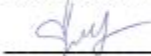




МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

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

СОГЛАСОВАНО  
Руководитель ОП

  
(подпись) А.А. Саранин  
(ФИО)



УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой Физики  
низкоразмерных структур  
А.А. Саранин  
(подпись) (ФИО.)

14 июля 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Физика магнитных пленок и низкоразмерных структур

**Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**  
магистерская программа  
«Электроника и нанoeлектроника (совместно с ИАПУ ДВО РАН)»  
**Форма подготовки очная**

курс 2 семестр 3

лекции не предусмотрены

практические занятия не предусмотрены

лабораторные работы 84 час.

в том числе с использованием МАО лек. 0/пр. 0/лаб. 0 час.

в том числе в электронной форме лек. 0/пр. 0/лаб. 0 час.

всего часов аудиторной нагрузки 84 час.

в том числе с использованием МАО 36 час.

самостоятельная работа 168 час.

в том числе на подготовку к экзамену 36 час.

контрольные работы (количество) 2 шт.

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет не предусмотрен

экзамен 3 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 кафедры физики низкоразмерных структур, протокол № 5 от «14» января 2021 г.

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., член-корр., профессор Саранин А.А

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

Владивосток

2021

**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  
«Физика магнитных пленок и низкоразмерных структур»**

Учебная дисциплина «Физика магнитных пленок и низкоразмерных структур» предназначена для магистрантов 2 курса магистратуры 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, магистерской программы «Электроника и наноэлектроника (совместно с ИАПУ ДВО РАН)».

Дисциплина «Физика магнитных пленок и низкоразмерных структур» входит в часть формируемую участниками образовательных отношений цикла дисциплин образовательной программы, является дисциплиной по выбору (Б1.В.ДВ.02.01), реализуется на 2 курсе, в 3 семестре, и завершается экзаменом. Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 7 З.Е. (252 часа). Учебным планом предусмотрены лабораторные занятия (86 час.), самостоятельная работа студента (166 час., в том числе 36 час. на подготовку к экзамену).

Язык реализации – русский.

**Цель** изучения дисциплины Ознакомление с современным состоянием физики магнитных сред и явлений на примере структур нанометрового масштаба.

**Задачи:**

- Рассмотреть доменные структуры и типы доменных стенок в тонких пленках и нанобъектах
- Ознакомить студентов с механизмами перемагничивания нанопленок и наночастиц.
- Изучить динамику процессов перемагничивания.
- Рассмотреть эффекты ГМС и ТМС, перенос спинового момента от тока и спиновый эффект Холла.
- Закрепить полученные знания путем исследования реальных образцов на экспериментальных установках.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
-----------	--	--

Научно-исследовательский	ПК-5 Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения	ПК-5.1 демонстрирует знание методов проведения научных экспериментов и исследований
		ПК-5.2 обрабатывает и анализирует полученные данные, делает выводы, составляет рекомендации по совершенствованию устройств и систем
		ПК-5.3 готовит научные публикации и заявки на изобретения
Производственно-технологический	ПК-12 Способен осуществлять авторское сопровождение разрабатываемых устройств, приборов и системы электронной техники на этапах проектирования и производства	ПК-12.1 осуществляет авторское сопровождение разрабатываемых систем электронной техники
		ПК-12.2 применяет принципы авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-5.1 демонстрирует знание методов проведения научных экспериментов и исследований	<u>Знает</u> методы проведения научных экспериментов и исследований
	<u>Умеет</u> использовать подходящие методы для экспериментальных работ, учитывая их достоинства и ограничения
	<u>Владеет</u> навыками подготовки и проведения научных экспериментов и исследований
ПК-5.2 обрабатывает и анализирует полученные данные, делает выводы, составляет рекомендации по совершенствованию устройств и систем	<u>Знает</u> методы обработки и анализа полученных в результате экспериментальных и теоретических работ данных
	<u>Умеет</u> формулировать выводы, составлять рекомендации по совершенствованию устройств и систем
	<u>Владеет</u> навыками анализа полученных данных, представления научно-обоснованных выводов по результатам теоретических и экспериментальных исследований и рекомендаций по совершенствованию устройств и систем
ПК-5.3 готовит научные публикации и заявки на изобретения	<u>Знает</u> основные этапы подготовки научных публикаций
	<u>Умеет</u> организовать индивидуальную и коллективную работу по написанию научных публикаций и заявок на изобретения
	<u>Владеет</u> навыками представления научных результатов в виде целостной письменной работы, удовлетворяющей критериям научной публикации или заявки на изобретения
ПК-12.1 осуществляет авторское сопровождение разрабатываемых систем электронной техники	<u>Знает</u> нормативную документацию и требования к осуществлению авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники
	<u>Умеет</u> осуществлять авторское сопровождение разрабатываемых систем электронной техники на этапах проектирования и производства
	<u>Владеет</u> навыками сопровождения разрабатываемых систем электронной техники на основе своего авторства
ПК-12.2 применяет принципы авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники	<u>Знает</u> принципы авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники
	<u>Умеет</u> применять принципы авторского сопровождения разрабатываемых устройств, приборов и систем электронной техники
	<u>Владеет</u> навыками осуществления авторского сопровождения разрабатываемых устройств, приборов и систем электронной техники

## 2. Трудоемкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачётных единиц 252 академических часа).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лаб.	Лабораторные работы
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

### Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося			Формы промежуточной аттестации
			Лаб	СР	Контроль	
1	Раздел I. Управление намагничённостью в микроструктурах с помощью пропускания токовых импульсов	3	42	92	18	УО-1, ПР-2, ПР-6
2	Раздел II. Взаимодействие Дзялошинского-Мория		42	40	18	УО-1, ПР-2, ПР-6
	Итого:		84	132	36	

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Лабораторные работы (84 час.)

