

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Талорский Д.А.



\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

### Программа дисциплины

Теоретические основы спинтроники Б1.В.ДВ.4

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая и математическая физика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Деминов Р.Г. , Заяц А.Е.

**Рецензент(ы):**

Прошин Ю.Н.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Прошин Ю. Н.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 6142817

Казань

2017

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Деминов Р.Г. Кафедра теоретической физики Отделение физики , Raphael.Deminov@kpfu.ru ; доцент, к.н. Заяц А.Е. Кафедра теории относительности и гравитации Отделение физики , Alexei.Zayats@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения комплексной дисциплины "Калибровочные поля и теоретические основы спинтроники" является получение знаний в области современной теории поля и изучение теоретических основ спин-зависимых явлений в различных объектах, включая низкоразмерные структуры и магнитные наноструктуры.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.4 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.04.02 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 1 курсе, 1, 2 семестры.

Дисциплина (М.2.ДВ.2) входит в вариативную часть профессионального цикла (М.2) как дисциплина по выбору. Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: квантовая механика, статистическая физика, квантовая теория твердого тела, методы квантовой теории поля в статистической физике. Освоение дисциплины необходимо для изучения дисциплин, связанных с физикой конденсированного состояния (в частности, с физикой низкоразмерных систем и магнитных наноструктур), и для успешной профессиональной деятельности

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1 (общекультурные компетенции)	способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу
ОПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами направленности (профиля) подготовки
ОПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

теоретические основы спинтроники

2. должен уметь:

использовать знание теоретических основ спинтроники при анализе различных спин-зависимых эффектов

3. должен владеть:

навыками вычисления спин-зависимых свойств различных систем

4. должен демонстрировать способность и готовность:

к дальнейшему обучению

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных(ые) единиц(ы) 216 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины отсутствует в 1 семестре; экзамен во 2 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Скалярные и векторные поля. Взаимодействие полей с внешними источниками.	1	1-2	2	0	0	Письменное домашнее задание
2.	Тема 2. Калибровочное взаимодействие в скалярной электродинамике.	1	3-4	2	0	0	Письменное домашнее задание
3.	Тема 3. Неабелевы калибровочные поля. Уравнения поля.	1	5-6	2	0	0	Письменное домашнее задание
4.	Тема 4. Решения уравнений поля. Условия самодуальности	1	7-8	2	0	0	Письменное домашнее задание

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
5.	Тема 5. Инстантоны. Топологический заряд.	1	9-10	2	0	0	Письменное домашнее задание
6.	Тема 6. Спонтанное нарушение глобальной симметрии. Нambu-голдстоуновский бозон. Теорема Голдстоуна.	1	11-12	2	0	0	Письменное домашнее задание
7.	Тема 7. Механизм Хиггса.	1	13-14	2	0	0	Письменное домашнее задание
8.	Тема 8. Монополь в модели Янга-Миллса-Хиггса. Самодуальный монополь.	1	15-16	2	0	0	Письменное домашнее задание
9.	Тема 9. Простейшие топологические солитоны. Кинк. Вихрь.	1	17-18	2	0	0	Контрольная работа
10.	Тема 10. Введение в спинтронику.	2	1-2	2	2	0	Письменное домашнее задание
11.	Тема 11. Теория транспорта в немагнитных металлах и полупроводниках.	2	3-4	2	2	0	Письменное домашнее задание
12.	Тема 12. Рассеяние на магнитных примесях.	2	5-6	2	2	0	Контрольная работа
13.	Тема 13. Транспорт в низкоразмерных системах.	2	7-10	4	4	0	Письменное домашнее задание
14.	Тема 14. Транспорт в магнитных системах.	2	11-12	2	2	0	Контрольная работа
15.	Тема 15. Локализация.	2	13-14	2	2	0	Письменное домашнее задание
16.	Тема 16. Кулоновское взаимодействие.	2	14-15	2	2	0	Письменное домашнее задание

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
17.	Тема 17. Спин-зависимое туннелирование в магнитных наноструктурах.	2	15-16	2	2	0	Письменное домашнее задание
	Тема . Итоговая форма контроля	2		0	0	0	Экзамен
	Итого			36	18	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### **Тема 1. Скалярные и векторные поля. Взаимодействие полей с внешними источниками.**

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Скалярные и векторные поля. Действие скалярного поля. Массивное скалярное поле. Комплексное скалярное поле. Взаимодействие полей с внешними источниками. Взаимодействующие поля.

