

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины  
«Магнитные измерения»**

Направление подготовки  
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль)  
«Интегральная электроника и наноэлектроника»

Форма обучения  
очная

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры микроэлектроники и  
общей физики физического факультета  
от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

Программа одобрена НМК  
протокол № 5 от «25» апреля 2023 года

Ярославль

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Магнитные измерения» являются:

- ознакомление с особенностями поведения различных магнитных материалов в постоянных, переменных и импульсных магнитных полях;
- приобретение знаний магнитных, электромагнитных и квантовых закономерностей перемангничивания;
- приобретение навыков экспериментальных магнитных измерений, статических и динамических параметров ферромагнитных и слабомагнитных веществ.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата

Вариативная часть; дисциплины по выбору: Б1.В.ДВ.2

Дисциплина «Магнитные измерения» основывается на знаниях, полученных при изучении дисциплин «Электричество и магнетизм», «Физика атома и атомных явлений», «Введение в физику магнитных явлений». Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины могут быть использованы при изучении дисциплин «Физика тонких пленок и низкоразмерных 2D-систем», «Оптические методы исследования наноматериалов и структур», «Физика магнитных наноструктур».

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП бакалавриата

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
<b>ПК-2</b> Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.	<b>ИД_ПК-2.1</b> Знает методы и методики проведения исследований параметров и характеристик электронных приборов и схем. <b>ИД_ПК-2.2</b> Демонстрирует навыки экспериментального определения характеристик устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- физические принципы методов магнитных измерений;</li><li>- физическую природу электромагнитных явлений в твердых телах;</li><li>- особенности намагничивания тонких пленок и микрообъектов;</li><li>- физические явления при намагничивании ферромагнетиков.</li></ul> <b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- проектировать и создавать измерительные схемы для реализации магнитных измерений;</li><li>- самостоятельно планировать и осуществлять экспериментальные исследования магнитных характеристик.</li><li>- самостоятельно планировать и осуществлять экспериментальные и теоретические исследования магнитных свойств макро- и микрообъектов, а также интегральных структур на их основе.</li></ul> <b>Владеть навыками:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- экспериментальных измерений магнитных свойств ферромагнитных и слабомагнитных веществ;</li><li>- работы с современной электронной аппаратурой;</li><li>- проектирования магнитных конструкций с заданными свойствами.</li></ul>

**4. Объем, структура и содержание дисциплины** Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости. Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	Лабораторные	консультации	Аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Магнитные материалы. Магнитные материалы микроэлектроники	6				1		6	
2	Классификация материалов. Магнитные свойства	6						6	
3	Создание и измерение магнитных полей	6			8			4.7	Отчеты по лабораторным работам
4	Измерение магнитных характеристик	6			10	1		6	Отчеты по лабораторным работам
5	Оптические и магнитооптические измерения				4			6	Отчеты по лабораторным работам
6	Измерение магнитных свойств тонких магнитных плёнок. Оптика и магнитооптика тонких плёнок. Доменная структура.	6			12	1		6	Отчеты по лабораторным работам
	Всего				34	3	0.3	34.7	зачёт

#### Содержание разделов дисциплины:

##### **1. Магнитные материалы. Магнитные материалы микроэлектроники**

Магнитные материалы. Общая классификация. Магнитомягкие, магнитотвёрдые, материалы специального назначения, магнитные материалы микроэлектроники

##### **2. Классификация материалов. Магнитные свойства**

Общие требования, предъявляемые к материалам. Магнитомягкие материалы. Пермаллой. Вихревые токи. Скин-эффект. Глубина проникновения.

Высокочастотные материалы. Ферриты. Ферромагнитный резонанс. Стабильность свойств ферритов.

Магнитотвёрдые материалы. Особенности измерения магнитных свойств постоянных магнитов.

Тонкие магнитные плёнки. Материалы для перпендикулярной магнитной записи.

Аморфные материалы.

Прочие материалы.

### **3. Создание и измерение магнитных полей**

Электромагниты, постоянные магниты. Создание однородных полей. Методы создания и измерения импульсных и высокочастотных полей. Магнитные измерения в постоянных, переменных и импульсных магнитных полях. Датчики магнитных полей, чётногармонические преобразователи магнитного поля (феррозонды с продольным и поперечным возбуждением), квантовые магнитометры. Магнитные потенциометры.