**Лабораторная работа №1. Получение магнитных гетероструктурных пленок (12 час.)**

Методом магнетронного распыления формируется серия поликристаллических образцов (3-6 шт) фиксированного состава. Образцы отличаются параметром осаждения одного слоя, например: толщиной, скоростью или углом осаждения, давлением газа и т.д. Исследование полученных серий позволит выявить взаимосвязь между параметрами структуры и магнитными свойствами исследуемого состава, такими как:

величина магнитного момента и коэрцитивной силы, энергия магнитной анизотропии, доменной структуры и т.д.

Методом термического распыления формируется серия эпитаксиальных образцов (3-5шт) фиксированного состава. Образцы отличаются параметром осаждения одного слоя. Исследование полученных серий позволит выявить взаимосвязь между параметрами структуры, такими как: шероховатость, размер островков т.д., и магнитными свойствами исследуемого состава.

### **Лабораторная работа №2. Исследование магнитных гетероструктурных пленок методом Керр микроскопии, вибрационным магнетометром и оптическим магнетометром (12 час.)**

Ранее полученные серии эпитаксиальных и поликристаллических образцов исследуются вибрационным магнетометром для получения интегральной петли гистерезиса; оптическим магнетометром для получения локальных петель; Керр микроскопом для иллюстрации процесса перемагничивания. На основе этих данных оцениваются зависимости магнитных параметров системы и процесс ее перемагничивания от вариативного параметра. Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о влиянии исследуемого параметра на магнитные свойства системы.

### **Лабораторная работа №3. Получение магнитных наноструктур методами оптической и электронно-лучевой литографии (12 час.)**

На образцах формируются шаблоны наноструктур для последующей металлизации методом магнетронного распыления, либо для селективного травления эпитаксиальных пленок. Для получения структур размером до 1 мкм используется фотолитография, для получения структур до 0,1 мкм – электронно-лучевая литография. В зависимости от текущей задачи лаборатории методом литографии могут быть сформированы структуры типа контактов Холла, массивы элементов типа полоски, диск и т.д. Контуры полученных микроструктур необходимо исследовать с помощью оптического, сканирующего электронного и атомно-силового микроскопов.

### **Лабораторная работа №4. Исследование магнитотранспортных свойств магнитных гетероструктур (12 час.)**

Исследуется взаимосвязь между магнитными и электрическими свойствами ранее полученных магнитных наноструктур. Изменение сопротивления или поперечной разности потенциалов позволяет оценивать такие эффекты как: магнитосопротивление, спиновый эффект Холла, возникновение вращающего момента в следствие переноса спинового момента и т.д.

### **Лабораторная работа №5. Визуализация поведения намагниченности в магнитных гетероструктурах с помощью Керр микроскопии (12 час.)**

При сочетании в гетероструктуре таких эффектов как перпендикулярная магнитная анизотропия и сильный спиновый эффект Холла, при пропускании через структуру электрического тока возможна генерация эффективных магнитных полей. Эти поля могут быть использованы для локального переключения намагниченности. Для исследования этого явления проводится визуализация процесса перемагничивания с помощью Керр микроскопа.

### **Лабораторная работа №6. Измерение энергии взаимодействия Дзялошинского-Мория с помощью Керр-микроскопа (12 час.)**

При наличии в исследуемой тонкой магнитной пленки ненулевого взаимодействия Дзялошинского-Мория домены в комбинации продольного и перпендикулярного магнитных полей растут асимметрично. Измеряя асимметрию роста и скоростей смещения доменных границ, можно определить энергию интерфейсного взаимодействия Дзялошинского-Мория.

### **Лабораторная работа №7. Измерение периодичности лабиринтной доменной структуры с помощью магнитно-силового микроскопа (4 час.)**

С помощью магнитно-силового микроскопа можно измерить лабиринтные доменные структуры в магнитных суперрешетках. Периодичность лабиринтной доменной структуры определяется с помощью статистического анализа профилей намагниченности и с помощью графического анализа Фурье. Используя теоретические модели и зная период магнитной структуры, можно рассчитать энергию взаимодействия Дзялошинского-Мория в исследуемой структуре.

### **Задания для самостоятельной работы**

*Требования:* Перед лабораторными работами обучающимся нужно внимательно изучить методические рекомендации по их выполнению. После лабораторных работ обучающемуся необходимо обработать полученные результаты, построить графики зависимостей измеряемых величин, рассчитать требуемые величины и построить рассчитанные графики, объяснить их поведение и сделать правильные выводы. Также студентам необходимо изучить самостоятельно теоретический материал, необходимый для выполнения лабораторных работ.