##### **Тема 2. Калибровочное взаимодействие в скалярной электродинамике.**

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Калибровочное взаимодействие в скалярной электродинамике. Теорема Нетер.

##### **Тема 3. Неабелевы калибровочные поля. Уравнения поля.**

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Неабелевы калибровочные поля. Неабелевы глобальные симметрии. Неабелева калибровочная инвариантность и калибровочные поля: группа SU(2). Обобщения на другие группы. Уравнения Янга-Миллса.

##### **Тема 4. Решения уравнений поля. Условия самодуальности**

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Параллельные калибровочные поля. Условие самодуальности в евклидовом пространстве.

##### **Тема 5. Инстантоны. Топологический заряд.**

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Понятие инстантона в калибровочной теории. Инстантон Белавина-Полякова-Шварца-Тюпкина. Топологический заряд.

##### **Тема 6. Спонтанное нарушение глобальной симметрии. Намбу-голдстоуновский бозон.**

###### **Теорема Голдстоуна.**

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Спонтанное нарушение глобальной симметрии. Спонтанное нарушение дискретной симметрии. Спонтанное нарушение глобальной симметрии U(1). Намбу-голдстоуновский бозон. Частичное нарушение симметрии: модель SO(3). Общий случай. Теорема Голдстоуна.

##### **Тема 7. Механизм Хиггса.**

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Механизм Хиггса. Пример абелевой модели. Неабелев случай: модель с полностью нарушенной SU(2)-симметрией. Пример частичного нарушения калибровочной симметрии: бозонный сектор стандартной электрослабой теории.

##### **Тема 8. Монополю в модели Янга-Миллса-Хиггса. Самодуальный монополю.**

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Понятие монополя в калибровочной теории. Монополю 'т Хофта-Полякова. Самодуальный монополю Прасада-Соммерфильда.

##### **Тема 9. Простейшие топологические солитоны. Кинк. Вихрь.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Простейшие топологические солитоны. Кинк. Масштабные преобразования и теоремы об отсутствии солитонов. Вихрь. Солитон в модели  $n$ -поля в  $(2+1)$ -мерном пространстве-времени.

**Тема 10. Введение в спинтронику.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Спинтроника. Магнетосопротивление. Гигантское магнетосопротивление (GMR) и туннельное магнетосопротивление (TMR).

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

1. Вычисление гигантского и туннельного магнетосопротивлений в простейших случаях.

**Тема 11. Теория транспорта в немагнитных металлах и полупроводниках.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Классическая теория Друде-Лоренца. Кинетическое уравнение Больцмана. Магнетосопротивление металлов и полупроводников. Эффект Холла. Метод функций Грина. Формула Кубо для проводимости. Зарядовый и спиновый токи. Спиновый эффект Холла.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

контрольная работа. 1. Расчет магнетосопротивления в рамках классической теории Друде-Лоренца 2. Вычисление проводимости с использованием кинетического уравнения Больцмана

**Тема 12. Рассеяние на магнитных примесях.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Эффект Кондо на магнитных примесях и резонанс Абрикосова-Сула. Спин-орбитальное взаимодействие. Спиновая релаксация.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

1. Аналитическое рассмотрение эффекта Кондо. 2. Описание механизмов спиновой релаксации.

**Тема 13. Транспорт в низкоразмерных системах.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Двумерный электронный газ. Квантовые ямы, проволоки и точки. Спин-орбитальное взаимодействие в низкоразмерных системах. Баллистический транспорт. Эффект Ааронова-Бома в нанокольцах. Квантование холловской проводимости в одномерных системах.

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

контрольная работа. 1. Получить формулу Ландвауэра-Бюттикера для кондактанса квазиодномерной системы. 2. Получить выражение для кондактанса нанокольца в магнитном поле.