### **4. Измерение магнитных характеристик**

Баллистический (магнитоэлектрические и фотоэлектрические флюксометры), магнитометрический, электродинамический, индукционный, ваттметровый, пондеромоторный (маятниковые, крутильные и рычажные магнитные весы), потенциометрический и мостовой, резонансный, пермеаметры, коэрцитиметры, гистерезисографы (петлескопы).

### **5. Оптические и магнитооптические измерения**

Оптика металлов. Классификация магнитооптических эффектов. Методы магнитооптических измерений.

### **6. Измерение магнитных свойств тонких магнитных плёнок. Оптика и магнитооптика тонких плёнок**

Индукционные и магнитооптические методы аналогового и цифрового синхронного накопления. Наблюдение доменной структуры с помощью эффекта Фарадея, меридионального и полярного магнитооптических эффектов Керра. Измерение магнитооптических петель гистерезиса и эффективных электромагнитных параметров с использованием экваториального магнитооптического эффекта Керра. Измерение магнитосопротивления однослойных и многослойных плёнок.

Исследование спиновой конфигурации и особенностей перемангничивания ферромагнитных микрообъектов путём двумерного моделирования с помощью программных пакетов MuMax<sup>3</sup> и OOMMF.

## **Перечень лабораторных работ**

### *Раздел 3 (III). Создание и измерение магнитных полей.*

Лабораторная работа № 1(\*). Проектирование намагничивающих устройств с заданными характеристиками с использованием Qfield, FEMM 4.0.

Лабораторная работа № 2. Изучение феррозондовых датчиков магнитного поля с продольным и поперечным возбуждением.

Лабораторная работа № 3. Градуировка баллистического гальванометра. Флюксометр (милливеберметр), микровеберметр.

### *Раздел 4 (IV). Измерение магнитных характеристик.*

Лабораторная работа № 4. Измерение коммутационной кривой намагничивания.

Лабораторная работа № 5. Измерение статических петель гистерезиса.

Лабораторная работа № 6. Измерение динамических кривых намагничивания методом амперметра-вольтметра.

Лабораторная работа № 7. Измерение динамических кривых намагничивания и петель гистерезиса ферромагнетиков в переменных магнитных полях с помощью феррометра.

Лабораторная работа № 8. Высокочастотные методы измерения комплексной магнитной проницаемости.

Лабораторная работа № 9. Исследование магнитных свойств ферромагнетиков с прямоугольной петлей гистерезиса в импульсных полях.

Лабораторная работа № 10. Исследование температурной зависимости магнитной проницаемости и намагниченности насыщения магнитомягких ферритов.

#### *Раздел 5 (V). Оптические и магнитооптические измерения.*

Лабораторная работа № 11. Измерение комплексной диэлектрической проницаемости металлических плёнок в оптическом диапазоне.

*Раздел 6 (VI). Измерение магнитных свойств тонких магнитных плёнок. Оптика и магнитооптика тонких плёнок. Доменная структура.*

Лабораторная работа № 12. Наблюдение доменной структуры феррит-гранатовых плёнок с перпендикулярной анизотропией.

Лабораторная работа № 13. Магнитооптический цифровой гистерезисограф. Измерение петель гистерезиса многослойных плёнок с использованием экваториального магнитооптического эффекта Керра.

Лабораторная работа № 14. Аналоговое синхронное детектирование слабых сигналов. Магнитооптические измерения эффективных электромагнитных параметров тонких магнитных плёнок с использованием экваториального магнитооптического эффекта Керра.

Лабораторная работа № 15. Измерение магнитосопротивления однослойных и многослойных плёнок.

Лабораторная работа № 16<sup>(\*)</sup>. Моделирование доменной структуры микромагнитных объектов.

### **5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Основной формой являются лабораторные занятия. Однако ввиду сложности предлагаемых лабораторных работ им предшествует краткое теоретическое введение, где излагаются физические основы исследуемых явлений.

**Лабораторные занятия.** Лабораторные работы сгруппированы по 4 разделам: III - (1 - 3), IV - (4-10), V - 11, VI - (12-16). Пять лабораторных работ (3-6, 13) являются обязательными. Для каждого студента составляется свой набор дополнительных

лабораторных работ, как правило, от одной до двух работ из раздела. Это может быть как набор из каждого раздела, так и из части разделов. Длительность выполнения одной лабораторной работы может составлять от 3 до 6 часов, что определяется уровнем сложности задания, глубиной исследования.

Обработка результатов при выполнении лабораторных работ осуществляется с помощью пакета программ, разработанных студентами физического факультета для общего физического практикума и спецпрактикума направления «Физика».