### **Самостоятельная работа №1. Получение магнитных гетероструктурных пленок.**

В процессе роста тонких пленок студенты получают дифракционные изображения поверхности пленок и данные с кварцевого измерителя толщин. По дифракционным изображениям определите структуру слоев в образцах. По осцилляциям интенсивности рефлексов и данным кварцевого измерителя толщин определите пересчетный коэффициент и скорость осаждения материалов. По дифракционным изображениям поверхности пленок в процессе их роста необходимо определить зависимость параметра решетки от толщины осажденных слоев. Для некоторых образцов понадобится обработать рентгеновские спектры для анализа состава пленок.

### **Самостоятельная работа №2. Исследование магнитных гетероструктурных пленок методом Керр микроскопии, вибрационным магнетометром и оптическим магнетометром.**

Постройте петли магнитного гистерезиса для образца, измеренные в различных азимутальных направлениях от 0 до 180° с шагом в 10 градусов методами вибрационного магнитометра и магнитометра Керра. Постройте зависимости коэрцитивной силы и нормированной остаточной намагниченности от направления приложения магнитного поля. Сравните полученные зависимости с теоретическими и сделайте соответствующие выводы о механизме перемагничивания в исследуемой системе. Сравните данные, полученные различными методами.

По полученным петлям магнитного гистерезиса определите поле и энергию магнитной анизотропии.

### **Самостоятельная работа №3. Получение магнитных наноструктур методами оптической и электронно-лучевой литографии**

Проанализируйте изображения микроструктур, полученные с помощью различных микроскопов. По оптическим изображениям оцените общий вид структур, удалось ли выполнить задачу, везде ли сошел резист, надежность контактов, и т.д. По изображениям сканирующего электронного микроскопа необходимо измерить размеры структур, выдержаны ли допуски, насколько ровные края у объектов. По изображениям атомно-силового микроскопа необходимо определить толщину получившихся микро и наноструктур, а также измерить профили рельефа поверхности, оценить резкость перехода от травленной области к сохранившейся.

### **Самостоятельная работа №4 Исследование магнитотранспортных свойств магнитных гетероструктур.**

Сравните данные о перемагничивании микроструктур, полученные с помощью Керр-магнитометра, вибрационного магнитометра и путем



измерения аномального эффекта Холла. Отметьте разницу в полученных петлях магнитного гистерезиса и объясните ее в выводах. Рассчитайте эффект гигантского магнитосопротивления в суперрешетках по измерениям сопротивления от магнитного поля. Рассчитайте эффект анизотропного магнитосопротивления в однослойных пленках. По смещению петель, полученных с помощью аномального эффекта Холла в присутствии тока, рассчитайте эффективность передачи спинового момента от тока в соответствующих образцах.

**Самостоятельная работа №5 Визуализация поведения намагниченности в магнитных гетероструктурах с помощью Керр микроскопии.**

Обработайте серию полученных изображений Холловских микроструктур в процессе перемагничивания током с помощью специальной программы. Постройте петли токового гистерезиса, полученные при различных значениях плоскостных магнитных полей, и объясните их. Рассчитайте эффективность переключения намагниченности за счет передачи спинового момента от тока в ферромагнитные слои.

**Самостоятельная работа №6 Измерение энергии взаимодействия Дзялошинского-Мория с помощью Керр-микроскопа.**

Постройте кривые зависимости скорости движения левой и правой доменных границ от величины продольного магнитного поля. Произведите фитинг полученных зависимостей с помощью специальной программы. Определите минимальную дисперсию после расчета как минимум 20 итераций. Определите поле взаимодействия Дзялошинского-Мория и сравните его с полем, при котором наблюдается минимальное значение скорости на кривых. Объясните, почему они совпадают или отличаются. Рассчитайте асимметричность кривых, используя определенное поле взаимодействия Дзялошинского-Мория. Проанализируйте результат.

**Самостоятельная работа №7 Измерение периодичности лабиринтной доменной структуры с помощью магнитно-силового микроскопа.**

Измерьте 20-30 профилей изменения намагниченности, ориентированных перпендикулярно линии доменных границ. Измерьте размер доменов и периодичность с помощью усреднения полученных данных. Оцените ошибку. Проведите Фурье преобразование магнитной структуры и определите ее периодичность по изображению Фурье-образа магнитной структуры. Сравните данные, полученные двумя разными способами. Рассчитайте энергию взаимодействия Дзялошинского-Мория, используя специальную программу и зная магнитные параметры образца.

