

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

от _____ № _____

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Резонансные методы исследования конденсированных сред

Resonance methods for condensed matter study

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 «Физика твердого тела» и «Спектроскопия ЯМР».

1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)

В результате освоения дисциплины студенты должны:

- знать теоретические основы методов ЯМР твердых телах и ЯКР, особенности ЯМР в магнитоупорядоченных соединениях, основы Мёссбауэровской спектроскопии;
- получить навыки работы со специальной научной литературой по данной тематике.

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 (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.)		
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ																	
очная форма обучения																	
Семестр 3	30		2						2						14		32
	2-30		2-30						2-30						2-30		
ИТОГО	30		2						2						14		2

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
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ						
очная форма обучения						
Семестр 2			экзамен, устно, традиционная форма	по графику промежуточной аттестации		

2.1.1 профиль: Экспериментальная физика (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.)			итоговая аттестация (сам.раб.)
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ																		
очная форма обучения																		
Семестр 2	30		2						2						14		32	2
	2-30		2-30						2-30						2-30			
ИТОГО	30		2						2						14			2

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
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ						
очная форма обучения						
Семестр 2			экзамен, устно, традиционная форма	по графику промежуточной аттестации		

2.1.1 профиль: Прикладная и вычислительная физика (ПМФ)

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.)
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ																		
очная форма обучения																		
Семестр 2	28		2						2						14		32	2
	2-30		2-30						2-30						2-30			
ИТОГО	28		2						2						14			2

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
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ						
очная форма обучения						
Семестр 2			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 2

№ п/п	Наименование темы (раздела, части)	Вид учебных занятий	Количество часов
1	Физические свойства твердых тел и резонансные методы, используемые для их исследований	Лекции	2
2	<p><u>ЯМР в твердых телах</u></p> <p>Диполь-дипольные взаимодействия в твёрдых телах. Секулярная и несекулярная части гамильтониана д-д взаимодействия (случаи одинаковых и разных спинов). Влияние квадрупольных взаимодействий на спектр ЯМР. Уровни энергии и спектр в 1-м и 2-м порядках теории возмущений. Изучение структурных параметров методом ЯМР. Метод моментов Ван-Флека. Метод определения компонент тензора ГЭП по спектрам ЯМР. Форма линии в поликристалле. Спектр ЯМР при наличии выделенной пары, при наличии квадрупольного взаимодействия ($I = 1$ и $I = 3/2$), при наличии анизотропии тензора магнитного экранирования. ЯМР высокого разрешения.</p>	Лекции	10
3	<p><u>Ядерный квадрупольный резонанс</u></p> <p>Гамильтониан квадрупольного взаимодействия. Энергетические уровни, частоты и интенсивности переходов ЯКР в первом и втором порядке теории возмущений. ЯКР в магнитном поле. Изменение уровней энергии под действием магнитного поля для целых и полуцелых спинов. Случаи точного решения секулярного уравнения. Конус нулевого расщепления. Расчет сигнала одночастотного квадрупольного эха в нулевом магнитном поле. Оптимальные условия наблюдения одночастотного квадрупольного эха. Влияние внешнего магнитного поля на форму сигнала. Двухчастотные квадрупольные эхо.</p>	лекции	6
4	<p><u>ЯМР в магнитоупорядоченных веществах</u></p> <p>Иерархия обменных взаимодействий. Классификация магнетиков. Зависимость намагниченности от поля и температуры в ферро-, антиферро- и ферримагнетике. Магнитная анизотропия. Доменная структура ферромагнетика. Сверхтонкое поле. Контактное взаимодействие Ферми, орбитальное сверхтонкое взаимодействие, диполь-дипольное взаимодействие. Механизм усиления радиочастотного поля в доменах. Механизм усиления радиочастотного поля в доменных стенках. Влияние разброса коэффициента усиления на амплитуду сигнала свободной прецессии и спинового</p>	Лекции	6