В некоторых лабораторных работах (они отмечены звёздочкой) наряду с экспериментом осуществляется компьютерное моделирование исследуемых явлений с помощью программ двумерного моделирования QField, FEMM 4.0, OOMMF, MuMax<sup>3</sup>, размещённых в InterNet в свободном доступе.

**Электронный учебный курс «Магнитные измерения»** представлен в LMS Moodle на странице курса <https://moodle.uniyar.ac.ru/>

Курс предназначен для организации и методического сопровождения образовательного процесса в режиме on-line, для организации и информационного обеспечения самостоятельной работы обучающихся в очном режиме, а также для частичного обеспечения текущего и итогового контроля результатов освоения дисциплины.

## **6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- электронный учебный курс «Магнитные измерения», представленный в LMS Moodle;
- для формирования текстов материалов для промежуточной и текущей аттестации используются программы Microsoft Office;

## **7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются: автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT» [http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Вонсовский С. В. Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро-, и ферримагнетиков. / С. В. Вонсовский - М.: Наука, 1971. - 1032 с.
2. Буль О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: магнитные цепи, поля и программа FEMM.: учеб. пособие для вузов. / О. Б. Буль; УМО по образованию в обл. энергетики и электротехники - М.: Академия, 2005. - 335 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. Боков В.А. Физика магнетиков: Учебное пособие для вузов / ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. – СПб.: Невский Диалект; БХВ-Петербург, 2002. – 272 с.
2. Г.С.Кринчик. Физика магнитных явлений. – М., 1976. – 367 с.

3. В.И.Ивановский, Л.А.Черникова. Физика магнитных явлений. – М., 1981. – 288 с.
4. А.А.Преображенский, Е.Г.Бишард. Магнитные материалы и элементы. – М., 1986. – 352 с.
5. М.И.Каганов, В.М.Цукерник. Природа магнетизма. – М., 1982. – 192 с.
6. Д.Д.Мишин. Магнитные материалы. – М., 1991. – 335 с.
7. С.Тикадзуми. Физика ферромагнетизма. – М., 1987. – 420 с.
8. В.Г.Барьяхтар, Б.А.Иванов. В мире магнитных доменов. – Киев, 1986. – 159 с.
9. Папорков В. А. Температурная зависимость магнитных параметров магнитоупорядоченных веществ: практикум. / В. А. Папорков; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова - Ярославль: ЯрГУ, 2017. - 27 с.

**в) ресурсы сети «Интернет»**

1. Материалы ЭУК в LMS Moodle <https://moodle.uniyar.ac.ru/>

**9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

1. Материалы ЭУК в LMS Moodle <https://moodle.uniyar.ac.ru/course/>

**10. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор:

Доцент кафедры микроэлектроники  
и общей физики, к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_  
(подпись)

В.А.Папорков

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Магнитные измерения»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,  
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,  
характеризующих этапы формирования компетенций**  
(проверка сформированности компетенции ПК-2, индикаторы: ИД\_ПК-2.1, ИД\_ПК-2.2)

**Контрольные вопросы и задачи**

1. На чём основано применение баллистического гальванометра для магнитных измерений?
2. Какие характеристики ферромагнетика можно определить из кривой намагничивания?
3. Как изменяется намагниченность ферромагнетика при коммутационном размагничивании, магнитной подготовке и при измерении коммутационной кривой намагничивания?
4. В рамках модели смещения доменных границ получите зависимость  $J(H)$  для случая, когда поверхностная плотность энергии доменной границы зависит от координаты следующим образом:  $W = W_0 + W_1 \sin(Cx^2)$ , где  $0 < W_1 < W_0$ ,  $C = \text{const}$ .
5. Можно ли определять индукцию на коммутационной кривой намагничивания, наблюдая баллистические отбросы не при переключении, а при выключении и включении магнитного поля?
6. В чём заключаются преимущества и недостатки кольцевых образцов по сравнению с цилиндрами, полосками, плёнками?
7. Почему для размагничивания массивных металлических ферромагнитных образцов следует применять коммутационный метод, а не переменный ток?
8. Охарактеризуйте основные процессы, происходящие при намагничивании ферромагнетика.
9. Почему начальная магнитная проницаемость технически чистого железа выше, чем проницаемость углеродистой стали?
10. Оцените величину парамагнитной восприимчивости ферромагнетика.
11. Сформулируйте основные причины магнитного гистерезиса.
12. Какие характеристики ферромагнетика можно определить из петли гистерезиса?
13. Следует ли производить магнитную подготовку при измерении предельной петли гистерезиса?
14. Оцените максимальную коэрцитивную силу постоянного магнита, изготовленного из мартенситной стали. Константа анизотропии  $K \sim 10^6 \text{ Эрг/см}^3$ , намагниченность насыщения  $J_s = 1700 \text{ Гс}$ .
15. В чём состоит отличие петель гистерезиса  $B(H)$  и  $J(H)$ ?
16. Почему после механической обработки (резка, штамповка и т.д.) пластины и ленты, предназначенные для изготовления трансформаторов, необходимо подвергать температурному воздействию, например, отжигу?
17. Предложите методику измерения несимметричной коммутационной петли гистерезиса.
18. В чём состоит отличие основной кривой намагничивания от безгистерезисной?
19. При каких условиях в одноосных тонких магнитных плёнках с осью лёгкого намагничивания, ориентированной перпендикулярно их плоскости, вектор



