

## Краткая неофициальная версия программы учебной дисциплины

|                     |  |
|---------------------|--|
| Название дисциплины | Наномагнетизм и спинтроника                        |
| Автор(ы) программы  | Сафин Ансар Ризаевич, Калябин Дмитрий Владимирович |
| Курс                | 3 курс   |
| Модули              | 3 и 4 модуль                                       |
| Объём курса         | 1 лекция в неделю,<br>1 семинар в неделю           |
| Элементы контроля   | Три контрольные работы, реферат, экзамен           |

### 1. Аннотация курса

Цели освоения дисциплины «Наномагнетизм и спинтроника» состоят в изучении студентами основных теоретических положений в этой области, получении ими знаний о современной физике магнитных явлений, наномагнетизме и спинтронике, сверхбыстрых процессах в магнетизме.

### 2. Программа курса

1. Теория спин-волновых устройств. Основы электродинамики гиротропных сред. Уравнения и граничные условия. Однородные плоские волны. Невзаимность. Энергетические соотношения. Метод возмущений.
2. Волноводы и резонаторы с гиротропными средами. Ферритовые СВЧ устройства. Волноводы с продольно и поперечно намагниченными средами. Резонаторы с гиротропными средами. Волноводные сочленения с ферритовыми образцами.
3. Магнитостатические волны и колебания. Метод магнитостатического потенциала. Уравнение Уокера. Магнитостатические волны в пластинах и стержнях. Магнитостатические колебания.
4. Метод тензорных функций Грина. Применение метода тензорных функций Грина для расчета спектра спиновых волн в ограниченных по размеру телах.
5. Нелинейные колебания намагниченности. Ферромагнитный резонанс в сильных переменных полях. Детектирование магнитных колебаний. Умножение и преобразование частоты.
6. Параметрическое возбуждение спиновых волн. Нелинейная связь колебаний и волн намагниченности. Пороги параметрического возбуждения. Продольная, поперечная и наклонная накачки.
7. Магнитоупругое взаимодействие. Магнитоупругие волны в ферро-, ферри- и антиферромагнетиках. Параметрическое возбуждение магнитоупругих волн.
8. Магнетотранспортные явления в ферромагнитных проводниках. Эффект Холла и поперечное магнетосопротивление в немагнитных проводниках. Планарный эффект Холла. Аномальный эффект Холла и анизотропное магнетосопротивление.
9. Магнитные свойства сверхпроводников. Уравнения Лондонов. Уравнение Пиппарда.

Квантование магнитного потока. Термодинамика сверхпроводников. Сверхпроводники 1 и 2 родов. Эффект Джозефсона.

10. Взаимодействие магнитных колебаний и волн с носителями заряда. Магнитные полупроводники. Спиновые волны в металлах.
11. Спиновые эффекты в твердотельных структурах. Гигантское и туннельное магнитосопротивления. Передача спинового момента от свободных носителей заряда магнитным атомам. Спиновый эффект Холла. Тепловые спиновые эффекты.
12. Спинтронные осцилляторы и детекторы. Внешняя и взаимная синхронизация спинтронных осцилляторов. Магнитные вихри и скирмионы.
13. Сверхбыстрый оптомагнетизм.
14. Антиферромагнитная спинтроника.
15. Магноны. Квантовая спинтроника. Конденсация магнонов. Подведение итогов курса.

### 3. Элементы контроля и правила оценивания

Элементы контроля:

**Письменная контрольная работа № 1** по теме «Теория спиновых волн в магнитных пленках».

**Письменная контрольная работа № 2** по теме «Магнитотранспортные явления».

**Письменная контрольная работа № 3** по теме «Спинтроника и наномагнетизм».

**Реферат** на тему, связанную со спинтроникой и наномагнетизмом. Темы рефератов предлагаются преподавателем. Выполнение реферата разделено на 3 части. На выполнение каждой части отводится 2-4 недели, каждая часть оформляется письменно и защищается устно. Если защита реферата не проведена вовремя, то оценка за просрочку поэтапно снижается с шагом 2-4 недели.

