

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 22.07.2024 16:05:28
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Б.Б.Педько

«21»

мая

2024 г.

Рабочая программа дисциплины

БИОФИЗИКА

Резонансные методы исследования вещества

Закреплена за кафедрами: **Физики конденсированного состояния**

Направление подготовки: **03.03.02 Физика**

Направленность (профиль): **Медицинская физика**

Квалификация: **Бакалавр**

Форма обучения: **очная**

Семестр: **8**

Программу составил(и):

канд. физ.-мат. наук, доц., Семенова Е.М.

Тверь, 2024

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Приобретение обучающимися теоретических знаний и практических навыков, необходимых для применения методов ядерного магнитного резонанса, ядерного квадрупольного резонанса, электронного парамагнитного резонанса и ядерного гамма-резонанса для исследования физических свойств материалов.

Задачи:

- приобретение обучающимися базовых теоретических знаний о физических основах резонансных методов исследования
- получение представлений о способах реализации этих методов в экспериментальных установках
- изучение методик интерпретации данных, полученных резонансными методами исследования

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В.08Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Математический анализ

Дифференциальные уравнения

Теория вероятностей и математическая статистика

Векторный и тензорный анализ

Аналитическая геометрия и линейная алгебра

Программирование

Обработка и анализ данных физического эксперимента

Численные методы и математическое моделирование

Электричество и магнетизм

Электродинамика

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Преддипломная практика

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе:	
аудиторные занятия	52
самостоятельная работа	20

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-3.1: Осуществляет анализ данных с применением математических методов и информационных технологий

ПК-3.2: Использует систематизированные теоретические и практические знания для определения и решения профессиональных задач в области медицинской физики

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
зачеты	8

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. ЯМР и ЯКР					
1.1	Введение в резонансные методы исследования материалов. Характерные энергии. Характеристики ядер. Спин и квадрупольный момент ядра. Примеры ядер, используемых в ЯМР/ЯКР спектроскопии	Лек	8	2	Л1.2 Л1.1Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5	
1.2	Прецессия магнитного момента ядра в постоянном магнитном поле. Переменное магнитное поле. Основные радиочастотные импульсы. Метод спинового эха.	Лек	8	2	Л1.2 Л1.1Л2.2 Л2.5	
1.3	Фурье-спектроскопия.	Лек	8	2		
1.4	ЯМР-спектроскопия. Устройство спектрометра ЯМР. Квадратурное детектирование. Датчик ЯМР. Спин-решеточная и спин-спиновая релаксация. Уравнение Блоха. Линии ЯМР. Химический сдвиг.	Лек	8	4	Л1.1	
1.5	Ядерный квадрупольный резонанс (ЯКР). Градиент электрического поля (ГЭП). Энергетические уровни для ядер со спином $I = 3/2$.	Лек	8	2		
1.6	Применение ЯМР в исследовании материалов	Лек	8	2	Л1.2 Л1.1Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5	
1.7	Выполнение практических заданий по теме "Ядерный магнитный резонанс и ядерный квадрупольный резонанс "	Пр	8	10		
1.8	Самостоятельная работа по изучению теоретического материала и выполнение практических заданий по теме "Ядерный магнитный резонанс и ядерный квадрупольный резонанс "	Ср	8	10		

	Раздел 2. ЭПР					
2.1	Основы метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Тонкая структура линий ЭПР. Зеемановское расщепление для спина $J=3/2$. Эффект кристаллического поля.	Лек	8	2	Л2.3 Л2.1	
2.2	Устройство спектрометра ЭПР. Примеры применения ЭПР-спектроскопии в физике конденсированного состояния.	Лек	8	2		
2.3	Выполнение практических заданий по теме Электронный пара-магнитный резонанс	Пр	8	4		
2.4	Самостоятельная работа по изучению теоретического материала и выполнению практических заданий в рамках темы Электронный пара-магнитный резонанс	Ср	8	6		
	Раздел 3. Мессбауэровская спектроскопия					
3.1	Эффекта Мессбауэра. Схема ядерных энергетических уровней и переходов. Ядра, применяемые в мессбауэровской спектроскопии. Методика эксперимента.	Лек	8	4		
3.2	Магнитное расщепление. Математическая обработка мессбауэровских спектров. Применение мессбауэровской спектроскопии для исследования магнитной структуры магнетиков.	Лек	8	4		
3.3	Выполнение практических заданий по теме Мессбауэровская спектроскопия	Пр	8	8		
3.4	Самостоятельная работа по изучению темы Мессбауэровская спектроскопия	Ср	8	4		
	Раздел 4. Резонансные методы в медицине					
4.1	метод магнитно-резонансной томографии	Пр	8	4		

