



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.  
Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЕиС  
Ю.В. Сомова

02.02.2026 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***АТОМНЫЙ И ЯДЕРНЫЙ МАГНЕТИЗМ***

Направление подготовки (специальность)  
12.03.01 Приборостроение

Направленность (профиль/специализация) программы  
Приборы и оборудование медицинского назначения

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт естествознания и стандартизации
Кафедра	Физики
Курс	3
Семестр	6

Магнитогорск  
2026 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 12.03.01 Приборостроение (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 945)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Физики  
27.01.2026, протокол № 3

Зав. кафедрой



Д.М. Долгушин

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЕиС  
02.02.2026 г. протокол № 4

Председатель



Ю.В. Сомова

Рабочая программа составлена:

старший преподаватель кафедры Физики,



Н.И. Мишенева

Рецензент:

зав. кафедрой ПМиИ, д-р техн. наук



Ю.А. Извеков

## Лист актуализации рабочей программы

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Д.М. Долгушин

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Д.М. Долгушин

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2029 - 2030 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Д.М. Долгушин

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2030 - 2031 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Д.М. Долгушин

## 1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целью дисциплины является формирование понимания фундаментальных магнитных свойств вещества и их роли в работе современной аппаратуры медицинского назначения, формирование способностей применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, а также способностей проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики методов и средств технических измерений в приборостроении

## 2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Атомный и ядерный магнетизм входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Химия

Введение в направление

Математика

Физика

Информатика и основы программирования

Физические основы получения информации (датчики и явления)

Биофизика

Обработка экспериментальных данных на ЭВМ

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины, будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Проектная деятельность

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Производственная – преддипломная практика

Основы медицинской томографии

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Атомный и ядерный магнетизм» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-1	Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства приборов и комплексов широкого назначения
ОПК-1.1	Применяет знания математики в инженерной практике при моделировании
ОПК-1.2	Применяет знания естественных наук в инженерной практике
ОПК-1.3	Применяет общеинженерные знания, в инженерной деятельности
ОПК-3	Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики методов и средств технических измерений в приборостроении
ОПК-3.1	Выбирает и использует соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений
ОПК-3.2	Обрабатывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 академических часов, в том числе:

- контактная работа – 72 академических часов;
- аудиторная – 68 академических часов;
- внеаудиторная – 4 академических часов;
- самостоятельная работа – 36,3 академических часов;
- в форме практической подготовки – 0 академических часов;
- подготовка к экзамену – 35,7 академических часов

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в академических часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Модуль 1. Введение в физику магнитных явлений								
1.1 Магнитное поле и его источники	6	8	8		6	подготовка к лабораторному и семинарскому занятию (проработка лекций); подготовка отчета по лабораторным работам; решение индивидуальных задач; самостоятельное изучение учебной и научной литературы	Лабораторная работа №1: Исследование магнитного поля различных источников; семинар № 1	
1.2 Магнитное поле в веществе: диа- и парамагнетизм		2	6		5	подготовка к лабораторному и семинарскому занятию (проработка лекций); подготовка отчета по лабораторным работам; решение индивидуальных задач; самостоятельное изучение учебной литературы	Лабораторная работа №2: Определение магнитной восприимчивости диа- и парамагнетиков; семинар № 2	
Итого по разделу		10	14		11			

Модуль 2. Сильный магнетизм и его медицинские приложения								
2.1 Ферромагнетизм, антиферромагнетизм, ферримагнетизм и магнитные жидкости в медицине	6	4	6		6	подготовка к лабораторному и семинарскому занятию (проработка лекций); подготовка отчета по лабораторным работам; решение индивидуальных задач; самостоятельное изучение учебной и научной литературы	Лабораторная работа №3: Изучение петли гистерезиса ферромагнитных материалов; семинар № 3	
2.2 Магнитная анизотропия и магнитострикция		2			4	подготовка к лабораторному и семинарскому занятию (проработка лекций); подготовка отчета по лабораторным работам; решение индивидуальных задач; самостоятельное изучение учебной и научной литературы	Семинар № 3	
Итого по разделу		6	6		10			
3. Модуль 3. Ядерный магнетизм и Магнитно-резонансная томография								
3.1 Ядерный магнитный момент и спин	6	2			4	подготовка к семинарскому занятию (проработка лекций); решение индивидуальных задач; самостоятельное изучение учебной и научной литературы	Семинар № 4	
3.2 Условия ядерного магнитного резонанса и релаксация		4	8		7	подготовка к лабораторному и семинарскому	Лабораторная работа №4: Компьютерное	

