

*Приложение к приказу первого проректора  
по учебной и научной работе*

от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

**Правительство Российской Федерации  
Санкт-Петербургский государственный университет**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
Импульсные методы ЯМР в твердых телах  
*Pulse solid state NMR*

**Язык(и) обучения**

Русский

Трудоёмкость (границы трудоёмкости) в зачетных единицах: 3

Регистрационный номер рабочей программы: \_\_\_\_\_

Санкт-Петербург

2014

## **Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

### **1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Передать студентам общее представление импульсных методах исследований твердых тел; показать особенности различных методик и области применения для исследования физических свойств материалов; научить извлекать базовую информацию о структуре и электронных свойствах исследуемых материалов из данных ЯМР и использовать полученные навыки для подготовки магистерской диссертации и в последующей профессиональной деятельности.

### **1.2. Требования к подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)**

Для успешного освоения программы дисциплины «Резонансные методы исследования конденсированных сред» студентам необходимо прослушать курсы лекций «Теория спектров ЯМР» и «Спектроскопия ЯМР», «Резонансные методы исследований конденсированных сред».

### **1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)**

В результате освоения дисциплины студенты должны:

- знать теоретические основы методов ядерного магнитного резонанса в твердых телах;
- знать методики исследования структурных и электронных свойств материалов;
- знать методики исследования подвижности легких атомов в решетке кристалла;
- уметь разрабатывать идеологию эксперимента на современном оборудовании для исследования вышеперечисленным методом.

### **1.4. Перечень активных и интерактивных форм учебных занятий**

- Информационная лекция – последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами (монолог преподавателя) (24 часов).
- Лекция-визуализация – изложение содержания сопровождается презентацией (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов) (4 часа).

## Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий

### 2.1. Организация учебных занятий

#### 2.1.1 профиль: Магнитный резонанс. Физические аспекты и приложения

Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся																		
Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Контактная работа обучающихся с преподавателем											Самостоятельная работа				Объём активных и интерактивных форм учебных занятий	Трудоёмкость	
	лекции	семинары	консультации	практические занятия	лабораторные работы	контрольные работы	коллоквиумы	текущий контроль	промежуточная аттестация	итоговая аттестация	под руководством преподавателя	в присутствии преподавателя	сам. раб. с использованием методических материалов	текущий контроль (сам.раб.)	промежуточная аттестация (сам.раб.)			итоговая аттестация (сам.раб.)
<b>ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ</b>																		
<b>очная форма обучения</b>																		
Семестр 3	28		2						2						14		<b>32</b>	2
	2-30		2-30						2-30						2-30			
<b>ИТОГО</b>	<b>28</b>		<b>2</b>						<b>2</b>						<b>14</b>		<b>2</b>	

Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации						
Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Формы текущего контроля успеваемости		Виды промежуточной аттестации		Виды итоговой аттестации (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ)	
	Формы	Сроки	Виды	Сроки	Виды	Сроки
<b>ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ</b>						
<b>очная форма обучения</b>						
Семестр 3			экзамен, устно, традиционная форма	по графику промежуточной аттестации		

## 2.1.1 профиль: Экспериментальная физика

Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся																	
Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Контактная работа обучающихся с преподавателем											Самостоятельная работа				Объём активных и интерактивных форм учебных занятий	Трудоёмкость
	лекции	семинары	консультации	практические занятия	лабораторные работы	контрольные работы	коллоквиумы	текущий контроль	промежуточная аттестация	итоговая аттестация	под руководством преподавателя	в присутствии преподавателя	сам. раб. с использованием методических материалов	текущий контроль (сам.раб.)	промежуточная аттестация (сам.раб.)		
<b>ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ</b>																	
<b>очная форма обучения</b>																	
Семестр 3	28		2					2						14		<b>32</b>	2
	2-30		2-30					2-30						2-30			
<b>ИТОГО</b>	<b>28</b>		<b>2</b>					<b>2</b>						<b>14</b>			<b>2</b>

Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации						
Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Формы текущего контроля успеваемости		Виды промежуточной аттестации		Виды итоговой аттестации (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ)	
	Формы	Сроки	Виды	Сроки	Виды	Сроки
<b>ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ</b>						
<b>очная форма обучения</b>						
Семестр 3			экзамен, устно, традиционн ая форма	по графику промеж уточной аттестаци и		