Повторите все пункты для двух других образцов. Проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

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

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### **План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине**

<b>№ п/п</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
1	1 неделя семестра	Лабораторная работа 1, подготовка отчета	16 час.	УО-1 (собеседование), ПР-6 (лабораторная работа)
2	2 неделя семестра	Лабораторная работа 2, подготовка отчета	16 час	УО-1 (собеседование), ПР-6 (лабораторная работа)
3	3-4 недели семестра	Лабораторные работа 3, подготовка отчета	20 час.	УО-1 (собеседование), ПР-6 (лабораторная работа)
4	5-6 недели семестра	Подготовка к контрольной работе №1	10 час.	ПР-2 (контрольная работа)
5	7-8 недели семестра	Лабораторная работа 4, подготовка отчета	20 час.	УО-1 (собеседование), ПР-6 (лабораторная работа)
6	9-10 недели семестра	Лабораторная работа 5, подготовка отчета	20 час.	УО-1 (собеседование), ПР-6 (лабораторная работа)
7	11-12 недели семестра	Лабораторная работа 6, подготовка отчета	20 час	УО-1 (собеседование), ПР-6 (лабораторная работа)

	13-14 недели семестра	Лабораторная работа 7, подготовка отчета	20 час.	УО-1 (собеседование), ПР-6 (лабораторная работа)
8	15-16 недели семестра	Подготовка к контрольной работе №2	10 час.	ПР-2 (контрольная работа)
9	17-18 недели семестра	Подготовка к экзамену	16 час.	Экзамен
Итого:			168 час.	

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

*Планирование и организация времени, отведенного на выполнение заданий самостоятельной работы.*

Изучив график выполнения самостоятельных работ, следует правильно её организовать. Рекомендуется изучить структуру каждого задания, обратить внимание на график выполнения работ, отчетность по каждому заданию предоставляется в последнюю неделю согласно графику. Обратит внимание, что итоги самостоятельной работы влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

#### *Работа с литературой.*

При выполнении ряда заданий требуется работать с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

#### *Работа с конспектом лекций*

В конспекте лекций необходимо кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Нужно проверять термины, понятия с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации или практических работах.

**Методические рекомендации по выполнению заданий для самостоятельной работы и критерии оценки.**

### **Работа над лабораторными работами**

Перед лабораторной работой студент должен самостоятельно изучить методические указания по ее выполнению, ознакомиться с содержанием работы, прочитать необходимую учебную литературу для понимания физических процессов, изучаемых в лабораторной работе. После успешного выполнения лабораторной работы студент самостоятельно пишет обрабатывает полученные данные и пишет отчет по лабораторной работе. В методических указаниях по выполнению лабораторных работ после каждой лабораторной работы следуют контрольные вопросы. На них необходимо подготовить ответы. Кроме того, необходимо иметь базовые знания по изучаемой теме. Только после теоретической подготовки и написания отчета можно пробовать сдать отчет. Сдача отчета проводится во время практических занятий, когда студенты не работают за лабораторными установками.

### *Структура отчета по лабораторной работе*

Отчеты по лабораторным работам представляются в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MSWord.

Отчет по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе, построенные диаграммы, таблицы, приложения, список литературы и (или) расчеты, сопровождая необходимыми пояснениями и иллюстрациями в виде схем, экранных форм («скриншотов») и т. д.

Структурно отчет по лабораторной работе, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

- ✓ *Титульный лист* – обязательная компонента отчета, первая страница отчета, по принятой для лабораторных работ форме (титульный лист отчета должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчета);

- ✓ *Исходные данные к выполнению заданий*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.);
- ✓ *Основная часть*– материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т. д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных;

- ✓ *Выводы*– обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);
- ✓ *Список литературы*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);
- ✓ *Приложения*– необязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит дополнительные материалы к основной части отчета.

#### *Оформление отчета по лабораторной работе*

Лабораторная работа относится к категории «*письменная работа*», оформляется *по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ*.

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы, «скриншоты»);
- набор и оформление математических выражений (формул);
- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

### *Набор текста*

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- ✓ печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- ✓ интервал межстрочный – полуторный;
- ✓ шрифт – TimesNewRoman;
- ✓ размер шрифта - 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- ✓ выравнивание текста – «по ширине»;
- ✓ поля страницы -левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;
- ✓ нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).
- ✓ режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать, как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все *приложения* включаются в общую в сквозную нумерацию страниц работы.

#### *Рекомендации по оформлению графического материала, полученного с экранов в виде «скриншотов»*

Графические копии экрана («скриншоты»), отражающие графики, диаграммы моделей, схемы, экранные формы и т. п. должны отвечать требованиям визуальной наглядности представления иллюстративного материала, как по размерам графических объектов, так и разрешающей способности отображения текстов, цветовому оформлению и другим важным пользовательским параметрам.

Рекомендуется в среде программного приложения настроить «экран» на параметры масштабирования и размещения снимаемых для иллюстрации объектов. При этом необходимо убрать «лишние» окна, команды, выделения объектов и т. п.

В перенесенных в отчет «скриншотах» рекомендуется «срезать» ненужные области, путем редактирования «изображений», а при необходимости отмасштабировать их для заполнения страницы отчета «по ширине».

«Скриншоты» в отчете оформляются как рисунки, с заголовками, помещаемыми ниже области рисунков, а в тексте должны быть ссылки на указанные рисунки.

### Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Выполнение самостоятельных работ оценивается

- при сдаче и защите отчетов по лабораторным работам
- написании контрольных работ

Критерии оценки индикаторов выполнения самостоятельной работы по курсу приведены в разделе VIII.

## IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел I. Управление намагнитченностью в микроструктурах с помощью пропускания токовых импульсов	ПК-5.1 демонстрирует знание методов проведения научных экспериментов и исследований	Знает методы проведения научных экспериментов и исследований	УО-1 (собеседование), ПР-2 (контрольная работа), ПР-6 (лабораторная работа)	Экзамен, вопросы 1-15
			Умеет использовать подходящие методы для экспериментальных работ, зная их достоинства и ограничения		
			Владеет навыками подготовки и проведения научных экспериментов и исследований		
		ПК-5.2. обрабатывает и анализирует полученные данные, делает выводы, составляет рекомендации по совершенствованию устройств и систем	Знает как обрабатывать и анализировать полученные в результате экспериментальных и теоретических работ данные		
			Умеет делать выводы, составлять рекомендации по совершенствованию устройств и систем		
			Владеет навыками делать выводы по результатам		

			теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем			
		ПК-5.3. готовит научные публикации и заявки на изобретения	Знает основные этапы подготовки научных публикаций			
			Умеет организовать индивидуальную и коллективную работу по написанию научных публикаций и заявок на изобретения			
			Владеет навыками представления научных результатов в виде целостной письменной работы, удовлетворяющей критерии научной публикации или заявки на изобретения			
2	Раздел II. Взаимодействие Дзялошинско-го-Мория	ПК-12.1 осуществляет авторское сопровождение разрабатываемых систем электронной техники	Знает нормативную документацию и требования к осуществлению авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники	УО-1 (собеседование), ПР-2 (контрольная работа), ПР-6 (лабораторная работа)	Экзамен, вопросы 16-30	
						Умеет непосредственно осуществлять авторское сопровождение разрабатываемых систем электронной техники
						Владеет навыками сопровождение разрабатываемых систем электронной техники на основе своего авторства
		ПК-12.2 применяет принципы авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники	Знает принципы авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники			
						Умеет применять принципы авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники
						Владеет комплексом навыков для осуществления авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также качественные критерии оценивания, которые описывают уровень сформированности компетенций, представлены в разделе VIII.



## V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

1. Борисенко В.Е. Спинтроника : учебное пособие / Борисенко В.Е., Данилюк А.Л., Мигас Д.Б.. — Москва : Лаборатория знаний, 2017. — 230 с. — ISBN 978-5-00101-538-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/88493.html>
2. Волков Н.В. Физика магнитных явлений. Ферромагнетизм: Учебное пособие / Н.В. Волков. — Красноярск: изд-во СФУ, 2015. — 125 с. <https://search.rsl.ru/ru/record/01008028682>
3. Курс общей физики : учебное пособие для вузов по техническим направлениям и специальностям в 4 т. : т. 3 . Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И. В. Савельев ; под общ.ред. В. И. Савельева. Москва : КноРус, 2012. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:684653&theme=FEFU>
4. Квантовая физика и нанотехнологии / В. Неволин. Москва : Техносфера, 2013. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:813057&theme=FEFU>
5. Теоретическая физика : учебное пособие для физических специальностей университетов : [в 10 т.] т. 2 . Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. Москва : Физматлит, 2012. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:674994&theme=FEFU>
6. Физика конденсированного состояния : учебное пособие для вузов по техническим направлениям подготовки и специальностям / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011 <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:668131&theme=FEFU>

## Дополнительная литература

1. Электромагнетизм. Методы решения задач : учебное пособие / В. В. Покровский. Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:668072&theme=FEFU>
2. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы / М. В. Мамонова, В. В. Прудников, И. А. Прудникова. Москва :Физматлит, 2011.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:663084&theme=FEFU>
3. Ремпель А.А. Материалы и методы нанотехнологий [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ремпель А.А., Валеева А.А.— Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 136 с.  
<http://www.iprbookshop.ru/68346.html>
4. Воротынцев В.М. Скупов В.Д. Базовые технологии микро- и нанoeлектроники: учебное пособие / М.: Проспект, 2018. — 520 с.  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469679>

## Интернет-ресурсы

1. Нанотехнологии в России <http://www.nanonewsnet.ru>
2. Российский электронный наножурнал <http://www.nanorf.ru>
3. Проект о современной фундаментальной науке «ПостНаука»  
<http://postnauka.ru>
4. Нанотехнологическое общество «Нанометр»  
<http://www.nanometer.ru>

## Перечень информационных технологий и программного обеспечения

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется общая инфраструктура учебных классов.

## Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>
3. Научная электронная библиотека <http://www.elibrary.ru>

## VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

**Планирование и организация времени, отведенного на изучение дисциплины.** Приступить к освоению дисциплины следует незамедлительно в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы дисциплины. Обратит внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, лабораторные занятия) планируется самостоятельная работа, итоги которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все задания (аудиторные и самостоятельные) необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с графиком.

В процессе изучения материалов учебного курса предлагаются следующие формы работ: чтение лекций, лабораторные занятия, задания для самостоятельной работы.

*Лекционные занятия* ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов. Успешное освоение дисциплины предполагает активное участие студентов на всех этапах ее освоения. Изучение дисциплины следует начинать с проработки содержания рабочей программы и методических указаний. При изучении и проработке теоретического материала студентам необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- перед очередной лекцией просмотреть конспект предыдущего занятия;
- при самостоятельном изучении темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПУД литературные источники.

В случае, если возникли затруднения, обратиться к преподавателю в часы консультаций или на практическом занятии.