**Тема 14. Транспорт в магнитных системах.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Спин-зависимое рассеяние. Гигантское магнетосопротивление

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

1. Получить выражение для гигантского магнетосопротивления в случае геометрии "ток в плоскости".

**Тема 15. Локализация.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Локализация Андерсона. Локализация в магнитных системах.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

1. Описать механизмы локализации Андерсона. 2. Особенности локализации в магнитных системах

**Тема 16. Кулоновское взаимодействие.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Кулоновское взаимодействие в одномерных системах. Эффект кулоновской блокады.



**практическое занятие (2 часа(ов)):**

1. Роль кулоновской блокады в одноэлектронных системах.

**Тема 17. Спин-зависимое туннелирование в магнитных наноструктурах.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Туннельное магнетосопротивление. Модели Жулиера, Стирнса и Слончевского. Обобщенная модель Слончевского. Зависимость туннельного магнетосопротивления от температуры и приложенного напряжения.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

1. Туннельное сопротивление в модели Жулиера. 2. Туннельное сопротивление в модели Стирнса. 3. Туннельное сопротивление в модели Слончевского.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Скалярные и векторные поля. Взаимодействие полей с внешними источниками.	1	1-2	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
2.	Тема 2. Калибровочное взаимодействие в скалярной электродинамике.	1	3-4	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
3.	Тема 3. Неабелевы калибровочные поля. Уравнения поля.	1	5-6	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
4.	Тема 4. Решения уравнений поля. Условия самодуальности	1	7-8	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
5.	Тема 5. Инстантоны. Топологический заряд.	1	9-10	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
6.	Тема 6. Спонтанное нарушение глобальной симметрии. Намбу-голдстоуновский бозон. Теорема Голдстоуна.	1	11-12	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
7.	Тема 7. Механизм Хиггса.	1	13-14	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
8.	Тема 8. Монополь в модели Янга-Миллса-Хиггса. Самодуальный монополь.	1	15-16	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание



N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
9.	Тема 9. Простейшие топологические солитоны. Кинк. Вихрь.	1	17-18	подготовка к контрольной работе	6	контрольная работа
10.	Тема 10. Введение в спинтронику.	2	1-2	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
11.	Тема 11. Теория транспорта в немагнитных металлах и полупроводниках.	2	3-4	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
				подготовка к контрольной работе	4	контрольная работа
12.	Тема 12. Рассеяние на магнитных примесях.	2	5-6	подготовка домашнего задания	8	домашнее задание
13.	Тема 13. Транспорт в низкоразмерных системах.	2	7-10	подготовка домашнего задания	14	домашнее задание
14.	Тема 14. Транспорт в магнитных системах.	2	11-12	подготовка домашнего задания	8	домашнее задание
15.	Тема 15. Локализация.	2	13-14	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
				подготовка к контрольной работе	4	контрольная работа
16.	Тема 16. Кулоновское взаимодействие.	2	14-15	подготовка домашнего задания	8	домашнее задание
17.	Тема 17. Спин-зависимое туннелирование в магнитных наноструктурах.	2	15-16	подготовка домашнего задания	12	домашнее задание
	Итого				126	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Курсы лекций и практических занятий, организованные по стандартной технологии

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

**Тема 1. Скалярные и векторные поля. Взаимодействие полей с внешними источниками.**  
домашнее задание , примерные вопросы:

Скалярные и векторные поля. Действие скалярного поля. Массивное скалярное поле. Комплексное скалярное поле. Взаимодействие полей с внешними источниками. Взаимодействующие поля.

## **Тема 2. Калибровочное взаимодействие в скалярной электродинамике.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Калибровочное взаимодействие в скалярной электродинамике. Теорема Нетер.

## **Тема 3. Неабелевы калибровочные поля. Уравнения поля.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Неабелевы калибровочные поля. Неабелевы глобальные симметрии. Неабелева калибровочная инвариантность и калибровочные поля: группа  $SU(2)$ . Обобщения на другие группы. Уравнения Янга-Миллса.

## **Тема 4. Решения уравнений поля. Условия самодуальности**

домашнее задание , примерные вопросы:

Параллельные калибровочные поля. Условие самодуальности в евклидовом пространстве.

