

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

УТВЕРЖДЕНО

приказом ФИЦ КазНЦ РАН

от 01.03.2019 № 9-А

Разработано и рекомендовано к утверждению
Ученым советом

КФТИ - обособленного структурного
подразделения ФИЦ КазНЦ РАН

28 ноября 2018 г., протокол № 33

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Магнетизм низкоразмерных систем»

Уровень высшего образования

Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки

03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Направленность подготовки:

Физика магнитных явлений (01.04.11)

Квалификация выпускника:

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Содержание:

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения.
2. Перечень планируемых результатов обучения.
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
4. Трудоемкость дисциплины.
5. Содержание дисциплины.
6. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации, фонд оценочных средств.
7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.
8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины.

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения

Виды учебной деятельности: аудиторские занятия 1 зачетная единица труда (36 часов), самостоятельная работа 6 зачетных единиц труда (216 часов), всего 7 зачетных единиц труда (252 часа).

Форма проведения аудиторских занятий – лекции, лабораторные и практические занятия.

В рамках часов самостоятельной работы по указанию преподавателя аспиранты прорабатывают темы и осваивают теоретические вопросы, излагаемые в лекционном курсе, а также самостоятельно изучают другие вопросы программы.

2. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

универсальных

- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);

общепрофессиональных

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2);

профессиональных

- способность проводить самостоятельные исследования в области физики магнитных явлений, владеть современными методами физического эксперимента, а также способность анализировать экспериментальные данные с целью исследования природы взаимовлияния сверхпроводимости и магнетизма, физических явлений в парамагнетиках, ферромагнетиках, в соединениях с магнитными фазовыми переходами, особенностей магнетизма в сильнокоррелированных электронных системах и нанобъектах (ПК-1);
- способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области физики магнитных явлений (ПК-3).

В результате освоения дисциплины аспирант должен

Знать:

- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач низкоразмерного магнетизма;

- роль и место теории магнетизма низкоразмерных систем в современной физике твердого тела, стадии ее эволюции и взаимосвязь с другими разделами физики;
- особенности научной терминологии, понятийный аппарат низкоразмерного магнетизма, используемые при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме;
- основы теории магнетизма низкоразмерных систем, в том числе искусственно созданных, классификацию таких систем и их специфические магнитные свойства;
- фундаментальные закономерности, связанные с формированием магнитных свойств низкоразмерных систем;
- существующие методы и методические подходы в научных исследованиях в области низкоразмерного магнетизма и возможные способы их развития;

Уметь:

- анализировать альтернативные варианты решения практических задач низкоразмерного магнетизма и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов;
- выбирать и применять при решении задач низкоразмерного магнетизма адекватные экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования;

Владеть:

- навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области низкоразмерного магнетизма;
- навыками анализа экспериментальных данных, полученных методами ЭПР и ЯМР для низкоразмерных систем.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Целью дисциплины «Магнетизм низкоразмерных систем» является изучение магнетизма низкоразмерных систем, в том числе искусственно созданных, влияния размерности на магнитные свойства, особенностей зависимости магнетизма таких систем от термодинамических параметров (температуры, магнитного поля давления), изучение влияния фрустрации обменных взаимодействий в системе, а также топологии системы на ее магнитные свойства. Предполагается освоение фундаментальных закономерностей, связанных с формированием магнитных свойств низкоразмерных систем, получение основных навыков анализа экспериментальных данных, полученных для таких систем.

Дисциплина относится к *дисциплинам по выбору*, входит в состав Блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к вариативной части ОПОП аспирантуры по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», направленности (профилю) Физика

магнитных явлений (01.04.11). Индекс (по учебному плану) – **Б1.В.ДВ2**. Дисциплина изучается на втором курсе.

Актуальность курса обусловлена большой практической значимостью изучения низкоразмерного магнетизма для разработки современных материалов и устройств спинтроники, сенсорной техники, наноэлектроники, а также важностью исследований низкоразмерных спиновых систем для современной фундаментальной физики твердого тела.