- намагниченности отклоняется от оси лёгкого намагничивания на угол, близкий к  $\pi/2$ ?
20. Определите первую константу анизотропии  $K_1$  одноосного ферромагнитного монокристалла, если известно, что при намагничивании его в направлении, перпендикулярном оси лёгкого намагничивания, намагниченность равна половине намагниченности насыщения при  $H = 300$  Э. Принять:  $J_s = 1500$  Гс,  $K_2 \ll K_1$ .
  21. Объясните причины отличия статической и динамической кривых намагничивания.
  22. Различаются ли динамические кривые намагничивания, измеренные при разных частотах и форме намагничивающего тока?
  23. Какие причины, кроме вихревых токов, могут привести к уменьшению магнитной проницаемости при увеличении частоты намагничивающего поля?
  24. Предложите схему, с помощью которой можно было бы, используя метод амперметра-вольтметра, хотя бы приближённо измерить динамическую петлю гистерезиса.
  25. Поликристаллическая никелевая проволока (отрицательная константа магнитострикции насыщения), находящаяся под действием сильных растягивающих механических напряжений, намагничивается вдоль направления растяжения. Как изменится её магнитная восприимчивость при увеличении напряжений вдвое?
  26. Поликристаллический железный стержень (положительная константа магнитострикции насыщения), находящийся под действием сильных растягивающих механических напряжений, намагничивается вдоль направления растяжения. Как изменится его магнитная восприимчивость при увеличении напряжений вдвое?
  27. Определите магнитную восприимчивость тонкой ферромагнитной пластины, намагничиваемой перпендикулярно её плоскости, при условии, что первые константы анизотропии много меньше квадрата намагниченности насыщения, а магнитострикция отсутствует.
  28. Определите магнитную восприимчивость тонкого ферромагнитного стержня, намагничиваемого перпендикулярно оси, при условии, что первые константы анизотропии много меньше квадрата намагниченности насыщения, а магнитострикция отсутствует.
  29. Как определить потери на перемагничивание ферромагнетика?
  30. Можно ли с помощью феррометра измерить несимметричную петлю гистерезиса?
  31. Можно ли для измерения импульсных характеристик ферромагнетик использовать генератор однополярных импульсов?
  32. Почему при импульсном перемагничивании время перемагничивания убывает при увеличении напряжённости поля?
  33. Каким образом коэффициент затухания и масса доменной границы зависят от её ширины?
  34. Используя уравнение движения доменной границы, найдите зависимость её скорости от времени после отрыва от дефекта.
  35. Используя решение предыдущей задачи, оцените время установления скорости доменной границы.
  36. Оцените расстояние, проходимое доменной границей за время установления её скорости.
  37. Используя уравнение движения доменной границы, определите расстояние, проходимое границей после выключения магнитного поля, если перед выключением поля она двигалась с постоянной скоростью.
  38. Оцените время, в течение которого остановится доменная граница, после выключения магнитного поля, если перед выключением поля она двигалась с постоянной скоростью.
  39. Объясните зависимость скорости доменной границы от её ширины.

40. Сделайте сравнительный анализ магнитооптических эффектов Фарадея, экваториального, меридионального и полярного эффектов Керра (область применения, достоинства, недостатки).