## 2.2. Структура и содержание учебных занятий

Основной курс      Основная траектория      Очная форма обучения

Период обучения (модуль): Семестр 3

№ п/п	Наименование темы (раздела, части)	Вид учебных занятий	Количество часов
1	Основные понятия: представление матрицы плотности и когерентности; когерентности и заселенности; оператор матрицы плотности и тепловое равновесие; эволюция матрицы плотности.	Лекции	4
2	Взаимодействия ядерных спинов: химический сдвиг и анизотропия химического сдвига; диполь-дипольные взаимодействия; квадрупольные взаимодействия.	Лекции	4
3	Вращение под магическим углом (MAS). Боковые полосы. Ротор-эхо. Подавление боковых полос. MAS для гомоядерного диполь-дипольного взаимодействия.	Лекции	2
4	Теория среднего гамильтониана. Переключающаяся система координат. Многоимпульсные развязывающие последовательности.	Лекции	2
5	Кросс-поляризация. Теория и особенности эксперимента. Кросс-поляризация и MAS. Солид-эхо.	Лекции	2
6	Исследование гомоядерного диполь-дипольного взаимодействия. Последовательность DRAMA	лекции	2
7	Исследование гетероядерного диполь-дипольного взаимодействия. Спин-эхо двойной резонанс. REDOR.	Лекции	2
8	Исследование квадрупольного взаимодействия. MAS. Двойное вращение. Многоквантовый MAS. Квадрупольная нутация. Кросс-поляризация.	Лекции	2
9	Исследование магнитного экранирования. Измерение анизотропии химического сдвига. MAS с развязывающей импульсной последовательностью. Вращение под переменным углом.	Лекции	2
10	Методики исследования молекулярной подвижности в твердых телах. Анализ формы линии. Релаксационные измерения. Обменные эксперименты. Двумерные обменные спектры.	Лекции	2
11	Измерение коэффициента диффузии. Импульсный и статический градиент. Стимулированное эхо. Ограниченная диффузия.	Лекции	2
12	Исследования подвижности водорода в гидридах металлов.	Лекции	2
13	Исследование цеолитов методом ЯМР.	Лекции	2
14	Исследование пористых материалов методом ЯМР $^{129}\text{Xe}$ .	Лекции	2

### Раздел 3. Обеспечение учебных занятий

#### 3.1. Методическое обеспечение

##### 3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины студент помимо конспекта должен изучить некоторые главы из книг, приведенных в списке литературы.

##### 3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы

Для самостоятельной работы студенты должны обеспечиваться книгами из перечня литературы. Для подготовки к разделу 6, студентам предоставляются статьи в формате PDF. Конспективное изложение разделов интернет ресурс, содержащий адаптированное изложение материала курса <http://nmrportal.ru/>

##### 3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания

Промежуточная аттестация проводится по стандартной методике. Экзаменационный билет содержит три вопроса (два теоретических из списка, приведенного в пункте 3.1.4 и один – по статье, посвященной исследованию твёрдых тел, выполненных одним их методов, изучаемых в данном курсе). На теоретические вопросы студент должен привести развернутый план ответа с необходимыми определениями, иллюстрациями, формулами и зависимостями. В устной форме студент, пользуясь составленным планом, должен связно и исчерпывающе изложить содержание ответа. Для ответа на третий вопрос по статье студент должен четко изложить постановку задачи, используемые методы, полученные результаты, должен уметь вести научную дискуссию с преподавателем по тематике статьи.

В ходе ответа преподавателем могут быть заданы студенту уточняющие вопросы по билету. На подготовку конспекта ответа по билету отводится не более 1 часа без использования конспекта или других информационных материалов. На обдумывание ответа на дополнительные вопросы не более 10 минут на каждый. В общей сложности ответ студента не должен превышать 40 минут без учета времени на обдумывание дополнительных вопросов.

Ответ студента оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

При повторной сдаче экзамена ответ студента оценивается на «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

При передаче с комиссией ответ на билет предоставляется в развернутой письменной форме, включая ответы на уточняющие и дополнительные вопросы. Ответ студента оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

##### 3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)

#### **Перечень вопросов к экзамену для проведения промежуточной аттестации студентов**

- 1) Представление матрицы плотности и когерентности; когерентности и заселенности.
- 2) Оператор матрицы плотности и тепловое равновесие; эволюция матрицы плотности.
- 3) Тензор магнитного экранирования (гамильтониан, форма линии в поликристалле, понятие изотропного химического сдвига, анизотропии, параметра асимметрии).