*Лабораторные занятия* акцентированы на наиболее принципиальных и проблемных вопросах курса и призваны стимулировать выработку практических умений. Основной целью проведения лабораторных занятий является систематизация и закрепление знаний по изучаемой теме, формирование умений самостоятельно работать с дополнительными источниками информации, аргументировано высказывать и отстаивать свою точку зрения.

При подготовке к лабораторным занятиям студентам необходимо:

- повторить теоретический материал по заданной теме;
- продумать формулировки вопросов, выносимых на обсуждение;
- использовать не только конспект лекций, но и дополнительные источники литературы, рекомендованные преподавателем.

Особо значимой для профессиональной подготовки студентов является *самостоятельная работа* по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. Студентам необходимо ознакомиться с основными источниками, без которых невозможно полноценное понимание проблематики курса.

Освоение курса способствует развитию навыков обоснованных и самостоятельных оценок фактов и концепций. Поэтому во всех формах контроля знаний, особенно при сдаче экзамена, внимание обращается на понимание проблематики курса, на умение практически применять знания и делать выводы.

**Работа с литературой.** Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ и электронные библиотеки (<http://www.dvfu.ru/library/>), а также доступные для использования другие научно-библиотечные системы.

**Подготовка к экзамену.** К сдаче экзамена допускаются обучающиеся, выполнившие все задания (лабораторные, контрольные работы), предусмотренные учебной программой дисциплины, посетившие не менее 85% аудиторных занятий и защитившие курсовой проект.

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

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

### Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

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 Nanomoke2, 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

Для проведения учебных занятий по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступно следующее лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

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.

## **VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

Для дисциплины «Физика магнитных пленок и наноразмерных структур» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

1. Собеседование (УО-1)

Письменные работы:

1. Контрольная работа (ПР-2)

2. Лабораторная работа (ПР-6)

### **Устный опрос**

Устный опрос позволяет оценить знания и кругозор студента, понимание материала, самостоятельность выполнения домашних задач, умение логически построить ответ, владение монологической речью и иные коммуникативные навыки.

Обучающая функция состоит в выявлении деталей, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий и при подготовке к зачету.

Собеседование (УО-1) – средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

### **Письменные работы**

Письменный ответ приучает к точности, лаконичности, связности изложения мысли. Письменная проверка используется во всех видах контроля и осуществляется как в аудиторной, так и во внеаудиторной работе.

Контрольная работа (ПР-2) – средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

Лабораторная работа (ПР-6) – средство для закрепления и практического освоения материала по определенному разделу.

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

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Физика магнитных пленок и наноразмерных структур» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчетности по дисциплине – экзамен (3-й, осенний семестр). Форма экзамена

– два письменных вопроса, на которые студенту дается 40 мин, затем 2 устных вопроса без подготовки. Допуск к экзамену возможен только после сдачи всех лабораторных работ.

### **Методические указания по сдаче экзамена**

Экзамен принимается ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности потока по распоряжению заведующего кафедрой (заместителя директора по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей. В первую очередь привлекаются преподаватели, которые проводили лабораторные занятия по дисциплине в группах.

В исключительных случаях, по согласованию с заместителем директора Школы по учебной и воспитательной работе, заведующий кафедрой имеет право принять экзамен в отсутствие ведущего преподавателя.

Форма проведения экзамена (устная, письменная и др.) утверждается на заседании кафедры по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Во время проведения экзамена студенты могут пользоваться рабочей программой дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего зачет, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Время, предоставляемое студенту на подготовку к ответу на зачете, должно составлять не более 40 минут. По истечении данного времени студент должен быть готов к ответу.

Присутствие на экзамене посторонних лиц (кроме лиц, осуществляющих проверку) без разрешения соответствующих лиц (ректора либо проректора по учебной и воспитательной работе, директора Школы, руководителя ОПОП или заведующего кафедрой), не допускается. Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, не имеющие возможности самостоятельного передвижения, допускаются зачет с сопровождающими.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». При неявке студента на экзамен в ведомости делается запись «не явился».

### **Вопросы к экзамену**

1. Диамagnetизм, орбитальный магнитный момент, спиновый магнитный момент, магнетон Бора, Ларморова частота, диамagnetный момент