**Устный экзамен** по программе курса.

Правила оценивания:

**Оценка за контрольные работы ОКР** является неокругленным средним за оценок три контрольные работы.

**Оценка за реферат ОРеф** является неокругленным средним оценок за защиту трёх частей реферата.

**Оценка за экзамен ОЭ** выставляется по результатам ответа на экзамене экспертным мнением преподавателя.

Итоговая оценка ИО выставляется по формуле

$$ИО=0,30 ОКР+0,25 Ореф+0.45 ОЭ$$

округление итоговой оценки по арифметическим правилам.

## 4. Примеры заданий элементов контроля

Пример билета контрольной работы № 1. (вес каждого вопроса – 33 %)

1. Уравнение Уокера.
2. Нелинейные колебания намагниченности.
3. Построить и вывести спектр спиновых волн для обратных объемных волн методом магнитостатического потенциала для тонкой безграничной пленки.

Пример билета контрольной работы № 2. (вес каждого вопроса – 33 %)

1. Магнитоупругое взаимодействие.
2. Эффект Холла и поперечное магнетосопротивление в немагнитных проводниках.
3. Получить формулу для анизотропного магнетосопротивления безграничной ферромагнитной пленки, намагниченной в плоскости.

Пример задания контрольной работы № 3. (вес каждого вопроса – 33 %)

1. Спиновые эффекты в твердотельных структурах.
2. Сверхбыстрый оптомагнетизм.
3. Получить формулу для частоты автоколебаний спинтронного осциллятора, как функцию постоянного тока и внешнего магнитного поля. Считать, что свободный слой осциллятора намагничен перпендикулярно плоскости.

Пример формулировки названия реферата.

**«Расчет спектра спиновых волн в антиферромагнетике при спиновой накачке»**

Пример билета на устном экзамене (вес каждого вопроса – 33 %):

1. Уравнение Уокера.
2. Сверхбыстрый оптомагнетизм.
3. Построить и вывести спектр спиновых волн для обратных объемных волн методом магнитостатического потенциала для тонкой безграничной пленки.

## 5. Рекомендованная литература и ссылки по теме

### 5.1. Основной список

1. Г.С. Кринчик. Физика магнитных явлений. М.: Изд. Мос. Универ. 1976.
2. С.В. Вонсовский. Магнетизм. – М.: Наука, 1984.
3. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.
4. В.И. Ивановский, Л.А. Черникова. Физика магнитных явлений. Семинары. – М.: Изд. Мос. Универ. 1981.
5. А.Г. Гуревич, Г.А. Мелков. Магнитные колебания и волны. – М.: Физматлит, 1994.

## 5.2. Дополнительный список

1. Дж. Займан, Принципы теории твердого тела, "Мир", Москва, 1974г.
2. Й. Имри. Введение в мезоскопическую физику (пер. с англ.), Физма-тлит, М., 2002
3. Киттель Ч., Введение в физику твердого тела, "Наука", Москва, 1978г.
4. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. В 2-х томах. Мир, 1979г.
5. Ю.М. Поплавко. Основы физики магнитных явлений в кристаллах: учебное пособие. Ки-ев: НТУ ЛКПИ, 2004.
6. Р.Б. Семевский, В.В. Аверкиев, В.А. Яроцкий. Специальная магнитометрия. СПб.: Наука, 2002. 228 с.
7. Д.Д. Мишин Д.Д. Магнитные материалы. М.: Высшая школа, 1991.
8. А.А. Преображенский, Е.Г. Бишард. Магнитные материалы и элементы. М.: Высшая школа, 1986.
9. С. Тикадзуми. Физика ферромагнетизма. Магнитные характеристики и практические применения. М.: Мир, 1987.