- 4) Диполь-дипольные взаимодействия ядерных спинов в твердых телах (гамильтониан, уровни энергии, случай выделенной пары, форма линии в поликристалле).
- 5) Квадрупольные взаимодействия (гамильтониан, влияние квадрупольных взаимодействий на спектр ЯМР, форма линии в поликристалле для целых и полуцелых спинов).
- 6) Вращение под магическим углом (MAS). Боковые полосы.
- 7) Ротор-эхо. Подавление боковых полос.
- 8) MAS для гомоядерного диполь-дипольного взаимодействия.
- 9) Теория среднего гамильтониана. Переключающаяся система координат.
- 10) Многоимпульсные последовательности. MREV-4, WHH.
- 11) Кросс-поляризация. Теория и особенности эксперимента.
- 12) Кросс-поляризация и MAS. Солид-эхо.
- 13) Исследование гомоядерного диполь-дипольного взаимодействия. Последовательность DRAMA
- 14) Исследование гетероядерного диполь-дипольного взаимодействия. Спин-эхо двойной резонанс. REDOR.
- 15) Исследование квадрупольных взаимодействий с MAS. Двойное вращение.
- 16) Многоквантовый MAS. Квадрупольная нутация. Кросс-поляризация.
- 17) Измерение анизотропии химического сдвига. MAS с развязывающей импульсной последовательностью.
- 18) Эксперименты с вращением под переменным углом.
- 19) Методики исследования молекулярной подвижности в твердых телах: Анализ формы линии. Релаксационные измерения.
- 20) Методики исследования молекулярной подвижности в твердых телах: Обменные эксперименты. Двумерные обменные спектры.
- 21) Измерение коэффициента диффузии. Импульсный и статический градиент. Стимулированное эхо. Ограниченная диффузия.
- 22) Исследования подвижности водорода в гидридах металлов.
- 23) Исследование цеолитов методом ЯМР.
- 24) Исследование пористых материалов методом ЯМР  $^{129}\text{Xe}$ .

3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса

#### **Анкета-отзыв**

Просим Вас заполнить анкету-отзыв по прочитанной дисциплине. Обобщенные данные анкет будут использованы для ее совершенствования. По каждому вопросу проставьте соответствующие оценки по шкале от 1 до 10 баллов (**обведите** выбранный Вами балл). В случае необходимости впишите свои комментарии.

1. Насколько Вы удовлетворены содержанием дисциплины в целом?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий \_\_\_\_\_

2. Насколько Вы удовлетворены общим стилем преподавания?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий \_\_\_\_\_

3. Как Вы оцениваете качество подготовки предложенных методических материалов?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий \_\_\_\_\_

4. Какой из модулей (разделов) дисциплины Вы считаете наиболее полезным, ценным с точки зрения дальнейшего обучения и/или применения в последующей практической деятельности?

Комментарий \_\_\_\_\_

5. Что бы Вы предложили изменить в методическом и содержательном плане для совершенствования преподавания данной дисциплины?

Комментарий \_\_\_\_\_

### **3.2. Кадровое обеспечение**

3.2.1 Образование и (или) квалификация преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий

К чтению лекций должны привлекаться преподаватели, имеющие степень кандидата или доктора физико-математических наук, занимающиеся научно-исследовательской работой в области магнитного резонанса в твёрдых телах и имеющие не менее трёх публикаций по данной теме на последние 5 лет.

3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом

Требования не предъявляются

### **3.3. Материально-техническое обеспечение**

3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий

Стандартно оборудованные лекционные аудитории для проведения интерактивных лекций: доска маркерная, видеопроектор, экран настенный.

3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования

Для проведения занятия необходимы: видеопроектор, ноутбук, переносной экран.

3.3.3 Характеристики специализированного оборудования

Не предусмотрено

3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения

Не предусмотрено

3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов



Фломастеры цветные, губки, бумага формата А4, канцелярские товары, картриджи принтеров, диски, флеш-накопители и др. в объёме, необходимом для организации и проведения занятий, по заявкам преподавателей, подаваемым в установленные сроки.

### **3.4. Информационное обеспечение**

#### 3.4.1 Список обязательной литературы

- 1) Spin Dynamics: Basics of Nuclear Magnetic Resonance. Levitt, Wiley, 2001.
- 2) Solid State NMR Spectroscopy: Principles and Applications. Melinda J. Duer, Wiley, 2008.
- 3) Квантовая радиофизика, под ред. В.И. Чижика, 2009, СПбГУ.
- 4) Ядерная магнитная релаксация, В.И Чижик, СПбГУ, 2004.
- 5) Ядерный магнитный резонанс в твёрдых телах. В. С. Касперович, М. Г. Шеляпина, Н. М. Вечерухин, Соло, 2007.

#### 3.4.3 Перечень иных информационных источников

Информационно-образовательный портал «Магнитный резонанс и его приложения»  
<http://nmrportal.ru/>

## **Раздел 4. Разработчики программы**

Доцент каф. Ядерно-физических методов исследований

М.Г. Шеляпина

e-mail: [marina.shelyapina@spbu.ru](mailto:marina.shelyapina@spbu.ru)

тел. +7 (952) 381-46-25