						занятию (проработка лекций); подготовка отчета по лабораторным работам; решение индивидуальных задач; самостоятельное изучение учебной и научной литературы	моделирование явления ядерного магнитного резонанса; Лабораторная работа №5: Исследование зависимости времени релаксации от свойств среды (на симуляторе); семинар № 4	
3.3 Методика и техника ЯМР	6	8	4		3	подготовка к семинарскому занятию (проработка лекций); решение индивидуальных задач; самостоятельное изучение учебной и научной литературы	Семинар № 5	
Итого по разделу		14	12		14			
4. Модуль 4. Биомagnetизм и другие методы								
4.1 Магнитные поля организма человека (биомagnetизм). Магнитотерапия: мифы и реальность	6	2	2		1,3	подготовка к лабораторному и семинарскому занятию (проработка лекций); подготовка отчета по лабораторным работам; решение индивидуальных задач; самостоятельное изучение учебной и научной литературы	Лабораторная работа № 6: Простейшая магнитометрия; Семинар № 6	
4.2 Перспективы развития магнитных технологий в медицине. Современные проблемы атомного и ядерного magnetизма		2				подготовка к семинарскому занятию (проработка лекций); самостоятельное изучение учебной и научной литературы	Семинар № 6	
4.3 Экзамен								
Итого по разделу		4	2		1,3			

Итого за семестр	34	34		36,3		экзамен	
Итого по дисциплине	34	34		36,3		экзамен	

## 5 Образовательные технологии

При реализации различных видов учебной работы наиболее эффективные результаты освоения дисциплины дают традиционные образовательные технологии, технологии проблемного обучения, интерактивные технологии, информационно-коммуникационные образовательные технологии.

1. Традиционные образовательные технологии ориентируются на организацию образовательного процесса, предполагающую прямую трансляцию знаний от преподавателя к студенту (преимущественно на основе объяснительно-иллюстративных методов обучения). Учебная деятельность студента носит в таких условиях, как правило, репродуктивный характер.

Формы учебных занятий с использованием традиционных технологий:

Информационная лекция - последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами (монолог преподавателя).

Семинар – беседа преподавателя и студентов, обсуждение заранее подготовленных сообщений по каждому вопросу плана занятия с единым для всех перечнем рекомендуемой обязательной и дополнительной литературы.

Практическое занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму.

Лабораторная работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов.

2. Технологии проблемного обучения – организация образовательного процесса, которая предполагает постановку проблемных вопросов, создание учебных проблемных ситуаций для стимулирования активной познавательной деятельности студентов.

Формы учебных занятий с использованием технологий проблемного обучения:

Проблемная лекция – изложение материала, предполагающее постановку проблемных и дискуссионных вопросов, освещение различных научных подходов, авторские комментарии, связанные с различными моделями интерпретации изучаемого материала.

Практическое занятие в форме практикума – организация учебной работы, направленная на решение комплексной учебно-познавательной задачи, требующей от студента применения как научно-теоретических знаний, так и практических навыков.

3. Интерактивные технологии – организация образовательного процесса, которая предполагает активное и нелинейное взаимодействие всех участников, достижение на этой основе лично значимого для них образовательного результата. Наряду со специализированными технологиями такого рода принцип интерактивности прослеживается в большинстве современных образовательных технологий. Интерактивность подразумевает субъект-субъектные отношения в ходе образовательного процесса и, как следствие, формирование саморазвивающейся информационно-ресурсной среды.

Формы учебных занятий с использованием специализированных интерактивных технологий:

Лекция «обратной связи» – лекция–провокация (изложение материала с заранее за-планированными ошибками), лекция-беседа, лекция-дискуссия.

Семинар-дискуссия – коллективное обсуждение какого-либо спорного вопроса, проблемы, выявление мнений в группе (межгрупповой диалог, дискуссия как спор-диалог).

