

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра физических методов исследования твёрдого тела



Рабочая программа дисциплины
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	72	16	16		38				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	6
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	6
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	7
5. Перечень учебной литературы.	9
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	9
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	10
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	10
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	10
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	11

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Курс «Магнитные свойства вещества» предназначен для обучения студентов-физиков основам магнитного строения веществ и основам методов их исследования.

Основные цели освоения курса: дать студентам базовые знания о природе магнетизма, различных его видах; ознакомить с различными физическими методами исследования магнитных свойств веществ. Такие специальные знания необходимы для освоения основ физических курсов, читаемых на физическом факультете Новосибирского государственного университета, выполнения лабораторных работ в рамках спецпрактикума, подготовки квалификационной работы бакалавра.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Знать учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; основной математический аппарат, который используется для описания магнитных свойств вещества; суть процессов, происходящих в различных средах при воздействии на них магнитных полей; основные закономерности формирования магнитных свойств вещества; теоретические основы и базовые представления научного исследования в области магнитных явлений; основные современные методы расчета магнитных свойств вещества, использующие передовые инфокоммуникационные технологии; современную приборную базу; измерительные методы определения магнитных величин и методы расчета спектров; механизмы генерирования, усиления и преобразования электромагнитных колебаний в различных средах, включая квантовые механизмы; основные закономерности формирования результатов эксперимента.</p> <p>Уметь выстраивать взаимосвязи между магнитными явле-</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<p>ниями; решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения; объяснять причинно-следственные связи магнитных свойств; формулировать выводы и приводить примеры; разбираться в используемых подходах; подбирать математический аппарат для решения конкретной физической задачи связанной с магнитными свойствами вещества; находить необходимые справочные материалы из информационных источников, в том числе, из электронных каталогов; излагать и критически анализировать базовую общепрофессиональную информацию; решать прикладные задачи на основе фундаментальных знаний;</p> <p>проводить научные изыскания в области магнитных свойств вещества; оценивать изменения в данной области в связи с новыми разработками; выявлять ключевые задачи стоящие перед исследователями в области магнитных свойств вещества; организовать наблюдение за физическими явлениями, используя наиболее оптимальную приборную базу; оценивать и анализировать результат, полученный в ходе проведения эксперимента; устанавливать границы применимости классических или квантовых теорий для описания магнитных свойств вещества.</p> <p>Владеть навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; навыками решения усложненных задач по основным направлениям физики магнитных явлений на основе приобретенных</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<p>знаний, умений, навыков; приемами обработки информации с помощью современного программного обеспечения (ПО); навыками применения современного математического инструментария для решения задач в области магнитных свойств вещества; навыками публичной речи, ведения дискуссии и полемики; методами работы в различных операционных системах, с базами данных, с экспертными системами; прикладными программами для изучения магнитных свойств вещества; необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников в области магнитных свойств вещества; методами приближенного качественного описания физических процессов в изучаемых системах на основе классических и квантовых законов; экспериментальными навыками для проведения научного исследования в области магнитных свойств вещества; навыками публичной речи, ведения дискуссии и полемики; навыками письменного аргументированного изложения собственной точки зрения.</p>