Материал, изучаемый в ходе освоения дисциплины, в значительной мере дополняет и расширяет ряд разделов обязательной дисциплины «Физика магнитных явлений».

В курсе используются представления смежных областей физики: квантовой механики, термодинамики, электродинамики, материаловедения.

4. Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, в том числе **2 ЗЕ** аудиторных занятий и **5 ЗЕ** самостоятельной работы.

№	Дисциплина	Курс	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	Магнетизм низкоразмерных систем	2	20	8	8	216

5. Содержание дисциплины

5.1. Лекционные занятия

(аудиторная нагрузка 20 часов, самостоятельная работа 120 часов)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Магнитный момент иона. Взаимодействия между магнитными моментами.	Орбитальный и спиновый магнитные моменты электрона. Оболочка многоэлектронного атома, LS и Jj связи, результирующий магнитный момент. Правила Хунда. Эффективный магнитный момент и магнитный момент насыщения. Магнитные моменты нуклонов и атомных ядер. Взаимодействия между магнитными моментами, некооперативный и кооперативный магнетизм. Иерархия обменных взаимодействий. Прямой и не прямой обмен. Энергия магнитного взаимодействия. РККИ взаимодействие. Суперобмен через ионы кислорода. 180° и 90°

		суперобмен. Правила Гуденафа, Канамори, Андерсена. Двойной обмен Зинера.
2.	Понятие о низкоразмерном магнетизме.	Квантовые модели Изинга и Гейзенберга для системы взаимодействующих спинов. Модели XY и XXZ. Понятие о размерности магнитной системы. Понятие об основном состоянии магнитной системы. Ближний и дальний порядок. Понятие о фрустрации обменного взаимодействия.
3.	Одномерные магнитные системы.	Спиновые цепочки с полуцелым спином. Цепочки с ферромагнитным и антиферромагнитным взаимодействием. Модель Изинга для одномерной цепочки. Теорема Мермина–Вагнера. Точное решение задачи Изинга в одномерном случае. Модель Гейзенберга. Расчет Бонера–Фишера. Влияние магнитного поля. Цепочки с альтернированным обменом. Спин-Пайерлсовский переход. Цепочки с взаимодействием между ближайшими соседями и через соседа. Понятие о Томонага-Люттинджеровской жидкости. Основное состояние и возбуждения во фрустрированных цепочках в зависимости от параметра фрустрации. Индуцированные полем фазы. Цепочки с целым спином. Халдейновская щель. Зигзаг-цепочки. Спиновые лестницы с четным и нечетным числом перемычек («ног»).
4.	Двумерные магнитные системы.	Различные топологии двумерных магнитных систем. Точное решение задачи Изинга в двумерном случае. Двумерные решетки гейзенберговских спинов. Квадратная решетка с однородным обменом между ближайшими соседями. Решетка типа пчелиных сот с однородным обменом между ближайшими соседями. Треугольная решетка и решетка типа кагомэ – возникновение фрустраций. Понятие о спиновых вихрях в двумерной решетке. Учет влияния взаимодействия со следующим соседом: квадратная решетка с J1-J2 взаимодействиями. Влияние фрустрации в такой решетке. Модель типа «конфедератский флаг». Решетка типа

		пчелиных сот с взаимодействиями со следующим соседом. Возможные типы магнитных структур. Понятие о модели Китаева. Гамильтониан Халиуллина–Жакелия.
5.	Нульмерные спиновые системы.	Изолированные ионы. Поведение магнитной восприимчивости и теплоемкости. Анизотропия изолированного иона. Магнитные димеры. Основное состояние димера. Понятие спиновой щели. Молекулярные спиновые кластеры. Квантовые точки.
6.	От нульмерных объектов к трехмерному магнетизму	Кластеры и магнитные частицы нано- и микроразмеров. Суперпарамагнетизм. Влияние формы частицы. Влияние спин-орбитального взаимодействия. Блокинг-температура. Влияние взаимодействия между частицами. Фаза Гриффица.
7.	Искусственно созданные низкоразмерные объекты. Размерные эффекты в магнитных частицах и проволоках.	Магнитные плёнки и мультислои. Нанопроволоки. Графен. Графеновые и оксидные нанотрубки. Фуллерены. Использование магнитно-силовой микроскопии для изучения магнитных частиц. Структура намагниченности в нано- и микрочастицах. Компьютерное моделирование структуры намагниченности в частицах. Перемагничивание частиц внешним магнитным полем. Перемагничивание частиц при воздействии на них импульсным лазерным излучением. Перемагничивание нанопроволок током высокой плотности (передача спинового момента, нагрев). Сверхплотная запись магнитной информации на частицах.