#### **Список вопросов к зачёту**

1. Общая классификация магнитных материалов.
2. Магнитомягкие, магнитотвёрдые, материалы специального назначения, магнитные материалы микроэлектроники.
3. Магнитомягкие материалы. Влияние вихревых токов. Скин-эффект. Глубина проникновения магнитного поля.
4. Высокочастотные материалы. Ферриты. Ферромагнитный резонанс. Стабильность свойств ферритов.
5. Магнитотвёрдые материалы. Особенности измерения магнитных свойств постоянных магнитов.
6. Тонкие магнитные плёнки. Материалы для перпендикулярной магнитной записи.
7. Аморфные материалы. Прочие магнитные материалы.
8. Электромагниты, постоянные магниты. Создание однородных полей.
9. Методы создания и измерения импульсных и высокочастотных полей.
10. Магнитные измерения в постоянных магнитных полях.
11. Магнитные измерения в переменных и импульсных магнитных полях.
12. Датчики магнитных полей, чётногармонические преобразователи магнитного поля, квантовые магнитометры. Магнитные потенциалометры.
13. Классификация магнитооптических эффектов.
14. Оптика и магнитооптика металлов.
15. Методы магнитооптических измерений.
16. Индукционные и магнитооптические методы аналогового и цифрового синхронного накопления. Наблюдение доменной структуры с помощью эффекта Фарадея, меридионального и полярного магнитооптических эффектов Керра.

На зачётном мероприятии студенту предлагается решить 1 задачу из предлагаемого перечня задач и дать ответы на 2 вопроса из списка вопросов к зачёту.

#### **Правила выставления оценки**

По итогам зачёта выставляется одна из оценок: «зачет» или «незачет».

**Оценка «зачтено»** выставляется студенту, который выполнил все работы из предложенного ему перечня в соответствии с п.5, решил задачу или хотя бы написал уравнения, для её решения и представляет принцип решения предложенной задачи. При ответе на контрольные вопросы проявляет понимание сути излагаемых явлений, подтверждает их математическими выкладками, знает методы магнитных измерений, физические принципы, лежащие в их основе; владеет навыками экспериментальных измерений магнитных свойств ферромагнитных и слабомагнитных веществ, работы с современной электронной аппаратурой.

**Оценка «незачтено»** выставляется студенту, который не выполнил хотя бы одну лабораторную работу, не знает физические принципы методов магнитных измерений, особенности намагничивания тонких плёнок и микрообъектов, физические явления при намагничивании ферромагнетиков.

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Магнитные измерения»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Основной формой изучения учебного материала по дисциплине «Магнитные измерения» являются лабораторные занятия.

Для успешного освоения дисциплины важно выполнение достаточно большого количества лабораторных работ, самостоятельного решения рекомендуемых задач. Большое внимание должно быть уделено домашней подготовке.

Экспериментальные лабораторные исследования осуществляются индивидуально. Лабораторные работы сгруппированы по 4 разделам: III - (1 -3), IV - (4-10), V - 11, VI - (12-16). Пять лабораторных работ (3-6, 13) являются обязательными. Для каждого студента составляется свой набор дополнительных лабораторных работ, как правило, от одной до двух работ из раздела. Это может быть как набор из каждого раздела, так и из части разделов. Длительность выполнения одной лабораторной работы может составлять от 3 до 6 часов, что определяется уровнем сложности задания, глубиной исследования.

В некоторых лабораторных работах (они отмечены звёздочкой) наряду с экспериментом осуществляется компьютерное моделирование исследуемых явлений с помощью программ двумерного моделирования QField, FEMM 4.0, OOMMF, MuMax<sup>3</sup>. Компьютерное моделирование осуществляется как в лаборатории под руководством преподавателя, так и самостоятельно.

Для того чтобы лабораторные занятия приносили максимальную пользу, перед их выполнением необходимо ознакомиться с физическими явлениями, изучаемыми в работе, теорией этих явлений, используемыми экспериментальными методами. Особое внимание следует обратить на обработку результатов измерений. Для этого рекомендуется использовать ряд специализированных компьютерных программ, в частности, пакет “LR” (см. Приложение LR).

#### **Подготовка к зачёту**

Зачёт выставляется на основании оценки знаний теоретического материала и по результатам лабораторных работ.

При подготовке к зачёту следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

Требования к организации подготовки к зачёту те же, что и при занятиях в течение семестра, но соблюдаться они должны более строго:

- очень важно соблюдение режима дня; сон не менее 8 часов в сутки, занятия заканчиваются не позднее, чем за 1-2 часа до сна. Оптимальное время занятий - утренние и дневные часы. В перерывах между занятиями рекомендуются прогулки на свежем воздухе, неумотительные занятия спортом;
- при подготовке к зачёту должны быть заранее подобраны хорошие учебники (ну, хотя бы один).