При чтении курса лекций используются современные методы представления материала: презентации с большим количеством графического иллюстративного материала, а также интерактивные компьютерные расчеты по некоторым темам курса (в частности «Теория ферромагнетизма Вейсса», «ЭПР в твердом теле. Ассиметричный g -тензор.») выполненные в программе Mathcad. При подаче материала лекционного курса используется мультимедийная техника. Демонстрируется большое количество графического материала для наглядной подачи материала. Все практические занятия проводятся в интерактивной форме. Трудоемкие расчеты проводятся с привлечением специализированных математических пакетов с демонстрацией процедуры расчета с помощью мультимедийного проектора. Последнее позволяет сосредоточиться на идеи решения и анализе полученного ответа.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Магнитные свойства вещества» реализуется в осеннем семестре 4-го курса для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика». Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по электродинамике, а также по математике (дифференциальное и интегральное исчисления, ряды Фурье, численные методы решения систем линейных уравнений, элементы теории групп и др.). Он должен предшествовать прохождению производственной практики (НИР) и выполнению квалификационной работы бакалавра, т.к. дает необходимые знания для выполнения исследований магнитных свойств веществ, являющихся важной частью различных физико-химических свойств твердого тела.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	72	16	16		38				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, дифференцированный зачёт.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контрольные работы;
- промежуточная аттестация: дифференцированный зачёт.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 38 часов;
- промежуточная аттестация (дифференцированный зачёт) – 2 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия) составляет 34 часа.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Основные понятия магнетизма. Магнитные свойства изолированных атомов и ионов. Экспериментальное наблюдение магнитных моментов атомов.	1-2	3	1		2	
2.	Диамагнетизм. Парамагнетизм.	1-2	5	1	2	2	
3.	Ферромагнетики.	3-4	5	1	2	2	
4.	Доменная структура ферромагнетиков. Намагничивание ферромагнетика.	3-4	3	1		2	
5.	Магнитноупорядоченные вещества.	5-6	5	1	2	2	
6.	Основные понятия термодинамики магнитных явлений.	5-6	3	1		2	
7.	Методы исследования удельной намагничённости и магнитной восприимчивости.	7	4	1	1	2	
8.	Примеры применения магнетохимических методов исследования.	8	4	1	1	2	
9.	Магниторезонансные методы исследования.	9	4	1	1	2	
10.	Электронный парамагнитный резонанс.	10	4	1	1	2	
11.	Спектры ЭПР радикалов в твердых телах.	11	4	1	1	2	
12.	Ядерный магнитный резонанс.	12	4	1	1	2	
13.	Химические сдвиги протона. Спектр ЯМР двух взаимодействующих протонов в твердом теле. Ядерный квадрупольный резонанс. Двойной электронно-ядерный резонанс. Импульсные методы магнитного резонанса.	13	4	1	1	2	
14.	Применение магнитного резонанса для исследования скоростей молекулярных процессов.	14	6	1	1	4	
15.	Ферромагнитный резонанс.	15	6	1	1	4	
16.	Ядерный гамма-резонанс.	16	6	1	1	4	
18.	Дифференцированный зачёт	17	2				2
Всего			72	16	16	38	6

Программа и основное содержание лекций (16 часов)

1. **Основные понятия магнетизма. Магнитные свойства изолированных атомов и ионов. Экспериментальное наблюдение магнитных моментов атомов.** Опыты Штерна и Герлаха. Эффект Зеемана. Магнитомеханический эффект. (1 час)
2. **Диамagnetизм. Парамагнетизм.** Парамагнетизм Паули. Ванфлековский парамагнетизм. Диамagnetизм Ландау. (1 час)
3. **Ферромагнетики.** Природа ферромагнетизма. Модель Кюри-Вейсса. Энергия ферромагнетика. Энергия анизотропии формы. Энергия кристаллографической магнитной анизотропии. Магнитострикция. (1 час)
4. **Доменная структура ферромагнетиков.** Доменные стенки. Однодоменные частицы. **Намагничивание ферромагнетика.** Процессы смещения доменных границ. Вращение намагниченности доменов. Гистерезис. Суперпарамагнетизм. (1 час)
5. **Магнитноупорядоченные вещества.** Многоподрешеточные магнетики. Виды магнитного упорядочивания. Антиферромагнетизм. Температура Нееля. Ферримагнетизм. Слабый ферромагнетизм. Спиновые стекла. Особенности поведения низкоразмерных и нанодисперсных магнитных структур. Магнетизм поверхности. (1 час)
6. **Основные понятия термодинамики магнитных явлений.** Идеальные парамагнетики. Магнито-термические и магнетокалорические соотношения. Магнетокалорический эффект. (1 час)
7. **Методы исследования удельной намагниченности и магнитной восприимчивости.** Магнитостатические и индукционные методы. Весовые методы. Метод Гуи. Метод Фарадея. Метод вискозиметра. Вибрационный магнетометр. СКВИД-магнетометр. (1 час)
8. **Примеры применения магнетохимических методов исследования.** Магнитная восприимчивость органических соединений. Таблицы Паскаля. Метод статической магнитной восприимчивости в биохимии. Применение магнетохимических методов в химии твердого тела и катализе. Влияние магнитных полей на химические реакции. Магнетизм и гетерогенные физико-химические процессы. (1 час)
9. **Магниторезонансные методы исследования.** Природа магнитного резонанса, основные понятия. Тепловое равновесие и спиновая релаксация. Экспериментальная техника магнитного резонанса. (1 час)
10. **Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР).** ЭПР атома водорода. ЭПР свободных радикалов. Природа сверхтонкого взаимодействия. Спектры ЭПР триплетного состояния. (1 час)
11. **Спектры ЭПР радикалов в твердых телах.** Спектры ЭПР неориентированных систем. Теория g-тензора и эффективный спин-гамильтониан. ЭПР ионов переходных металлов. (1 час)
12. **Ядерный магнитный резонанс (ЯМР).** Химическое экранирование. Формула Лэмба. Формула Рамсея. Природа ядерных спин-спиновых взаимодействий. Спектр ЯМР системы АВ. (1 час)
13. **Химические сдвиги протона. Спектр ЯМР двух взаимодействующих протонов в твердом теле. Ядерный квадрупольный резонанс. Двойной электронно-ядерный резонанс. Эффект Оверхаузера. Импульсные методы магнитного резонанса.** (1 час)
14. **Применение магнитного резонанса для исследования скоростей молекулярных процессов.** Эффекты обмена в спектрах магнитного резонанса. Молекулярное движение. Химический обмен. Спиновый обмен. Спиновые метки. (1 час)
15. **Ферромагнитный резонанс (ФМР).** ФМР в твердых телах. Спиновые волны. Суперпарамагнитный резонанс (СПР). Примеры применения ФМР и СПР для исследования наноразмерных и наноструктурированных систем. (1 час)
16. **Ядерный гамма-резонанс.** Магнитоакустический резонанс. Магнитооптические методы. Магнитная нейтронография. (1 час)