4. Информационно-коммуникационные образовательные технологии – организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с

информацией.

Формы учебных занятий с использованием информационно-коммуникационных технологий:

Лекция-визуализация – изложение содержания сопровождается презентацией (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов).

Практическое занятие в форме презентации – представление результатов проектной или исследовательской деятельности с использованием специализированных программных сред.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Основная литература:**

1. Савельев, И. В. Курс общей физики. В 5 томах. Том 2. Электричество и магнетизм : учебное пособие для вузов / И. В. Савельев. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 344 с. — ISBN 978-5-507-49436-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/390626> (дата обращения: 13.03.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Основы ядерного магнитного резонанса : учебное пособие / М.П. Евстигнеев, А.О. Лантушенко, В.В. Костюков [и др.]. — Москва : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2022. — 247 с. - ISBN 978-5-9558-0414-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1858556> (дата обращения: 11.03.2026). – Режим доступа: по подписке.

### **б) Дополнительная литература:**

Полулях, С. Н. Введение в ядерный магнитный резонанс и магнитную релаксацию : учебное пособие / С.Н. Полулях. — Москва : ИНФРА-М, 2026. — 163 с. — (Высшее образование). — DOI 10.12737/textbook\_5c9263a272ad45.98037474. - ISBN 978-5-16-021526-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2145444> (дата обращения: 11.03.2026). – Режим доступа: по подписке.

### **в) Методические указания:**

Мирошкин, В. П. Магнитные материалы и приборы. Практикум : учебное пособие для вузов / В. П. Мирошкин, К. Г. Гареев. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 80 с. — ISBN 978-5-507-48499-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/385799> (дата обращения: 11.03.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### **г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

#### **Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
LibreOffice	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Adobe Reader	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Браузер Yandex	свободно распространяемое ПО	бессрочно

#### **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	<a href="https://host.megaprolib.net/MP0109/Web">https://host.megaprolib.net/MP0109/Web</a>

**9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа включают: Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

Учебная аудитория для проведения лабораторных работ включает: Лабораторные установки, измерительные приборы для проведения лабораторных работ:

1. Источник питания постоянного тока,
2. Мультиметр цифровой APPA 203,
3. Осциллограф двухканальный GOS-620 FG,
4. Измеритель магнитной индукции Ш1-8,
5. Катушки Гельмгольца,
6. Трансформатор с Ш-образным сердечником и замыкающим ярмом,
7. Установка для наблюдения динамической петли гистерезиса,
8. Установка для определения влияния упругих напряжений на намагничивание,
9. Электромагнит, для создания постоянного магнитного поля  $\sim 1$  Тл,
10. Установка для изучения размагничивающих полей.

Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации включают:

Интерактивная доска, мультимедийный проектор, экран.

Учебные аудитории для выполнения курсового проектирования, помещения для самостоятельной работы включают:

Персональные компьютеры с пакетом MS Office, MatLab, с выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования включает:

Стеллажи, сейфы для хранения учебного оборудования. Инструменты для ремонта оборудования.

## **Приложение 1 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

По дисциплине «Атомный и ядерный магнетизм» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся. Аудиторная самостоятельная работа студентов выполняется на занятиях семинарского типа по заданию преподавателя и под его контролем. Она предполагает выполнение лабораторных работ, семинары и написание контрольных работ.

Внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся заключается в проработке лекционного материала, решении индивидуальных домашних задач, подготовке к выполнению лабораторных работ, обработке результатов этих работ, а также в подготовке к семинарам и контрольным работам.

### **Подготовка к лабораторным работам**

Данный вид самостоятельной работы предполагает самостоятельную проработку обучающимся методического описания лабораторных работ и подготовку конспектов описаний данных работ перед проведением эксперимента.

После проведения эксперимента обучающийся на основании методического описания лабораторной работы самостоятельно проводит обработку экспериментальных данных и готовит отчет по работе.

#### *Примерные требования к отчету по лабораторным работам:*

В отчет по лабораторной работе должны быть включены следующие пункты:

- название лабораторной работы;
- цель работы;
- описание экспериментальной установки и порядок выполнения работы;
- экспериментальные результаты;
- анализ результатов работы;
- выводы.