1	Активное слушание
2	Технологии развития критического мышления
3	Информационные (цифровые) технологии

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

См. Приложение

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Модуль 1

Работа на практических занятиях - 20 баллов

Контрольная работа -20 баллов

Модуль 2

Работа на практических занятиях - 20 баллов

Доклад по заданной теме - 10 баллов

Итоговая контрольная работа - 30 баллов

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Полулях, Введение в ядерный магнитный резонанс и магнитную релаксацию, Москва: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2021, ISBN: 978-5-16-016715-2, URL: https://znanium.com/catalog/document?id=369151
Л1.2	Кадменский С. Г., Ядерный магнитный резонанс и ямр-томография, Воронеж: ВГУ, 2012, ISBN: , URL: https://e.lanbook.com/book/358061

9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Черкасов В. К., Курский Ю. А., Кожанов К. А., Шавырин А. С., Бубнов М. П., Куропатов В. А., Методы ЭПР и ЯМР в органической и элементоорганической химии, Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2010, ISBN: , URL: https://e.lanbook.com/book/152864
Л2.2	Агишев А. Ш., Шишкина И. П., Агишева М. А., Основы квантовой механики и ЯМР-спектроскопии, Казань: КНИТУ, 2013, ISBN: 978-5-7882-1336-1, URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=73341
Л2.3	Краснокутская Е. А., Филимонов В. Д., ЯМР-спектроскопия, масс-спектрометрия, Томск: ТПУ, 2013, ISBN: , URL: https://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=45172
Л2.4	Шавров В. Г., Щеглов В. И., Ферромагнитный резонанс в условиях ориентационного перехода, Москва: Физматлит, 2018, ISBN: 978-5-9221-1806-4, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=612825

Л2.5	Роберте Д., Блюменфельд Л. А., Ядерный магнитный резонанс, Москва: Издательство иностранной литературы, 1961, ISBN: 978-5-4458-5517-0, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=222467
------	---

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	OpenOffice
5	Origin 8.1 Sr2

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	Репозиторий ТвГУ
2	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)
3	ЭБС ТвГУ
4	ЭБС BOOK.ru
5	ЭБС «Лань»
6	ЭБС IPRbooks
7	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
8	ЭБС «ЮРАИТ»
9	ЭБС «ZNANIUM.COM»

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-40	комплект учебной мебели, вольтметр, экран настенный, контроллер, сканеры для вольтметра, двухфазные Lock-in усилители, компьютеры, установка "Мишень"
3-28	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран настенный

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

ПРИЛОЖЕНИЕ

Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

Типовые задания для выполнения на практических занятиях

Ядерный магнитный резонанс (ЯМР)

1. Понятие намагниченности вещества. Магнитный момент молекулы.
2. Природа появления магнитных свойств. Классификация веществ по магнитной восприимчивости.
3. Поведение магнитного момента во внешнем магнитном поле. Энергия взаимодействия.
4. В чем сущность метода ЯМР (основные положения)?
5. Охарактеризуйте понятие “прецессия”.
6. Напишите уравнение для момента прецессии.
7. Явления диамагнитного экранирования и дезэкранирования (уравнения, смысл этих явлений).
8. Понятие эквивалентных ядер с точки зрения ядерного спина.
9. Спин-спиновое взаимодействие. Его проявление в спектре ЯМР.

Тонкая структура спектра ЯМР

1. Понятие эквивалентных ядер с точки зрения ядерного спина.
2. Спин-спиновое взаимодействие. Его проявление в спектре ЯМР.
3. Сколько в молекуле этилбензола групп эквивалентных ядер, имеющих спиновое число отличное от нуля?