Программа практических занятий (16 часов)

Занятие 1. Магнитная восприимчивость пара- и диамагнетиков. Зависимость намагниченности парамагнетика от магнитного поля и температуры, модель Брюллиена для момента $J=1/2$. Теплоемкость системы парамагнитных моментов, аномалия Шоттке. (2 часа)

Занятие 2. Поляризационный парамагнетизм Ван-Флека. Магнетизм ионов и парамагнитных комплексов переходных элементов. (2 часа)

Занятие 3. Теория молекулярного поля Кюри-Вейса. Зависимость спонтанной намагниченности и восприимчивости ферромагнетика от температуры. Зависимость намагниченности от внешнего поля. Гистерезис эллипсоида, кристаллографическая анизотропия, Магнитострикция. (2 часа)

Занятие 3. Многоподрешеточные магнетики. Намагниченность и восприимчивость антиферромагнетика и ферримагнетика от температуры. Случай большого внешнего магнитного поля.

Занятие 4. Расчет магнитного поля между полюсами постоянных магнитов с произвольной формой наконечников. Зона изодинамичности. Магнетохимические методы. Расчет магнитной восприимчивости диамагнетиков с помощью таблиц Паскаля. Магнетохимия диа- и парамагнетиков. (2 часа)

Занятие 5. Магнитные методы, анализ данных зависимостей намагниченности от температуры и внешнего поля для дисперсных систем. Суперпарамагнетизм, температура блокировки, магнитные переходы, сравнение с данными структурных методов исследования. (2 часа)

Занятие 6. Электронный парамагнитный резонанс. Спектр атома водорода, органические радикалы в жидкости. Сверхтонкое взаимодействие и спектры ЭПР. Мультиплеты. Спектры ЭПР неориентированных систем. (2 часа)

Занятие 7. Расчет спектров ЭПР органических радикалов в триплетном состоянии. (2 часа). Спектры ЯМР органических соединений в растворах. (2 часа)

Занятие 8. Ферромагнитный резонанс. Спектры дисперсных систем, Влияние формы образца, температурная зависимость, суперпарамагнетизм (2 часа)

Самостоятельная работа студентов (38 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	14
Подготовка к контрольным работам	8
Изучение примеров решения расчетных задач в системе Mathcad	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к дифференцированному зачёту	4

5. Перечень учебной литературы.

1. Дзюба С.А. Основы магнитного резонанса, Учебное пособие. - Новосибирск: НГУ, 2010. - 294 с., ISBN 978-5-94356-844-2 (30 экз.)
2. Вонсовский С.В. Магнетизм: Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро-, и ферримагнетиков, Москва: Наука, 1971. -1032 с.(18 экз.)
3. А. Керрингтон, Э. Мак-Лечлан. Магнитный резонанс и его применение в химии, Москва: Мир, пер. с англ., 1970. -447 с. (9 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

4. Дзюба С.А. Основы магнитного резонанса, Учебное пособие. - Новосибирск: НГУ, 2010. - 294 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

Интернет-ресурсы:

1. <http://el.nsu.ru>, Курс "Магнитные Свойства Вещества"
2. <http://sites.google.com/site/nsumsv/>

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Пакет Mathcad для проведения численных и аналитических расчетов и графической визуализации полученных данных. Пакет программ EasySpin для моделирования ЭПР спектров <https://easyspin.org>.