#### *Требования к содержанию отдельных частей отчета в лабораторной работе*

*Описание экспериментальной установки и порядок выполнения работы.* В данном разделе приводится схема экспериментальной установки с описанием ее работы и подробно излагается порядок проведения эксперимента, процесс получения данных и способ их обработки. Для лабораторных работ, связанных с компьютерным моделированием физических явлений и процессов, необходимо в этом разделе описать математическую модель и компьютерные программы, моделирующие данные явления.

*Экспериментальные результаты.* В этом разделе приводятся непосредственно результаты, полученные в ходе проведения лабораторных работ: экспериментально или в результате компьютерного моделирования определенные значения величин, графики, таблицы, диаграммы. Обязательно необходимо оценить погрешности измерений.

*Анализ результатов работы.* Раздел отчета должен содержать подробный анализ полученных результатов, интерпретацию этих результатов на основе физических законов. Следует сравнить полученные результаты с известными литературными данными, обсудить их соответствие существующим теоретическим моделям. Если обнаружено несоответствие полученных результатов и теоретических расчетов или литературных данных, необходимо обсудить возможные причины этих несоответствий.

*Вывод.* В выводе кратко излагаются результаты работы: полученные экспериментально или теоретически значения физических величин, их зависимости от условий эксперимента или выбранной расчетной модели, указывается их соответствие или несоответствие физическим законам и теоретическим моделям, возможные причины несоответствия.

### Примерный перечень домашних заданий:

**Задача 1.** Волновая функция атома водорода в основном состоянии ( $1s$ ) имеет вид  $\psi = (\pi a_0^3)^{-1/2} \exp(-\frac{r}{a_0})$ , где  $a_0 = \frac{\hbar^2}{me^2} = 0.529 * 10^{-8} \text{ см}$  Плотность заряда

$\rho(x, y, z) = e|\psi|^2$ . Согласно статистической интерпретации волновой функции показать, что в указанном состоянии  $\langle r^2 \rangle = 3a_0^2$  и вычислить молярную диамагнитную восприимчивость атомарного водорода.

**Задача 2.** Парамагнитная соль содержит  $10^{22}$  ионов/см<sup>3</sup>; магнитный момент каждого иона равен  $1\mu\text{в}$ . 1) Вычислить, насколько число ионов с магнитными моментами, параллельными магнитному полю, будет превышать число ионов с антипараллельными моментами, если величина поля составляет  $10\ 000 \text{ Э}$ , а температура равна  $300 \text{ К}$ ; 2) вычислить намагниченность в том же поле.

**Задача 3.** Описать в спектроскопических обозначениях нормальное состояние трёхвалентного иона железа  $Fe^{3+}$  и определить  $g$ -фактор Ланде. Определить также магнитный момент иона  $Fe^{3+}$  (в магнетонах Бора).

**Задача 4.** Определить величину объёмной восприимчивости идеального газа при атмосферном давлении и комнатной температуре, предполагая, что каждая молекула газа имеет магнитный момент, равный одному магнетону Бора.

**Задача 5.** Определить энергию магнитной анизотропии монокристаллического диска, вырезанного из ферромагнитного кристалла кубической симметрии, плоскость которого совпадает с кристаллографической плоскостью (111). Предположить, что  $K_2 = 0$ .

**Задача 6.** Определить плотность поверхностной энергии  $180^\circ$  доменной стенки монокристалла железа в случаях: 1) плоскость границы параллельна кристаллографической плоскости (001); 2) плоскость границы параллельна кристаллографической плоскости (011). Использовать следующие данные:  $A$  (параметр обменного взаимодействия) =  $1.5 * 10^{-6}$  эрг/см,  $K_1$  (константа анизотропии) =  $5.0 * 10^5$  эрг/см<sup>3</sup>.

**Задача 7.** Определить толщину  $180^\circ$  доменной стенки в кобальте.  $A$  (параметр обменного взаимодействия) =  $0.75 * 10^{-6}$  эрг/см,  $K_u$  (константа анизотропии) =  $4.3 * 10^6$  эрг/см<sup>3</sup>.