Электронный парамагнитный резонанс

1. Поведение спина электрона во внешнем магнитном поле.
2. В чем сущность метода ЭПР (основные положения)?
3. Что характеризует оператор Гамильтона в уравнении для магнетона Бора?
4. Уравнение Ландэ. Справедливо ли оно для ядер?
5. Фактор Ландэ (g – фактор). Что характеризует g – фактор?
6. В чем отличия электронов от ядер в плане спинового и орбитального взаимодействия, движения?
7. Что характеризует полный момент количества движения?
8. Опишите три возможных случая движения электрона в реальных системах с учетом спин-орбитального взаимодействия..
9. Как появляется сверхтонкая структура в спектре ЭПР?
10. Что является обязательным условием проявления электронно – ядерного спинового взаимодействия?
11. Величина сверхтонкого расщепления, уравнение для нее.
12. Понятие эффективного заряда атома, в чем его смысл?

Перечень вопросов к зачету:

1. Какие ядра обладают магнитным моментом?
2. Чем определяется расщепление уровней в ЯМР?
3. Что такое квадрупольный момент ядра?
4. Чем определяется энергия квадрупольного взаимодействия?
5. Для каких ядер возможно наблюдение эффекта ЯКР? Для каких ЯКР не наблюдается?
6. Наблюдается ли ЯКР в жидкостях?
7. Какова величина расщепления уровней энергии ядра со спином $I=3/2$ (в кельвинах), если в эксперименте наблюдается сигнал ЯКР на частоте 30 МГц?

8. Как соотносятся частоты ЯМР изотопов одного ядра?
9. Как соотносятся квадратурные частоты изотопов одного ядра?
10. Каково соотношение интенсивностей ЯМР сигналов двух изотопов меди?
11. Изменяется ли резонансная частота ЯКР с температурой?
12. Устройство спектрометра ЯМР.
13. Написать выражение для резонансной частота колебательного контура.
14. Сколько резонансных линий наблюдается в ЯКР спектре водорода $^1\text{H}(I=1/2)$, лития $^7\text{Li}(I=3/2)$?
15. Какое выражение определяет частоту ЯМР?
 16. а) $\omega = \omega_0 \sqrt{1 + \eta^2 / 3}$; б) $\omega = \frac{3e^2 Qq}{2I(2I - 1)}$; в) $\omega = \frac{e}{2mc} H$; г) $\omega = \gamma \frac{H^2}{2e}$
17. Каково отношение заселённости уровней энергии ядра водорода, находящегося в магнитном поле, если $T = 50 \text{ К}$ и резонансная частота 50 МГц ?
18. Сколько резонансных линий наблюдается в ЯМР спектре для ядер со спином $1/2$ и $3/2$, если: а) $GЭП = 0$; б) $GЭП \neq 0$?
19. На какой частоте будет наблюдаться сигнал для ядер фосфора ^{31}P , если эксперимент проводится в магнитном поле 10 Т ?
20. Каково соотношение частот ЯКР ядер ^{63}Cu и ^{65}Cu ?
21. Для соединения NaCl какие спектры могут быть получены ($I(^{23}\text{Na}) = 3/2$, $I(^{35}\text{Cl}) = 3/2$)?
 - а) ЯКР ^{23}Na , ЯМР ^{35}Cl ;
 - б) ЯМР ^{23}Na , ЯКР ^{35}Cl ;
 - в) ЯМР ^{23}Na , ЯМР ^{35}Cl ;
 - г) ЯКР ^{23}Na , ЯКР ^{35}Cl .
21. Написать выражения для спинового, орбитального и полного момента количества движения электрона.
22. Написать выражение для спектроскопического фактора Ланде.
23. Что такое тонкая структура линий ЭПР?
24. Что такое кристаллическое поле и как оно влияет на положение энергетических уровней?
25. Устройство спектрометра ЭПР.
22. 26. Физический смысл эффекта Мессбауэра.
23. 27. Нарисовать схему энергетических уровней и переходов в мессбауэровском эксперименте.
24. 28. Устройство спектрометра для измерения мессбауэровских спектров.
25. 29. Основные физические параметры, определяемые из мессбауэровских спектров.
26. 30. Как с помощью мессбауэровской спектроскопии определить величину магнитного поля в магнетике?