## **Тема 5. Инстантоны. Топологический заряд.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Понятие инстантона в калибровочной теории. Инстантон Белавина-Полякова-Шварца-Тюпкина. Топологический заряд.

## **Тема 6. Спонтанное нарушение глобальной симметрии. Намбу-голдстоуновский бозон. Теорема Голдстоуна.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Спонтанное нарушение глобальной симметрии. Спонтанное нарушение дискретной симметрии. Спонтанное нарушение глобальной симметрии  $U(1)$ . Намбу-голдстоуновский бозон. Частичное нарушение симметрии: модель  $SO(3)$ . Общий случай. Теорема Голдстоуна.

## **Тема 7. Механизм Хиггса.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Механизм Хиггса. Пример абелевой модели. Неабелев случай: модель с полностью нарушенной  $SU(2)$ -симметрией. Пример частичного нарушения калибровочной симметрии: бозонный сектор стандартной электрослабой теории.

## **Тема 8. Монополь в модели Янга-Миллса-Хиггса. Самодуальный монополь.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Понятие монополя в калибровочной теории. Монополь 'т Хофта-Полякова. Самодуальный монополь Прасада-Соммерфильда.

## **Тема 9. Простейшие топологические солитоны. Кинк. Вихрь.**

контрольная работа , примерные вопросы:

1. Доказательство соотношений в калибровочной теории Янга-Миллса. 2. Решение уравнения Янга-Миллса с заданными граничными условиями.

## **Тема 10. Введение в спинтронику.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Спинтроника. Магнетосопротивление. Гигантское магнетосопротивление (GMR) и туннельное магнетосопротивление (TMR).

## **Тема 11. Теория транспорта в немагнитных металлах и полупроводниках.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Эффект Кондо на магнитных примесях и резонанс Абрикосова-Сула. Спин-орбитальное взаимодействие. Спиновая релаксация.

контрольная работа , примерные вопросы:

1. Расчет магнетосопротивления в рамках классической теории Друде-Лоренца 2. Вычисление проводимости с использованием кинетического уравнения Больцмана

## **Тема 12. Рассеяние на магнитных примесях.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Классическая теория Друде-Лоренца. Кинетическое уравнение Больцмана. Магнетосопротивление металлов и полупроводников. Эффект Холла. Метод функций Грина. Формула Кубо для проводимости. Зарядовый и спиновый токи. Спиновый эффект Холла.

### **Тема 13. Транспорт в низкоразмерных системах.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Двумерный электронный газ. Квантовые ямы, проволоки и точки. Спин-орбитальное взаимодействие в низкоразмерных системах. Баллистический транспорт. Эффект Ааронова-Бома в нанокольцах. Квантование холловской проводимости в одномерных системах.

### **Тема 14. Транспорт в магнитных системах.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Спин-зависимое рассеяние. Гигантское магнетосопротивление

### **Тема 15. Локализация.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Локализация Андерсона. Локализация в магнитных системах.

контрольная работа , примерные вопросы:

1. Получить формулу Ландвауэра-Бюттикера для кондактанса квазиодномерной системы. 2. Получить выражение для кондактанса нанокольца в магнитном поле.

### **Тема 16. Кулоновское взаимодействие.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Кулоновское взаимодействие в одномерных системах. Эффект кулоновской блокады.

### **Тема 17. Спин-зависимое туннелирование в магнитных наноструктурах.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Туннельное магнетосопротивление. Модели Жулиера, Стирнса и Слончевского. Обобщенная модель Слончевского. Зависимость туннельного магнетосопротивления от температуры и приложенного напряжения.