**Задача 8.** Экспериментальная кривая намагничивания монокристаллического образца кремнистого железа, снятая в направлении [100], в единицах СИ представлена уравнением:  $H = (I^3 - 2I) * 10^4$ . Определить намагниченность насыщения  $I_s$  и первую константу анизотропии  $K_1$  материала.

**Задача 9.** Найти индукцию  $B$  магнитного поля, при которой имеет место электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) на частоте  $\nu = 10^{10}$  Гц. Фактор спектроскопического расщепления для электрона  $g = 2$ .

Конечно! Вот 10 задач по дисциплине «Атомный и ядерный магнетизм», сгруппированных по разделам курса:

**Задача 10.** В магнитно-резонансном томографе используется сверхпроводящий магнит с индукцией магнитного поля  $3 \text{ Тл}$ . Рассчитайте ларморову частоту протонного резонанса. Как изменится эта частота при увеличении поля до  $7 \text{ Тл}$ ?

**Задача 11.** Для гипертермии опухолей используют магнитные наночастицы магнетита ( $Fe_3O_4$ ). Оцените удельную мощность потерь (SAR) для частиц с намагниченностью насыщения  $M_s = 80 \text{ кА/м}$  в переменном поле с амплитудой  $H = 10 \text{ кА/м}$  и частотой  $f = 100 \text{ кГц}$ .

**Задача 12.** В эксперименте ЯМР сигнал свободной индукции затухает с постоянной времени  $T_2 = 50 \text{ мс}$ . Рассчитайте ширину линии резонанса в герцах. Как изменится ширина линии при уменьшении до  $T_2$  до  $10 \text{ мс}$ ?

**Задача 13.** При градиентном кодировании в МРТ градиент магнитного поля составляет  $G = 20 \text{ мТл/м}$ . Рассчитайте разницу в ларморовой частоте между точками,

отстоящими на  $\Delta x=5$  см вдоль направления градиента. Используйте значение гиромагнитного отношения для протонов.

**Задача 14.** Магнитоэнцефалограф (МЭГ) регистрирует магнитное поле нейронной активности мозга, составляющее  $B \approx 10\text{--}13$  Тл. Оцените соответствующий электрический ток в нейронном ансамбле, используя закон Био-Савара-Лапласа для кругового витка радиусом  $r=1$  см.

**Задача 15.** В методе магнитно-частичной визуализации (МРІ) используются суперпарамагнитные наночастицы. Рассчитайте броуновское время релаксации для частиц диаметром  $d=20$  нм в воде при  $T=310$  К

**Задача 16.** Сравните пространственное разрешение следующих методов:

- МРТ с полем 3 Тл,
- МЭГ,
- оптической когерентной томографии (ОКТ).

Укажите типичные значения разрешения для каждого метода и объясните, какие физические ограничения определяют эти значения.

### Перечень семинаров

1. Введение в физику магнитных явлений
2. Типы магнетиков, их природа
3. Сильный магнетизм и его медицинские приложения
4. Ядерный магнетизм и Магнитно-резонансная томография
5. Биомагнетизм и другие методы

## Приложение 2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

### а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
<b>ОПК-1: Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства приборов и комплексов широкого назначения</b>		
ОПК-1.1	Применяет знания математики в инженерной практике при моделировании	<p><b>Перечень теоретических вопросов к экзамену:</b>  <b>Вопросы к экзамену по дисциплине «Атомный и ядерный магнетизм»</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дайте определение магнитного момента. Как он связан с орбитальным и спиновым моментами электрона? Что такое магнетон Бора? Приведите его значение и формулу расчёта.</li> <li>2. Опишите механизм возникновения диамагнетизма. Приведите примеры диамагнетиков.</li> <li>3. В чём состоит суть парамагнетизма? Какие материалы относятся к парамагнетикам?</li> <li>4. Объясните физический смысл фактора Ланде. Как он рассчитывается для разных атомных состояний?</li> <li>5. Что такое магнитная восприимчивость? Как она зависит от температуры для парамагнетиков (закон Кюри)?</li> <li>6. Опишите модель ферромагнетизма Вейсса. Что такое молекулярное поле?</li> <li>7. Что такое доменная структура ферромагнетиков? Как она влияет на процесс намагничивания?</li> <li>8. Объясните явление гистерезиса в ферромагнетиках. Что характеризуют коэрцитивная сила и остаточная намагниченность?</li> <li>9. Опишите температурную зависимость намагниченности ферромагнетика. Что такое точка Кюри?</li> <li>10. Какие типы магнитов используются в МРТ? Сравните их преимущества и недостатки.</li> <li>11. Что такое сверхпроводимость? Почему сверхпроводящие магниты предпочтительны для МРТ?</li> <li>12. Объясните принцип работы градиентных катушек в МРТ. Как они создают</li> </ol>
ОПК-1.2	Применяет знания естественных наук в инженерной практике	
ОПК-1.3	Применяет общинженерные знания, в инженерной деятельности	