5.2. Лабораторные занятия

(аудиторная нагрузка 8 часов, самостоятельная работа 48 часов)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Примеры выполняемых экспериментальных работ
1	Одномерные магнитные цепочки.	Анализ и моделирование температурной зависимости восприимчивости одномерной магнитной цепочки.

2	Суперпарамагнитные частицы.	Анализ температурной зависимости восприимчивости и спектров ЭПР суперпарамагнетика. Определение температуры блокировки
---	-----------------------------	--

5.3. Практические занятия

(аудиторная нагрузка 8 часов, самостоятельная работа 48 часов)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика семинаров
1.	Одномерные магнитные системы	Примеры и методы исследования спиновых цепочек и лестниц при помощи ЯМР и ЭПР.
2	Двумерные магнитные системы.	Примеры и методы исследования двумерных спиновых структур при помощи ЯМР и ЭПР.
3.	Нульмерные спиновые системы.	Исследование молекулярных магнетиков при помощи ЯМР и ЭПР
4	Искусственно созданные низкоразмерные структуры.	Строение и свойства графена.

6. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации, фонд оценочных средств

Текущий контроль освоения дисциплины проводится регулярно, начиная со второй недели обучения, в форме контроля посещаемости, устного опроса по теме, анализа результатов решения практических задач и выполненных лабораторных работ.

Промежуточный контроль подразумевает проведение коллоквиума по учебному материалу нескольких тем.

Формой итогового контроля по дисциплине является зачет.

6.1. Контрольные темы и вопросы для проведения текущего и итогового контроля:

Тема 1. Магнитный момент иона. Взаимодействия между магнитными моментами

Орбитальный и спиновый магнитные моменты электрона. Оболочка многоэлектронного атома. Правила Хунда. Эффективный магнитный момент и магнитный момент насыщения. Взаимодействия между магнитными моментами, некооперативный и кооперативный магнетизм. Прямой и не прямой обмен. Суперобмен через ионы кислорода. Правила Гуденафа, Канамори, Андерсена.

Тема 2. Понятие о низкоразмерном магнетизме

Квантовые модели Изинга и Гейзенберга для системы взаимодействующих спинов. Понятие о размерности магнитной системы. Понятие об основном состоянии магнитной системы. Ближний и дальний порядок. Понятие о фрустрации обменного взаимодействия

Тема 3. Одномерные магнитные системы

Спиновые цепочки с полуцелым спином. Цепочки с ферромагнитным и антиферромагнитным взаимодействием. Модель Изинга для одномерной цепочки. Модель Гейзенберга. Спин-Пайерлсовский переход. Основное состояние и возбуждения во фрустрированных цепочках в зависимости от параметра фрустрации. Цепочки с целым спином. Спиновые лестницы.

Тема 4. Двумерные магнитные системы

Различные топологии двумерных магнитных систем. Квадратная решетка с однородным обменом между ближайшими соседями. Решетка типа пчелиных сот с однородным обменом между ближайшими соседями. Треугольная решетка и решетка типа кагомэ – понятие о геометрической фрустрации. Учет влияния взаимодействия со следующим соседом: квадратная решетка с J1-J2 взаимодействиями.

Тема 5. Нульмерные спиновые системы

Изолированные ионы. Магнитные димеры. Молекулярные спиновые кластеры. Квантовые точки.