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

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими 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 в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным

программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проведения контрольных работ.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области магнитных свойств веществ в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференцированном зачёте. Он проводится в конце семестра по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; основной математический аппарат, который используется для описания магнитных свойств вещества; суть процессов, происходящих в различных средах при воздействии на них магнитных полей; основные закономерности формирования магнитных свойств вещества; теоретические основы и базовые представления научного исследования в области магнитных явлений; основные современные методы расчета магнитных свойств вещества, использующие передовые инфокомму-	Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.

	<p>никационные технологии; современную приборную базу; измерительные методы определения магнитных величин и методы расчета спектров; механизмы генерирования, усиления и преобразования электромагнитных колебаний в различных средах, включая квантовые механизмы; основные закономерности формирования результатов эксперимента.</p>	
<p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p>Уметь выстраивать взаимосвязи между магнитными явлениями; решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения; объяснять причинно-следственные связи магнитных свойств; формулировать выводы и приводить примеры; разбираться в используемых подходах; подбирать математический аппарат для решения конкретной физической задачи связанной с магнитными свойствами вещества; находить необходимые справочные материалы из информационных источников, в том числе, из электронных каталогов; излагать и критически анализировать базовую общепрофессиональную информацию; решать прикладные задачи на основе фундаментальных знаний; проводить научные изыскания в области магнитных свойств вещества; оценивать изменения в данной области в связи с новыми разработками; выявлять ключевые задачи стоящие перед исследователями в области магнитных свойств вещества; организовать наблюдение за физическими явлениями, используя наиболее оптимальную приборную базу; оценивать и анализировать результат, полученный в ходе проведения эксперимента; устанавливать границы приме-</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>

	<p>нимости классических или квантовых теорий для описания магнитных свойств вещества.</p>	
<p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Владеть навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; навыками решения усложненных задач по основным направлениям физики магнитных явлений на основе приобретенных знаний, умений, навыков; приемами обработки информации с помощью современного программного обеспечения (ПО); навыками применения современного математического инструментария для решения задач в области магнитных свойств вещества; навыками публичной речи, ведения дискуссии и полемики; методами работы в различных операционных системах, с базами данных, с экспертными системами; прикладными программами для изучения магнитных свойств вещества; необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников в области магнитных свойств вещества; методами приближенного качественного описания физических процессов в изучаемых системах на основе классических и квантовых законов; экспериментальными навыками для проведения научного исследования в области магнитных свойств вещества; навыками публичной речи, ведения дискуссии и полемики; навыками письменного аргументированного изложения собственной точки зрения.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Магнитные свойства вещества».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примеры контрольных работ

Вариант 1

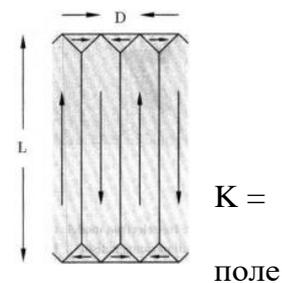
Рассчитайте магнитный момент электрона. Какова частота ларморовской прецессии этого электрона в магнитном поле с плотностью потока 0,3 Тл? Какая разница в энергии электрона, если его точки вращения параллельны или антипараллельны магнитному полю?

Преобразуйте эту энергию в частоту.

Оцените соотношение обменного и дипольного взаимодействия двух соседних атомов Fe в металлическом Fe. (Константу обмена в Fe можно грубо оценить, установив ее равной $k_B T_C$, где T_C - температура Кюри. Для Fe $T_C = 1043$ К.)

Покажите, что для $T \ll T_C$ модель Вейсса ферромагнетика дает следующее выражение для намагниченности $M = M_S \cdot (1 - 2e^{-2T_C/T})$

Рассмотрим замкнутую доменную структуру в ферромагнитной пленке, как показано на рисунке. Легкая ось - вертикальная, а жесткая - горизонтальная. Энергия длинных 180° стенок на единицу площади равна σ_w , а плотность энергии анизотропии равна K . Игнорируя вклад от 90° стенок (то есть в предположении, что $L \gg D$), показать, что $D \sim (2\sigma_w L / K)^{1/2}$. Чему равно D , если $\sigma_w = 4 \cdot 10^{-3}$ Дж/м², $4 \cdot 10^4$ Дж/м³ и $L = 4$ мм.