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>пространственное кодирование?</p> <p>13. Что такое гипертермия опухолей с использованием магнитных наночастиц? Опишите физический механизм нагрева.</p> <p>14. Какие материалы используются для создания магнитных наночастиц в медицине? Каковы их ключевые характеристики?</p> <p>15. Что такое суперпарамагнетизм? Почему он важен для биомедицинских применений?</p> <p>16. Как магнитные наночастицы могут использоваться для адресной доставки лекарств?</p> <p>17. Что такое SAR (удельная мощность поглощения) в контексте магнитной гипертермии? От каких параметров она зависит?</p> <p>18. Сформулируйте условие ядерного магнитного резонанса. Что такое ларморова частота?</p> <p>19. Что такое гиромагнитное отношение? Приведите значения для протона и других ядер.</p> <p>20. Опишите процессы продольной (T1) и поперечной (T2) релаксации. Как они влияют на сигнал МРТ?</p> <p>21. Что такое спин-эхо? Как последовательность спин-эхо позволяет измерить T2?</p> <p>22. Объясните принцип фазового и частотного кодирования в МРТ. Как градиенты магнитного поля используются для пространственной локализации?</p> <p>23. Что такое взвешенные изображения в МРТ (T1-взвешенные, T2-взвешенные)? Как параметры сканирования влияют на тип взвешенности?</p> <p>24. Что такое химический сдвиг в ЯМР? Как он используется в медицинской диагностике?</p> <p>25. Объясните принцип диффузионно-взвешенной МРТ. Что такое b-фактор?</p> <p>26. Что такое функциональная МРТ (фМРТ)? Какие физиологические процессы она измеряет?</p> <p>27. Что такое биомагнетизм? Приведите примеры биомагнитных полей в организме человека.</p> <p>28. Опишите принцип работы магнитоэнцефалографии (МЭГ). В чём её</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>преимущества перед ЭЭГ?</p> <p>29. Что такое СКВИД (сверхпроводящий квантовый интерферометр)? Как он используется для измерения слабых магнитных полей?</p> <p>30. Что такое магнитно-частичная визуализация (МРІ)? В чём её отличия от МРТ?</p> <p><b>Примерные практические задания для экзамена:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рассчитайте магнитный момент атома водорода в основном состоянии. Выразите результат в магнетонах Бора.</li> <li>2. Определите магнитную восприимчивость парамагнетика при температуре <math>T = 300</math> К, если постоянная Кюри <math>C = 1,2 \times 10^{-3}</math> К·м<sup>3</sup>/моль. Как изменится восприимчивость при нагревании до 400 К?</li> <li>3. Для ферромагнетика с точкой Кюри <math>T_C = 770</math> К постройте график зависимости намагниченности от температуры в диапазоне 300–800 К. Укажите характерные области на графике.</li> <li>4. Рассчитайте коэрцитивную силу <math>H_c</math> для материала, если петля гистерезиса имеет ширину 200 А/м на оси Н. Что можно сказать о типе материала (магнитомягкий/магнитожёсткий)?</li> <li>5. Оцените магнитный момент иона Fe<sup>3+</sup> с конфигурацией <math>3d^5</math>, предполагая, что все спины параллельны.</li> <li>6. В установке для магнитной гипертермии используются наночастицы магнетита (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) с намагниченностью насыщения <math>M_s = 90</math> кА/м. Рассчитайте SAR (удельную мощность поглощения), если амплитуда переменного поля <math>H = 15</math> кА/м, частота <math>f = 120</math> кГц, а мнимая часть восприимчивости <math>\chi'' = 0,15</math>.</li> <li>7. Определите критический размер <math>dc</math> суперпарамагнитных частиц магнетита, если энергия анизотропии <math>K = 13 \times 10^3</math> Дж/м<sup>3</sup>, а температура <math>T = 310</math> К.</li> <li>8. Рассчитайте силу, действующую на магнитную наночастицу радиусом <math>r = 10</math> нм с намагниченностью <math>M = 50</math> кА/м в градиенте поля <math>\nabla B = 10</math> Тл/м.