Тема 6. От нульмерных объектов к трехмерному магнетизму

Кластеры и магнитные частицы нано- и микроразмеров. Суперпарамагнетизм. Блокинг-температура.

Тема 7. Искусственно созданные низкоразмерные объекты. Размерные эффекты в магнитных частицах и проволоках

Магнитные плёнки и мультислои. Нанопроволоки. Графен. Графеновые и оксидные нанотрубки. Фуллерены. Использование магнитно-силовой микроскопии для изучения магнитных частиц. Перемагничивание частиц внешним магнитным полем и при воздействии на них импульсным лазерным излучением.). Сверхплотная запись магнитной информации на частицах.

6.2. Критерии оценки и шкала оценивания результатов освоения дисциплины:

№ п/п	Результат освоения дисциплины	Балл	Показатели оценивания
Знание			
1.	методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания

	решении исследовательских и практических задач в низкоразмерного магнетизма	3	высокий уровень знания
2.	роли и места теории магнетизма низкоразмерных систем в современной физике твердого тела, стадий ее эволюции и взаимосвязи с другими разделами физики;	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
3.	особенностей научной терминологии, понятийного аппарата низкоразмерного магнетизма, используемых при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
4.	основ теории магнетизма низкоразмерных систем, в том числе искусственно созданных, классификацию таких систем и их специфические магнитные свойства	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
5.	фундаментальных закономерностей, связанных с формированием магнитных свойств низкоразмерных систем	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
6.	существующих методов и методических подходов в научных исследованиях в области низкоразмерного магнетизма и возможных способов их развития	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
Умение			
1.	анализировать альтернативные варианты решения практических задач низкоразмерного магнетизма и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	1	не умеет
		2	частично освоенное умение
		3	сформированное умение

2.	выбирать и применять при решении задач низкоразмерного магнетизма адекватные экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования	1	не умеет
		2	частично освоенное умение
		3	сформированное умение
Владение			
1.	навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области низкоразмерного магнетизма	1	не владеет
		2	частично освоенные навыки
		3	сформированные навыки
2.	навыками анализа экспериментальных данных, полученных методами ЭПР и ЯМР для низкоразмерных систем	1	не владеет
		2	частично освоенные навыки
		3	сформированные навыки
Итого баллов		20–30	«зачтено»
		менее 20	«не зачтено»

7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины

7.1. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Вонсовский С.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1984.
2. Изюмов Ю.А., Кацнельсон М.И., Скрыбин Ю.Н. Магнетизм коллективизированных электронов. – М.: Наука, 1994.
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.

7.2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Bonner J.C. and Fisher M.E. // Phys. Rev. – 1964. – V. 135. – P.A640.
2. Griffiths R.B. // Phys. Rev. – 1964. – V.133. – P.A768
3. Haldane F.D.M. // Phys. Rev. Lett. – 1983. –V. 50. – P.1153.
4. Mermin N.D. and Wagner H. // Phys. Rev. Lett. – 1966. – V.17. – P.1133.
5. Schulz T.D., Mattis D.C. and Lieb E.H. // Rev. Mod. Phys. –1964. – V.36. – P.856.
6. Мория Т. Спиновые флуктуации в магнетиках с коллективизированными электронами. Пер. с англ. О. А. Котельниковой и М. Ю. Николаева под ред. А. В. Ведяева. – М.: Мир, 1988.
7. Уайт Р. Квантовая теория магнетизма. – М.: Мир, 1985.

7.3. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»

7.3.1. НЕКОММЕРЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ (ЭБС) СВОБОДНОГО ДОСТУПА

- Библиотека международного издательства INTECHOPEN – <http://www.intechopen.com/>
- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU www.elibrary.ru
- Научная электронная библиотека КиберЛенинка <http://www.cyberleninka.ru/>
- Полнотекстовая электронная библиотека РФФИ <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library>
- Электронная библиотека «Научное наследие России» <http://www.e-heritage.ru/index.html>
- Электронная библиотека ИФТТ РАН <http://www.issp.ac.ru/libcatm/elib.html>
- Электронная библиотека международного научно-образовательного сайта EqWorld – <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>

7.3.2. РЕФЕРАТИВНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ И НАУЧНЫЕ ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ

- ArXiv: Open access to 1,146,534 e-prints in Physics, Mathematics, Computer Science, Quantitative Biology, Quantitative Finance and Statistics (Электронный архив публикаций библиотеки Корнелльского университета) <http://xxx.lanl.gov/archive>
- Directory of Open Access Books (DOAB) <http://doabooks.org/>
- Directory of Open Access Journals (DOAJ) <http://www.doaj.org>
- Science Research Portal – научно-поисковая система, осуществляющая полнотекстовый поиск в журналах многих крупных научных издательств, таких как Elsevier, Highwire, IEEE, Nature, Taylor & Francis и др., в открытых научных базах данных: Directory of Open Access Journals, Library of Congress Online Catalog, Science.gov и Scientific News <http://www.scienceresearch.com>
- Международная реферативная база по физике, астрономии, теории частиц ADS(NASA) <http://adsabs.harvard.edu/>
- Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) http://elibrary.ru/project_risc.asp

7.3.3. ЖУРНАЛЫ И КНИГИ

- List of Free Physics Books | Physics Database <http://physicsdatabase.com/free-physics-book>
- Nature Communications <http://www.nature.com/ncomms/index.html>
- New Journal of Physics <http://iopscience.iop.org/journal/1367-2630>
- Physical Review X <http://journals.aps.org/prx/>
- Physics Books – Free Computer Books <http://www.freebookcentre.net/Physics/Physics-Books-Online.html>
- Scientific Reports <http://www.nature.com/srep/>

- Журналы физико-технического института им А.Ф. Иоффе РАН: «Журнал технической физики», «Письма в журнал технической физики», «Физика твердого тела», «Физика и техника полупроводников» <http://journals.ioffe.ru/>
- Труды института общей физики им. А.М. Прохорова РАН <http://www.gpi.ru/trudgpi.php>

3.4. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И СПРАВОЧНЫЕ РЕСУРСЫ «ИНТЕРНЕТ»

- ETH Zurich group about EPR <http://www.epr.ethz.ch>
- European community of Magnetism <http://magnetism.eu>
- International Society of Magnetic Resonance <https://www.weizmann.ac.il/ISMAR/education>
- Magnetic Resonance Imaging <http://www.magnetic-resonance.org>
- Molecular magnetism <http://www.molmag.de>
- Библиотека Гумер. Гуманитарные науки. http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Pedagog/
- Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» <http://window.edu.ru/>
- Информационная справочно-правовая система «Консультант плюс» <http://www.consultant.ru/> (некоммерческая версия)
- Российское магнитное общество <http://www.amtc.ru/mago/>
- Специализированный портал по информационно-коммуникационным технологиям в образовании <http://www.ict.edu.ru/>
- Справочно-информационный портал ГРАМОТА.РУ <http://www.gramota.ru/>
- Техническая библиотека <http://techlibrary.ru/>
- Федеральный портал «Российское образование» www.edu.ru

8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины

Обучение по дисциплине ведётся с применением как традиционных методов (лекции, практические занятия, лабораторные работы), так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах подразделений КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН по профилю подготовки, представление докладов на научной конференции молодых ученых КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН и молодежных научных школах, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе для дополнительного изучения.

Аудиторные занятия, целью которых является освоение теоретических основ дисциплины, проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного оборудования. Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал

занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Практические занятия (семинары) имеют своей целью освоение расчетно-теоретических методов, используемых при решении задач в области низкоразмерного магнетизма, а также развития навыков рационального выбора методов решения.

В ходе лабораторных занятий аспирантам предоставляется возможность изучить специфику экспериментальных исследований в области низкоразмерного магнетизма, познакомиться с принципами работы и возможностями современной экспериментальной аппаратуры и оборудования, используемых при проведении научных исследований в области низкоразмерного магнетизма, получить практические навыки интерпретации экспериментальных результатов.