2. Парамагнетизм, классическая и квантовая теории. Магнитный момент атома. Намагничивание парамагнетика. Закон Кюри-Вейсса.
3. Ферромагнетизм. Теория молекулярного поля. Закон Кюри-Вейсса.
4. Намагничивание ферромагнетиков. Обменное взаимодействие. Кривая Слэтера. Зонная теория ферромагнетизма.
5. Магнитная анизотропия. Магнитокристаллическая анизотропия в кубических кристаллах. Формула Акулова. Ферромагнетик с кубической симметрией во внешнем магнитном поле. Измерение магнитной анизотропии.
6. Коэффициенты размагничивания. Анизотропия формы. Случаи нанопроволоки и тонкой пленки. Сложение двух одноосных анизотропий. Перпендикулярная магнитная анизотропия.
7. Доменные стенки. Типы доменных стенок. Энергия и толщина доменных границ. Движение доменных границ. Закрепление на дефектах.
8. Микро и наночастицы. Коэрцитивность частиц. Механизмы перемагничивания. Суперпарамагнетизм. Модель Стонера-Вольфарта.
9. Динамика намагниченности. Уравнение Ландау-Лившица. Переключение намагниченности. Электронный парамагнитный и ферромагнитный резонансы.
10. Основы спинтроники. Спиновый транспорт.
11. Гигантское магнитосопротивление. Модель Мотта.
12. Основы квантовомеханического туннелирования. Модель Джулиера
13. Модель Слончевского. Туннельное магнитосопротивление.
14. Принципы записи и чтения информации в жестком диске. Совершенствование технологий чтения и записи.
15. Записывающие головки с датчиками гигантского магнитосопротивления
16. Среда записи с плоскостной и перпендикулярной магнитной анизотропией
17. Спиновый вентиль. Способы создания спиновых вентиляей. Способы закрепления намагниченности в слое.
18. Перенос спинового момента от тока. Перенос спинового момента в структурах с многослойных структурах с сильным спин-орбитальным взаимодействием на интерфейсах.
19. Записывающие головки с датчиками туннельного магнитосопротивления.
20. Сенсор туннельного магнитосопротивления. Виды окислов, используемых в сенсорах туннельного магнитосопротивления.



21. Аномальный эффект Холла (АЭХ). Физические основы и причины наблюдения эффекта. Величина АЭХ эффекта в разных средах. Особенности наблюдения АЭХ эффекта, зависящие от геометрии микроструктур. Отличия петель магнитного гистерезиса, полученных с помощью измерений Холловского сопротивления и других интегральных магнитометрических методов (вибрационный или СКВИД магнитометры).
22. Спиновый эффект Холла и взаимодействие Рашбы.
23. Перенос спинового момента от тока, текущего в плоскости слоев тяжелых металлов (SOT-эффект). Физические основы и способы измерения SOT-эффекта.
24. Общая концепция и необходимые условия возникновения взаимодействия Дзялошинского-Мория в объемных кристаллах.
25. Взаимодействие Дзялошинского-Мория в многослойных системах. Влияние взаимодействия Дзялошинского-Мория на процессы перемагничивания и перенос спиновго момента от тока.
26. Общие принципы построения магнитной памяти с произвольной выборкой данных. Конструкционные особенности. Перспективы развития и использования.
27. Общие принципы построения магнитной памяти на беговых дорожках. Конструкционные особенности. Перспективы развития и использования.
28. Скиммионная память на беговых дорожках. Различные способы реализации.
29. Память на беговых дорожках на основе смещения доменных границ со спин-орбитальными эффектами (вторая и третьи версии).
30. Киральные спиновые структуры в среде с высоким взаимодействием Дзялошинского-Мория.

**Критерии выставления оценки студенту на зачете по дисциплине  
«Физика магнитных пленок и низкоразмерных структур»:**

Баллы (рейтинговая оценка)	Оценка зачета (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86 -100	отлично / зачтено	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он полно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал

		монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
76 - 85	хорошо / зачтено	Оценка «хорошо» 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.
61 - 75	удовлетворительно / зачтено	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при решении задач.
0 - 60	неудовлетворительно / не зачтено	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного «не материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет решение задач. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### **Оценочные средства для текущей аттестации**

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме контрольных мероприятий (решению домашних задач) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, своевременность выполнения различных видов заданий ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

### **Оценочные средства для текущей аттестации**

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме контрольных мероприятий (контрольных работ, защиты отчетов по лабораторным работам и защите курсового проекта) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- посещение занятий
- результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, своевременность выполнения различных видов заданий ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

### **Устный опрос в сочетании с проверкой отчета по лабораторной работе**

Оценивание защиты лабораторной работы проводится при представлении отчета в электронном или печатном виде, по двухбалльной шкале: «зачтено», «не зачтено».

*Пример контрольных вопросов к лабораторной работе «Измерение магнитной анизотропии тонких пленок на вибромагнитометре»:*

1. По какому физическому принципу вибрационный магнитометр измеряет магнитный момент образца в поле?
2. Что такое магнитная анизотропия, оси легкого и трудного намагничивания?
3. Нарисуйте петли магнитного гистерезиса, измеренные в легком и трудном направлениях намагничивания, если в образце присутствует сильная одноосная анизотропия.
4. Как рассчитать поле и энергию магнитной анизотропии по методу площадей?
5. Что такое магнитомертвый слой в тонких магнитных пленках и какой эксперимент нужно провести, чтобы определить его толщину?

### **Критерии оценивания отчета по лабораторной работе**

Оценка	Требования
«зачтено»	Студент присутствовал на лабораторной работе,

	самостоятельно получил необходимые экспериментальные результаты, оформил отчет в соответствии с требованиями, правильно построил графические зависимости физических величин, сделал правильные выводы, объяснил ход закономерностей, продемонстрировал глубокое знание теории изучаемых явлений, правильно ответил на контрольные вопросы
<b>«не зачтено»</b>	Студент не предоставил отчет, либо отчет не соответствует установленным требованиям по оформлению или содержанию, не содержит выводов. Студент предоставил правильно оформленный отчет, но использовал чужие данные. Студент предоставил правильно оформленный отчет, но не может ответить на контрольные вопросы.