</li> <li>9. Оцените глубину проникновения переменного магнитного поля частотой <math>f = 50</math> кГц в биологическую ткань с проводимостью <math>\sigma = 0,2</math> См/м</li> <li>10. Для сверхпроводящего магнита МРТ с индукцией <math>B = 5</math> Тл рассчитайте плотность</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>тока в обмотке, если радиус соленоида <math>R=0,5</math> м, а число витков <math>N=1000</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>11. Рассчитайте ларморову частоту для ядер <math>^{13}\text{C}</math> (<math>\gamma=6,73 \times 10^7 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Тл}^{-1}</math>) в поле <math>B=3</math> Тл. Как изменится частота для <math>^1\text{H}</math> при том же поле?</li> <li>12. В эксперименте ЯМР сигнал затухает с постоянной времени <math>T_2=80</math> мс. Рассчитайте ширину линии резонанса в герцах</li> <li>13. Для МРТ-сканирования с градиентом <math>G=25</math> мТл/м определите разницу в ларморовой частоте между точками на расстоянии <math>\Delta x=3</math> см вдоль градиента</li> <li>14. Постройте график зависимости сигнала спин-эхо от времени эха <math>TE</math> для образца с <math>T_2=100</math> мс. Укажите, как по данным графика определить <math>T_2</math>.</li> <li>15. Рассчитайте время <math>T_1</math> релаксации, если намагниченность восстанавливается от 0 до 63 % своего равновесного значения за 1,5 с. Объясните физический смысл <math>T_1</math>.</li> <li>16. В диффузионно-взвешенной МРТ используйте b-фактор <math>b=800</math> с/мм<sup>2</sup>. Рассчитайте коэффициент диффузии <math>D</math>, если сигнал уменьшился на 40 % относительно базового изображения</li> <li>17. Оцените магнитное поле <math>B</math> нейронного тока <math>I=1</math> мкА на расстоянии <math>r=2</math> см, используя закон Био-Савара-Лапласа для кругового витка. Сравните с чувствительностью СКВИДа (10–15 Тл).</li> <li>18. Рассчитайте броуновское время релаксации <math>\tau_B</math> для наночастиц диаметром <math>d=15</math> нм в воде при <math>T=310</math> К. Вязкость <math>\eta=0,7 \times 10^{-3}</math> Па·с</li> <li>19. В методе МРІ определите частоту модуляции поля, если время релаксации частиц <math>\tau=1</math> мс. Объясните, почему частота должна быть порядка <math>1/\tau</math>.</li> <li>20. Сравните пространственное разрешение МРТ (3 Тл), МЭГ и ОКТ. Приведите типичные значения (например, например, 1 мм, 5 мм, 10 мкм) и объясните, какие физические ограничения определяют эти значения</li> </ol>
<b>ОПК-3: Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики методов и средств технических измерений в приборостроении</b>		
ОПК-3.1	Выбирает и использует соответствующие ресурсы,	<b>Примерные лабораторные работы:</b> 1. Исследование магнитного поля различных источников

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	современные методики и оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Определение магнитной восприимчивости диа- и парамагнетика</li> <li>3. Изучение петли гистерезиса ферромагнитных материалов</li> <li>4. Компьютерное моделирование явления ядерного магнитного резонанса</li> </ol>
ОПК-3.2	Обрабатывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Исследование зависимости времени релаксации от свойств среды (на симуляторе)</li> <li>6. Простейшая магнитометрия</li> </ol>

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточной аттестацией по дисциплине «Атомный и ядерный магнетизм» является экзамен в 6 семестре

Экзамен проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

**Показатели и критерии оценивания экзамена:**

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.