Самостоятельная работа аспирантов подразумевает углубленное освоение теоретического материала, выполнение индивидуальных заданий, подготовку к текущему, промежуточному и итоговому контролю успеваемости. В целях формирования способности к критическому анализу информации и поиску путей решения поставленных задач в дальнейшей профессиональной деятельности используется технология проблемного обучения, требующая значительных временных ресурсов, что предусмотрено структурой дисциплины, и предполагает самостоятельную проработку учебно-проблемных задач аспирантами, выполняемую с привлечением основной и дополнительной литературы; поиск необходимой научно-технической информации в открытых источниках, консультации с преподавателем.

Самостоятельная работа аспирантов осуществляется: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на персональных рабочих местах аспирантов с доступом к ресурсам «Интернет», в научных подразделениях КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, ресурсы «Интернет».

Материально-техническое обеспечение дисциплины:

- библиотека с читальным залом, книжный фонд которой составляет специализированная методическая и учебная литература, научная периодика;
- зал, оснащённый стационарным проектором, экраном и обычной доской – для проведения лекционных занятий;
- учебная аудитория, оснащенная переносными проектором и экраном для проведения практических занятий;
- индивидуальные рабочие места аспирантов, оснащенные персональным компьютерами с доступом к сети «Интернет», локальной сети и электронной информационно-образовательной среде ФИЦ КазНЦ РАН.

В учебном процессе аспиранты используют современное научное оборудование профильных подразделений КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН:

- Импульсный спектрометр ЯМР Avance 400;
- Импульсный спектрометр ЯКР и ЯМР Redstone Tecmag с резистивным магнитом 0.1–1.6Т и криостатом 3.5–350К
- Импульсные спектрометры ЭПР Elexsys E-580 и Elexsys E680, работающие в X-, Q- и W-диапазонах. Спектрометры позволяют записывать спектры ЭПР как в стандартном режиме с модуляцией внешнего магнитного поля, так и в виде зависимости амплитуды электронного спинового эха от величины магнитного поля, измерять времена спин-решеточной и спин-спиновой релаксаций, проводить эксперименты в режимах импульсных двойных электронно-ядерного и электрон-электронного резонансов, проводить одномерные и двумерные измерения модуляции огибающей амплитуды электронного эха.
- Спектрометр EMXplus 2007 г. вып, для исследования в стационарном режиме стабильных парамагнитных центров в X-диапазоне.
- Спектрометр ELESXYS E540 2007 г. вып., , работающий в L-диапазоне на частоте 1 ГГц, снабженный устройством для ЭПР-томографии и оптимизированный для исследования биологических объектов.
- Спектрометр ЭПР, работающий в диапазоне частот 65–535 ГГц. Оснащен лазерным источником излучения, интерферометром, дифракционной решёткой, фотоумножителем и многоэлементными приёмниками излучения.
- Спектрометр оптико-магнитного резонанса с возможностью оптического детектирования ЭПР. Спектрометр позволяет в температурном диапазоне 2–300 К измерять оптические спектры поглощения, люминесценции, возбуждения люминесценции, исследовать ап-конверсионные процессы, осуществлять оптическое детектирование ЭПР (ОДЭПР) и двойного электронно-ядерного резонанса (ОДДЭЯР). Диапазон длин волн оптического излучения: 200–2000 нм, частота микроволнового излучения 9.0–37.0 ГГц, частота накачки ядерных спинов 1–1000 МГц.
- Время-разрешенный ЭПР-спектрометр X-диапазона, созданный на основе спектрометра ЭПР ER 200E производства фирмы «Bruker», Германия, в 2006 г. Спектрометр снабжен импульсным наносекундным лазером и модернизирован для изучения временной эволюции сигналов короткоживущих состояний с временным разрешением ~ 80 нс.
- Спектрометр ЭПР BER 418 S производства фирмы «Bruker», Германия, в 2008 г. оснащен специализированным криостатом производства РИЦ "Курчатовский институт", позволяющим проводить измерения при сверхнизких температурах до 0,4 К.