коммуникации и презентации научных исследований в области электроники и нанoeлектроники	Самостоятельное освоение научной информации, способность донести научную информацию аудитории	Представление доклада, полностью раскрывающего заданную тему, доклад должен быть понятен не только преподавателю, но и студентам	90 - 100
ОПК-1.2 осуществляет систематизацию научно-технической информации по исследуемой проблеме с использованием компьютерных технологий	<u>Знает</u> методы и способы систематизации научно-технической информации по исследуемой проблеме	Воспроизводство и объяснение учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты	Знание базовых принципов работы спинтронных устройств, устройств записи информации и магнитной логики	60 - 74
	<u>Умеет</u> применять компьютерные технологии для систематизации научно-технической информации	Выполнение типичных задач на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения	Знание принципов работы, элементов спинтронных устройств, устройств записи информации и магнитной логики. Умеет сравнивать и анализировать существующие технологии записи и передачи информации	75 - 89
	<u>Владеет</u> навыками выявления естественной сущности проблем, определения путей их решения и оценки эффективности сделанного выбора	Решение усложненных задач в нетипичных ситуациях на основе приобретенных знаний, умений и навыков	Знание принципов работы, элементов спинтронных устройств, устройств записи информации и магнитной логики. Умение сравнивать и анализировать существующие технологии записи и передачи информации. Способность прогноза развития существующих технологий.	90 - 100
ОПК-1.3 применяет навыки теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисципли-	<u>Знает</u> методы теоретического и экспериментального исследования	Принципы научного поиска информации в сети «Интернет» и научной литературе	Представление доклада, раскрывающего основные аспекты заданной темы	60 - 74
	<u>Умеет</u> применять методы теоретического и экспериментального анализа исследуемых	Умение выделить нужную информацию из многообразия данных и	Представление доклада, полностью раскрывающего заданную тему	75 - 89



нарном контексте	объектов, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте	интерпретировать ее		
	<i>Владеет</i> навыками теоретического и экспериментального исследования и оценки эффективности выбранного метода	Самостоятельное освоение научной информации, способность донести научную информацию аудитории	Представление доклада, полностью раскрывающего заданную тему, доклад должен быть понятен не только преподавателю, но и студентам	90 - 100

## **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

### **Текущая аттестация студентов**

Текущая аттестация студентов по дисциплине «Избранные вопросы физики поверхности твердого тела» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Избранные вопросы физики поверхности твердого тела» проводится в форме оценки презентации докладов по заданным темам. Оценивание осуществляется ведущим преподавателем.

Общими объектами оценивания выступают:

- посещение занятий;
- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий);
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

*Оценивание самостоятельной работы студентов* проводится по оценке практических работ по следующим основным критериям:

- полнота раскрытия проблемы;
- качество изложения материала, умение докладывать;
- понимание студентом материала;
- уровень выполнения презентации;

Таким образом, выполнение студентами практических занятий и презентация докладов позволяет судить о качестве усвоения теоретического материала. Оценивание результатов освоения дисциплины на этапе текущей аттестации проводится в соответствии с используемыми оценочными средствами и критериями.

### **Критерии оценки практической работы студентов**

Оценивание защиты практической работы проводится при представлении презентации в электронном виде и ее демонстрации с устным докладом перед аудиторией или преподавателю. Оценивание осуществляется по двухбалльной шкале: «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он представляет к защите доклад по заданной теме, удовлетворяющий требованиям по оформлению содержания, объему; демонстрирует владение методами и приемами теоретических и/или практических аспектов работы.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если он не владеет методами и приемами теоретических и/или практических аспектов работы, допускает существенные ошибки в докладе, путается в физических процессах функционирования приборов, не может объяснить принципы работы спинтронных приборов, представляет доклад с существенными отклонениями от правил оформления презентаций.

### **Промежуточная аттестация студентов**

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Избранные вопросы физики поверхности твердого тела» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Избранные вопросы физики поверхности твердого тела» проводится в виде зачета, форма зачета – ответ студента на два теоретических вопроса из списка. Допуском к зачету является наличие зачтенных презентаций по всем практическим работам.

**Критерии выставления зачета студенту по дисциплине «Избранные вопросы физики поверхности твердого тела»:**

Оценка зачета (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
«зачтено»	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
«не зачтено»	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, путается в докладах практических заданий. Как правило, оценка «не зачтено» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

**Оценочные средства для промежуточной аттестации** Собеседование (УО-1)

**Вопросы к зачету**

1. Основы спинтроники. Спиновый транспорт.
2. Гигантское магнитосопротивление. Модель Мотта.
3. Основы квантовомеханического туннелирования. Модель Джулиера
4. Модель Слончевского. Туннельное магнитосопротивление.
5. Принципы записи и чтения информации в жестком диске. Совершенствование технологий чтения и записи.
6. Записывающие головки с датчиками гигантского магнитосопротивления
7. Среда записи с плоскостной и перпендикулярной магнитной анизотропией
8. Спиновый вентиль. Способы создания спиновых вентиляей. Способы закрепления намагниченности в слое.
9. Перенос спинового момента от тока. Перенос спинового момента в структурах с многослойных структурах с сильным спин-орбитальным взаимодействием на интерфейсах.

10. Записывающие головки с датчиками туннельного магнитосопротивления.
11. Сенсор туннельного магнитосопротивления. Виды окислов, используемых в сенсорах туннельного магнитосопротивления
12. Общая концепция и необходимые условия возникновения взаимодействия Дзялошинского-Мория в объемных кристаллах.
13. Взаимодействие Дзялошинского-Мория в многослойных системах. Влияние взаимодействия Дзялошинского-Мория на процессы перемагничивания и перенос спиновго момента от тока.
14. Общие принципы построения магнитной памяти с произвольной выборкой данных. Конструкционные особенности. Перспективы развития и использования.
15. Общие принципы построения магнитной памяти на беговых дорожках. Конструкционные особенности. Перспективы развития и использования.
16. Скирмионная память на беговых дорожках. Различные способы реализации.
17. Память на беговых дорожках на основе смещения доменных границ со спин-орбитальными эффектами (вторая и третьи версии).
18. Киральные спиновые структуры в среде с высоким взаимодействием Дзялошинского-Мория.