# Основы ядерного магнитного резонанса

**Лекторы:**
Михаил Зубков

**Язык:**
Русский

**Трудоемкость:**
3 з.е.

**Форма контроля:**
Экзамен

**Образовательная программа:**
Беспроводные технологии (магистратура)
1 семестр

**Пререквизиты:**
Линейная алгебра
Математический анализ
Физика: атомная физика
Квантовая механика

| Лекции (ак.час)* | Практические занятия (ак.час) | Лабораторные занятия (ак.час) |
|---|---|---|
| 22 | 8 | |
| *1 академический час = 45 минутам | | |

В рамках курса преподаются основы квантовых магнитных явлений, наблюдаемых в радиочастотном диапазоне. Рассматриваются основы метода спектроскопии ядерного магнитного резонанса, в частности, приводится обоснование эффекта магнитного резонанса, его феноменологическое описание, практические методы его наблюдения и их принципы их применения в области анализа молекулярной структуры и динамики. В рамках курса предлагаются к рассмотрению расширения описания эффекта ядерного магнитного резонанса, включающие эффекты релаксации, макроскопического движения и диффузии, а также основы многомерной спектроскопии и томографии.

## Содержание курса

### 1 семестр магистратуры

### Основы ядерного магнитного резонанса

## Структура курса

| Разделы | Лекции (ак.ч.) | Практика (ак.ч.) |
|---|---|---|
| 1. Макроскопическая ядерная намагниченность в постоянном внешнем магнитном поле, уравнения Блоха, Ларморова прецессия, компоненты намагниченности. Вращающаяся система координат, уравнения Блоха во вращающейся системе координат. | 2 | 2 |
| 2. Взаимодействие переменного поля с намагниченностью, нутация, угол поворота. Регистрация сигнала ЯМР, спад свободной индукции. | 2 | |
| 3. Система S=1/2, заселенности уровней, равновесная и неравновесная намагниченность. Система двух связанных спинов IS. Уравнения Соломона. Скорость релаксации, связь с молекулярным движением. Механизмы релаксации. Поперечная релаксация. Суммарная намагниченность. | 2 | 2 |
| 4. Сигнал и спектр ЯМР. Характеристики спектра ЯМР. Разрешение спектра. Ширина спектра. Линии поглощения и дисперсии. Фаза спектра. Коррекция фазы. Связь релаксации и формы линии ЯМР. Связь формы линии с однородностью поля. Релаксация T2*. Релаксация при наличии обратной связи с приёмным контуром. | 2 | |
| 5. Одноимпульсная спектроскопия. Последовательность 90-90. Последовательное насыщение. Угол Эрнста. Инверсия-восстановление. Спиновое эхо. Последовательность 90-90. Последовательность 90-180. Релаксация сигнала эха. Последовательность с многократной рефокусировкой. Стимулированное эхо. Сигналы в последовательности из трёх импульсов. | 4 | |
| 6. Градиенты магнитного поля. Уравнения Блоха с учетом градиентов магнитного поля. Пространственная чувствительность метода ЯМР. Метод обнуления моментов градиентов. Измерение скорости фазовым методом. | 2 | |
| 7. Эффективный градиент. Влияние диффузии на амплитуду сигнала. Величина b. Величина b для постоянного и импульсного градиента. Измерение анизотропной диффузии методом ЯМР. Оценка степени анизотропности среды. Нестандартные методы измерения диффузии. Фоновые градиенты и устранение их влияния. | 2 | 2 |
| 8. Частотная и временные области. Соотношение между длительностью и спектром импульса. Выделение слоя. Двумерная томография. Частотное и фазовое кодирование. Последовательности SE и GRE, их параметры и связь с контрастом и разрешением изображения. k-пространство. | 2 | |
| 9. Последовательности с инверсией и многократной рефокусировкой намагниченности. Последовательности для томографии в квазистационарном состоянии. Одноимпульсные томографические последовательности. | 2 | |
| 10. Волновые функции системы спинов. Матрицы плотности. Операторы спина и намагниченности. Операторы вращения и поворота. Временная эволюция. Спиновое эхо в формализме матриц плотности. Операторное представление формализма матриц плотности. | 2 | 2 |
| 11. Матрицы плотности системы спинов AS. Перенос когерентности. INEPT последовательность. Циклирование фазы. Примеры циклирования фазы. Обобщенное описание циклирования фазы. Уровни когерентности. Методы многомерной спектроскопии ЯМР. | 2 | |

## Рекомендуемые ресурсы


1. Chizhik V.I. et al. Magnetic resonance and its applications / Springer International Publishing, 2014.
2. Keeler J., Understanding NMR spectroscopy / Wiley, 2005.
3. Levitt M.H., Spin dynamics: basics of nuclear magnetic resonance / John Wiley & Sons, 2008.
4. Cavanagh J. et al. Protein NMR spectroscopy / Academic Press, 2006
5. Ernst R.R. et al. Principles of nuclear magnetic resonance in one and two dimensions/Clarendon Press, 1990


## Политика оценивания

**Оценочные средства дисциплины: коллоквиум, экзамен.**

Коллоквиум представляет собой тест по теоретической части из 25 вопросов с 4 вариантами ответа каждый, оцениваемый по пятибалльной шкале:
0 – 12 правильных ответов – оценка 2
13 – 15 правильных ответов – оценка 3
16 – 18 правильных ответов – оценка 4
19 – 25 правильных ответов – оценка 5

Экзамен: проводится в устном формате, без ограничения пользования материалами. На экзамене выбирается билет с 2 вопросами (по материалам за весь курс). По результатам ответа выставляется оценка за каждый из вопросов. Итоговая оценка за теоретическую часть — среднее арфиметическое из оценок за каждый вопрос и за коллоквиум, то есть билет 1 + билет 2 + тест за коллоквиум/3.

В случае если практическую часть дисциплины ведет другой преподаватель, оценка выставляется им. В таком случае, итоговая оценка за курс — среднее из оценки за теоретическую часть (округленную уже) и оценки за практическую часть.