### Контрольная работа

Контрольные работы проводятся в виде тестов для проверки теоретических знаний студентов и решения задачи для проверки усвоения практических умений и навыков. На решение теста отводится 12 минут. На решение задачи отводится 28 минут.

#### *Пример тестового задания*

Подчеркните правильные варианты ответов по вашему мнению. Внимательно смотрите на вопрос, в некоторых заданиях правильных вариантов ответа может быть несколько.

1. Магнитными свойствами могут обладать

Диэлектрики

Металлы

Полупроводники

Все вышеперечисленные материалы

2. В каких единицах измеряется магнитный момент в системе СИ?

$A/m^3$

$A \cdot m$

$A \cdot m^2$

$A/m$

3. Коэффициент размагничивания очень тонкой пленки (толщина 1 нм) в плоскости пленки в системе СИ приблизительно равен

1

0

$\pi$

1/2

4. Коэффициент размагничивания очень длинной проволоки (длина больше диаметра в 1000 раз) в радиальном коротком направлении в системе СИ приблизительно равен

1

0

1/2

$\pi$

5. На границе раздела двух сред непрерывны (может быть несколько правильных ответов)

Тангенциальная составляющая  $\mathbf{H}$

Нормальная составляющая  $\mathbf{H}$

Тангенциальная составляющая  $\mathbf{B}$

Нормальная составляющая  $\mathbf{B}$

6. Напряженность магнитного поля в системе СГС измеряется в

Э

Гс

emu

А/м

7. Сумма коэффициентов размагничивания в системе СИ равна

0

4 $\pi$

1

3

8. Чему равен магнетон Бора?

$eh/4\pi m$

$eh/2m$

$em/4\pi h$

$e/2m$

9. Чему равна частота Ларморовой прецессии в магнитном поле индукции  $\mathbf{B}$  в системе СИ?

$eB/2\mu_0 m$

$e/2m$

$eB/2m$

$e/2mB$

10. Какие магнитные материалы слабее всего реагируют на магнитное поле?

Ферромагнетики

Парамагнетики

Диамагнетики

Антиферромагнетики

11. Как записывается закон Кюри

$$\chi_m = C/T$$

$$\chi_m = C/(T-T_k)$$

$$\chi_m = C/(T+T_k)$$

$$\chi_m = C \cdot T/T_k$$

12. В области  $a$  близких к нулю наклон функции Ланжевена  $L(a)$  равен

1/2

1/3

1/4

1/5

13. Можно ли насытить полностью парамагнитный материал?

Да, можно, но поле должно быть выше в среднем  $10^9$  Э

Невозможно, если не рассматривать случай абсолютного нуля

Нет, невозможно при любых условиях

Да, можно, но только при очень низких температурах и больших магнитных полях

14. Предположим, что магнетизм вещества полностью обусловлен спиновыми моментами его электронов. Чему будет равен g-фактор в таком случае?

1

0

1/2

2

15. Чему равна проекция магнитного момента на направление магнитного поля?

$$g\mu_B J$$

$$g\mu_B \sqrt{J(J+1)}$$

$$g\mu_B (J+1)$$

$$g\mu_B M_J$$

16. В каком случае функция Ланжевена переходит в функцию Бриллюэна?

Если вещество диамагнетик

Если  $J$  бесконечно

Если g-фактор равен 2

Никогда не переходит

17. Почему молекулярное поле не намагничивает вещество до насыщения в одном направлении?

Это противоречит условию минимума энергии Зеемана

Это противоречит условию минимума энергии магнитной анизотропии

Это противоречит условию минимума магнитостатической энергии

Это противоречит условию минимума обменной энергии

18. Какой из ферромагнетиков имеет наиболее низкую намагниченность при температуре 200 К?

Кобальт

Железо

Гадолиний

Никель

19. Почему существуют две температуры Кюри, ферромагнитная и парамагнитная?

Из-за суперпарамагнетизма

Из-за образования спиновых кластеров

Из-за образования спинового льда

Из-за парапроцесса

20. Укажите правильную формулу энергии обменного взаимодействия  $E_{ex}$  между двумя спиновыми моментами  $S_i$  и  $S_j$ , если  $J$  – обменный интеграл

$-2JS_i \times S_j$

$-2JS_i S_j$

$2JS_i \times S_j$

$2JS_i S_j$

### Пример задачи

Магнитная восприимчивость никеля при температурах 400 и 800°C равна соответственно  $1,25 \cdot 10^{-3}$  и  $1,14 \cdot 10^{-4}$ . Определить температуру Кюри и магнитную восприимчивость при  $T=600^\circ\text{C}$ .

### Критерии оценивания контрольных работ

Оценка	Требования
«отлично»	Студент решил 70% тестовых заданий и задачу
«хорошо»	Студент решил 55-69% тестовых заданий и задачу
«удовлетворительно»	Студент решил 40-54% тестовых заданий и сделал грамотную попытку решить задачу, но мог ошибиться с ответом или

	решил 30-44% тестовых заданий, но решил задачу идеально.
<b>«неудовлетворительно»</b>	Студент решил менее 40% тестовых заданий и не решил задачу. Правильно решенная задача дает плюс 10% к результату тестовых заданий.