	эха. Влияние бесконечно широкого спектра ЯМР на формирование сигнала свободной прецессии и спинового эха в магнетиках.		
5	<u>Мессбауэровская спектроскопия</u> Принцип наблюдения. Эффект Доплера. Условия, необходимые для наблюдения эффекта Мессбауэра. Параметры Мессбауэровских спектров (изомерный сдвиг, квадрупольное расщепление, сверхтонкая структура). Применение Мессбауэровский спектроскопии.	Лекции	4
6	<u>Неэмпирические методы расчета</u> Метод Хартри-Фока. Метод Теории функционала плотности. Примеры расчета тензора градиентов электрических полей в кристаллах. Примеры расчета сверхтонких полей в ферромагнетиках (для профилей <i>Магнитный резонанс. Физические аспекты и приложения и Экспериментальная физика</i>)	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) Особенности ЯМР в твердых телах. Диполь-дипольные взаимодействия в твёрдых телах. Секулярная и несекулярная части гамильтониана д-д взаимодействия (случаи одинаковых и разных спинов).
- 2) Влияние квадрупольных взаимодействий на спектр ЯМР. Уровни энергии и спектр в 1-м и 2-м порядках теории возмущений.
- 3) Изучение структурных параметров методом ЯМР. Метод моментов Ван-Флека. Метод определения компонент тензора ГЭП по спектрам ЯМР.
- 4) Форма линии в поликристалле. Спектр ЯМР при наличии выделенной пары, при наличии квадрупольного взаимодействия ($I = 1$ и $I = 3/2$), при наличии анизотропии тензора магнитного экранирования.
- 5) Гамильтониан квадрупольного взаимодействия. Энергетические уровни, частоты и интенсивности переходов ЯКР в первом и втором порядке теории возмущений.
- 6) ЯКР в магнитном поле. Изменение уровней энергии под действием магнитного поля для целых и полуцелых спинов. Случаи точного решения секулярного уравнения. Конус нулевого расщепления.
- 7) Расчет сигнала одночастотного квадрупольного эха в нулевом магнитном поле. Оптимальные условия наблюдения одночастотного квадрупольного эха. Влияние внешнего магнитного поля на форму сигнала.
- 8) Двухчастотные квадрупольные эхо.
- 9) Иерархия обменных взаимодействий. Классификация магнетиков. Зависимость намагниченности от поля и температуры в ферро-, антиферро- и ферримагнетике.
- 10) Магнитная анизотропия. Доменная структура ферромагнетика.
- 11) Сверхтонкое поле. Контактное взаимодействие Ферми, орбитальное сверхтонкое взаимодействие, диполь-дипольное взаимодействие.
- 12) Механизм усиления радиочастотного поля в доменах и доменных стенках.
- 13) Влияние разброса коэффициента усиления на амплитуду сигнала свободной прецессии и спинового эха.
- 14) Влияние бесконечно широкого спектра ЯМР на формирование сигнала свободной прецессии и спинового эха в магнетиках.

- 15) Мессбауэровская спектроскопия. Принцип наблюдения. Эффект Доплера. Условия, необходимые для наблюдения эффекта Мессбауэра.
- 16) Параметры Мессбауэровских спектров (изомерный сдвиг, квадрупольное расщепление, сверхтонкая структура). Применение Мессбауэровской спектроскопии.

Для профилей *Магнитный резонанс. Физические аспекты и приложения и Экспериментальная физика*

- 17) Метод Хартри-Фока.
- 18) Метод Теории функционала плотности.
- 19) Примеры расчета тензора градиентов электрических полей в кристаллах.
- 20) Примеры расчета сверхтонких полей в ферромагнетиках

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. Квантовая радиофизика, под ред. В.И. Чижика, 2009, СПбГУ, 700 стр. Шеляпина М. Г. , Комолкин А. В. Неэмпирические методы расчета кристаллов. СПб, 2007.
2. Л.В. Вилков, Ю.А. Пентин. Физические методы исследования в химии, М. Высшая школа, 1989.

3.4.2 Список дополнительной литературы

1. Г.К. Семин, Т.А. Бабушкина, Г.Г. Якобсон. Применение ЯКР в химии. Издательство "Химия", 1972.
2. В.С. Гречишкин. Ядерные квадрупольные взаимодействия в твёрдых телах. Издательство "Наука", 1973.
3. M. Bloom, E. L. Hahn, and B. Herzog. Free Magnetic Induction in Nuclear Quadrupole Resonance. Physical Review 97 1699-1709 (1955).
4. В.С. Гречишкин, Н.Е. Айнбиндер. Ядерный спиновый резонанс. УФН 80, 597-637(1963).
5. Г.С. Кринчик, Физика магнитных явлений, М. МГУ, 1985 г.
6. К.М. Хёрд, Многообразие видов магнитного упорядочения в твердых телах, УФН 142 (1984) 331-355.

7. М.И. Куркин, Е.А. Туров, ЯМР в магнитоупорядоченных веществах, М. Наука 1990 г.
8. Шеляпина М. Г. , Комолкин А. В. Неэмпирические методы расчета кристаллов. СПб, 2007.
9. Л.В. Вилков, Ю.А. Пентин. Физические методы исследования в химии, М. Высшая школа, 1989.

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

тел. +7 (952) 381-46-25