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

итоговый контроль в виде экзамена

#### **БИЛЕТЫ К ЭКЗАМЕНУ**

1. Классическая теория Друде-Лоренца. Кинетическое уравнение Больцмана.
2. Магнетосопротивление металлов и полупроводников. Эффект Холла.
3. Метод функций Грина. Формула Кубо для проводимости.
4. Зарядовый и спиновый токи. Спиновый эффект Холла.
5. Эффект Кондо на магнитных примесях и резонанс Абрикосова-Сула.
6. Спин-орбитальное взаимодействие. Спиновая релаксация.
7. Двумерный электронный газ.
8. Энергетический спектр квантовой ямы в параллельном магнитном поле.
9. Двумерный электронный газ со спин-орбитальным взаимодействием Рашбы.
10. Баллистический транспорт в наносужениях.
11. Эффект Ааронова-Бома.
12. Квантовый эффект Холла.
13. Теория гигантского магнетосопротивления.
14. Локализация Андерсона.
15. Локализация в магнитных системах.
16. Кулоновское взаимодействие в одномерных системах.
- 17.. Эффект кулоновской блокады
18. Туннельное магнетосопротивление. Модели Жулиера, Стирнса и Слончевского.

19. Обобщенная модель Слончевского.

20. Зависимость туннельного магнетосопротивления от температуры и приложенного напряжения.

### 7.1. Основная литература:

Основы физики конденсированного состояния, Петров, Юрий Васильевич, 2013г.

2. Аплеснин С.С. Основы спинтроники. СПб.: Лань, 2010. - 288 с.

<http://e.lanbook.com/view/book/551/>

3. Барыбин А.А., Томилин В.И., Шаповалов В.И. Физико-технологические основы макро-, микро- и наноэлектроники. Издательство: Физматлит, 2011 г.

<http://e.lanbook.com/view/book/5258/>

4. Заяц А.Е. Введение в теорию классических калибровочных полей [Электронный ресурс]. КФУ, 2013. Режим доступа: <http://www.kpfu.ru/docs/F382346128/Methodichka1.pdf>

5. Заяц А.Е. Классические калибровочные поля и их симметрии [Электронный ресурс]. КФУ, 2013. Режим доступа: <http://www.kpfu.ru/docs/F382346128/Methodichka2.pdf>

### 7.2. Дополнительная литература:

Физика твердого тела, Епифанов, Георгий Иванович, 2011г.

2. Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния. М. Бином. Лаборатория знаний. - 2011. - 293 с. [Электронный ресурс] <http://e.lanbook.com/view/book/4372>

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Bruno P. Quantum transport in nanostructures: a panorama. Lecture course: winter semester, 2003/2004 -

[http://www1.mpi-halle.mpg.de/~bruno/lectures/quantum\\_transport/quantum\\_transport.html](http://www1.mpi-halle.mpg.de/~bruno/lectures/quantum_transport/quantum_transport.html)

Dugaev V.K. Spin-dependent transport theory. Lecture course: winter semester, 2004/2005 -

<http://cfif.ist.utl.pt/~vdugaev/lectures.htm>

Levy P.M. Transport in solids. Doctoral level course. Orsay, March 2005 -

<http://ebookbrowse.com/transport-course-2005-5-ppt-d14201864>

Аплеснин С.С. Основы спинтроники. СПб.: Лань, 2010 -

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=551](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=551)

Данилов Ю.А., Демидов Е.С., Ежевский А.А. Основы спинтроники. Н. Нов-город: Изд-во ННГУ, 2009

Данилов Ю.А., Демидов Е.С., Ежевский А.А. Основы спинтроники. Н. Нов-город: Изд-во ННГУ, 2009 - [www.unn.ru/books/met\\_files/spintronik.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/spintronik.pdf)

Заяц А.Е. Введение в теорию классических калибровочных полей -

<http://www.kpfu.ru/docs/F382346128/Methodichka1.pdf>

Заяц А.Е. Классические калибровочные поля и их симметрии -

<http://www.kpfu.ru/docs/F382346128/Methodichka2.pdf>

МФТИ / Кафедра теоретической физики / Библиотека / Учебно-методические пособия -

<http://theorphys.mipt.ru/biblio/metodichki.html>

Žutić I., Fabian J., and Das Sarma S. Spintronics: fundamentals and applications. Rev. Mod. Phys. 76, 323, 2004 -

<http://rmp.aps.org/vtoc/RMP/v76>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Теоретические основы спинтроники" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань" , доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.04.02 "Физика" и магистерской программе Теоретическая и математическая физика .

Автор(ы):

Деминов Р.Г. \_\_\_\_\_

Заяц А.Е. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Прошин Ю.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.