Спектрометр ЯМР работает на частоте 60 МГц. При каком магнитном наблюдается резонанс ядер ^1H , ^2H , ^{13}C и ^{19}F ?

Вариант 2

Магнитное поле 0,5 Тл приложено к сферическому образцу (а) воды и (б) $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. В каждом случае оцените долю, которую поля \mathbf{H} и \mathbf{B} внутри образца отличаются от значений свободного пространства. Известно, что вода и 4-х водный сульфат марганца имеют следующие значения магнитных восприимчивостей: H_2O $\chi/10^{-6} = -90$, $\chi_m/10^{-10} = -16$ м³/моль, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $\chi/10^{-6} = 2640$, $\chi_m/10^{-10} = 2790$ м³/моль

Найдите условные обозначения для основных состояний ионов (а) Ho^{3+} ($4f^{10}$), (б) Er^{3+} ($4f^{11}$), (в) Tm^{3+} ($4f^{12}$) и (г) Lu^{3+} ($4f^{14}$)

Покажите, что энергии для ферромагнетизма, антиферромагнетизма и гелимагнетизма даются E_{FM} , E_{AFM} и E_{HM} соответственно выражениями $E_{\text{FM}} = -2NS^2(J_1 + J_2)$, $E_{\text{AFM}} = -2NS^2(-J_1 + J_2)$, $E_{\text{HM}} = -2NS^2(-J_1^2/(8J_2) + J_2)$ и что гелимагнетизм предпочтительнее или ферромагнетизма или антиферромагнетизма, когда $J_2 < 0$ и $|J_1| < 4|J_2|$.

Три атома со спином $S = 1$ расположены по углам равностороннего треугольника и могут быть описаны гамильтонианом $H = -2J(\mathbf{S}_1\mathbf{S}_2 + \mathbf{S}_2\mathbf{S}_3 + \mathbf{S}_3\mathbf{S}_1)$. Покажите, что собственные значения энергии системы равны 0, $2J$ и $6J$.

В эффекте Мессбауэра из атома ^{57}Fe испускается фотон с энергией 14,4 кэВ. Рассчитайте скорость отдачи для свободного атома ^{57}Fe и атома ^{57}Fe , который жестко удерживается в решетке кристалла 10 мг. Каково доплеровское смещение фотона с энергией 14,4 кэВ в каждом случае? Четкая линия в мессбауэровском эксперименте была получена, когда относительная скорость между источником и образцом составляла 2 мм/с. Рассчитайте соответствующий сдвиг частоты в Гц и см⁻¹, а также сдвиг энергии в эВ.

Примерные вопросы на дифференцированный зачёт

- Теория ферромагнетизма Вейсса.
- Кристаллографическая анизотропия. Магнитострикция.
- Основные характеристики ферромагнетика. Процессы намагничивания магнито-мягких и магнито-жестких материалов. Причины гистерезиса.
- Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) в жидкости.
- Расчет распределения спиновой плотности для альтернантных углеводородов с использованием метода молекулярных орбиталей Хюккеля (бензол, бензильный радикал).
- ЯМР в жидкости с учетом спин-спинового взаимодействия. ЯМР системы АВ и ацетальдегида.
- Эффект Оверхаузера.
- ЭПР переходных металлов. Расщепление в поле лигандов. Кристаллическое поле.
- Спиновая релаксация. Уравнения Блоха. Природа магнитной релаксации. Спиновые зонды. Спиновые метки. Эффекты обмена в спектрах магнитного резонанса.
- Спектры ЭПР хаотически ориентированных парамагнитных центров в твердом теле.
- Двойной электронно-ядерный резонанс (ENDOR)

- Примеры применения магнетохимических методов для исследования систем и процессов. Таблицы Паскаля.
- Статические методы исследования магнитной восприимчивости.
- Импульсные методы магнитного резонанса. Свободная индукция и спиновое эхо.

Пример билета на дифференцированном зачёте

1. Природа магнетизма на атомарном масштабе. Фактор Ланде.
2. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) в жидкости.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Магнитные свойства вещества»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного