Приложение 5

Утверждено Приказом ФИЦ КазНЦ РАН

от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_\_

Разработано и рекомендовано к утверждению

Ученым советом КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН

«22» января 2025 г., протокол №2

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Магнитный резонанс»**

Составная часть

**основной профессиональной образовательной программ**

**высшего образования -**

**программы подготовки научных и научно-педагогических кадров**

**в аспирантуре**

Научная специальность

**1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества (физико-математические науки)**

**1.3.12. Физика магнитных явлений (физико-математические науки)**

**Содержание**

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения, трудоемкость дисциплины.

2. Перечень планируемых результатов обучения.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

4. Содержание дисциплины.

5. Учебно-тематический план занятий.

6. Формы текущего контроля, критерии оценки.

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, трудоемкость дисциплины**

Виды учебной деятельности: аудиторные занятия – 27 часов, самостоятельная работа – 92 часа, зачет - 1 час, всего – 120 часов.

Форма проведения аудиторных занятий – лекции, семинары и консультации.

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.

Формой итогового контроля является зачет.

**2. Перечень планируемых результатов обучения**

В результате освоения дисциплины выпускник должен

***Знать:***

- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области магнитного резонанса;

- роль и место теории магнитного резонанса в формировании современной физической картины мира, стадии ее эволюции и взаимосвязь с другими разделами физики;

- особенности научной терминологии, понятийный аппарат теории магнитного резонанса, используемые при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме;

- основы теории магнитного резонанса, включая электронный парамагнитный резонанс, ферромагнитный резонанс, антиферромагнитный резонанс и ядерный магнитный резонанс;

- технику ЭПР и ЯМР спектроскопии, ЯМР томографии, криогенную технику;

- существующие методы анализа и интерпретации спектров ЭПР и ЯМР и возможные способы их развития;

- методы научно-исследовательской деятельности в том числе в области химической физики, горения и взрыва, физики экстремальных состояний веществ и физики магнитных явлений;

***Уметь:***

- анализировать альтернативные варианты решения практических задач магнитного резонанса и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов;

- выбирать и применять при решении задач магнитного резонанса адекватные экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования;

- анализировать экспериментальные данные;

- использовать современную аппаратуру при проведении научных исследований;

***Владеть:***

- навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области магнитного резонанса;

- навыками получения информации на основе анализа спектров ЭПР и ЯМР о фундаментальных физических взаимодействиях и процессах, таких как сверхтонкое электрон-ядерное, дипольное и обменное взаимодействия, влияние поля лигандов и движения спинов, фазовая и спин-решеточная релаксация магнитных моментов;

- навыками критического анализа научной литературы с целью самостоятельного выбора направления исследования;

- навыками формулировки выводов по итогам проведенных исследований, экспериментов, наблюдений, измерений.

**3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Магнитный резонанс» является элективной и/или факультативной дисциплиной и включена в Блок «Образовательная компонента» основных профессиональных образовательных программ высшего образования – программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научным специальностям 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества и 1.3.12. Физика магнитных явлений. Обучение планируется на втором и/или третьем курсе.

Данная дисциплина базируется на знаниях и умениях, выработанных при прохождении общих профессиональных курсов по квантовой механике, квантовой электронике, электродинамике и спецкурсов в рамках магистерской программы образования или специалитета по физике. Аспирант должен обладать навыками самостоятельного освоения изучаемого материала.

**4. Содержание дисциплины**

**Целью**дисциплины «Магнитный резонанс» является изучение основ теории магнитного резонанса, включая электронный парамагнитный резонанс, ферромагнитный резонанс, антиферромагнитный резонанс и ядерный магнитный резонанс. Предполагается освоение методов анализа и интерпретации спектров ЭПР и ЯМР, получения информации о фундаментальных физических взаимодействиях и процессах, таких как сверхтонкое электрон-ядерное, дипольное и обменное взаимодействия, влияние поля лигандов и движения спинов, фазовая и спин-решеточная релаксация магнитных моментов. Актуальность курса обусловлена большой практической значимостью методов магнитного резонанса для исследования новых соединений, разработки материалов с заданными магнитными свойствами, для реализации квантовых вычислений на основе техники ядерного магнитного резонанса и электронного парамагнитного резонанса. Дисциплина направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальным дисциплинам 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества и 1.3.12. Физика магнитных явлений.

**5. Учебно-тематический план занятий**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **п/п** | **Наименование темы** | **Аудит. занятия** | **Самост.**  **работа** | **Всего**  **часов** |
|  | **Электронные и ядерные магнитные моменты в магнитном поле**  Магнитные моменты атомов и молекул. Магнетон Бора. Строение электронных оболочек переходных и редкоземельных атомов. Правила Хунда. Термы. Магнитные моменты ядер. Прецессия магнитного момента в магнитном поле. Эффект Зеемана. Резонансное поглощение квантов электромагнитного поля. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Электронный парамагнитный резонанс**  Суть явления ЭПР. Классическое рассмотрение магнитного резонанса. Уравнения Блоха. Квантово-механическое рассмотрение явления магнитного резонанса. Спиновый гамильтониан. g-фактор. Влияние кристаллических полей, тонкая и сверхтонкая структуры. Анизотропия спектров ЭПР парамагнитных центров. Диполь-дипольное взаимодействие. Уширение резонансной линии. Обменное взаимодействие. Сужение спектра ЭПР. Форма линий ЭПР. Лоренц. Гаусс. Дайсон. Ширина линии. Однородное и неоднородное уширение. Спин-спиновые взаимодействия. Механизмы и времена спиновой релаксации. Спин-фононные взаимодействия и спин-решеточная релаксация. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Электронный парамагнитный резонанс  в металлах и сверхпроводниках**  Электроны проводимости и локализованные магнитные моменты. Парамагнетизм Паули, интенсивность сигнала ЭПР. Скин-эффект и форма линии ЭПР в металлах, теория Дайсона. Спин-орбитальное взаимодействие и сдвиг сигнала ПР электронов проводимости. Спиновая релаксация в чистых металлах. Релаксация на примесях.  Магнитный резонанс в сверхпроводниках. Влияние вихревой решетки на форму сигнала. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Ферромагнитный резонанс**  Суть и особенности ферромагнитного резонанса. Эффекты, связанные с формой образца. Влияние кристаллической магнитной анизотропии на резонансную частоту. Спин-волновой резонанс. Суперпарамагнетизм и магнитный резонанс | **3** | **10** | **13** |
|  | **Антиферромагнитный резонанс**  Энергетическая щель антиферромагнетика. Релятивистские и обменные моды.Две ветвиАФМР. Поле Дзялошинского и поле анизотропии. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Техника ЭПР-спектроскопии**  Схема ЭПР спектрометра. Определение g-фактора. Определение концентрации парамагнитных центров. Релаксометр ЭПР. Методы измерения времен спиновой релаксации. Метод двойного электрон-ядерного резонанса. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Криогенная техника**  Криогенные жидкости, их свойства и методы получения. Азотный криостат. Гелиевый криостат. Проточный криостат. Термостатирование. Измерение низких температур. Виды термодатчиков. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Ядерный магнитный резонанс**  Явление ядерного магнитного резонанса. Протонный магнитный резонанс. Химический сдвиг. Спин-спиновое взаимодействие. Спектры ЯМР органических соединений. Сужение линий, обусловленное движением спинов и обменным взаимодействием. ЯМР в металлах. Сдвиг Найта. Корринговская релаксация. Времена ядерной релаксации. Импульсный ЯМР. Спад свободной индукции. Фурье-спектроскопия. Устройство ЯМР спектрометра. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Магнитно-резонансная томография**  Градиент магнитного поля. Частотное кодирование. Метод обратного проецирования. Преобразование Фурье в ЯМР томографии. Разрешение изображения. Основные методы томографии (Многослойная томография, Спин-эхо томография, Томография инверсия-восстановление, Томография градиентное эхо). Контраст изображения. Устройство ЯМР-томографа и аппаратура для томографии | **3** | **12** | **15** |
|  | ЗАЧЕТ | **1** | **-** | **1** |
| ВСЕГО | | **28** | **92** | **120** |

**6. Формы текущего контроля, критерии оценки**

**6.1. Итоговый контроль:** формой итогового контроля по дисциплине является Зачет.

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.

**Контрольные темы и вопросы для проведения текущего и итогового контроля:**

**Тема 1. Электронные и ядерные магнитные моменты в магнитном поле**

1. Магнитные моменты атомов и молекул. Магнетон Бора.
2. Строение электронных оболочек переходных и редкоземельных атомов. Правила Хунда. Термы.
3. Квантовомеханическая модель изолированного протона. Магнитные свойства ядер.
4. Прецессия магнитного момента в магнитном поле. Эффект Зеемана. Резонансное поглощение квантов электромагнитного поля.

**Тема 2. Электронный парамагнитный резонанс**

1. Суть явления ЭПР. Классическое рассмотрение магнитного резонанса. Уравнения Блоха. Квантово-механическое рассмотрение явления магнитного резонанса.
2. Спиновый гамильтониан. g-фактор. Влияние кристаллических полей, тонкая и сверхтонкая структуры. Анизотропия спектров ЭПР парамагнитных центров.
3. Диполь-дипольное взаимодействие. Уширение резонансной линии
4. Обменное взаимодействие. Сужение спектра ЭПР.
5. Форма линий ЭПР. Лоренц. Гаусс. Дайсон.
6. Ширина линии. Однородное и неоднородное уширение. Спин-спиновые взаимодействия.
7. Механизмы и времена спиновой релаксации. Спин-фононные взаимодействия и спин-решеточная релаксация.

**Тема 3. Электронный парамагнитный резонанс в металлах и сверхпроводниках**

1. Электроны проводимости и локализованные магнитные моменты.
2. Парамагнетизм Паули, интенсивность сигнала ЭПР.
3. Скин-эффект и форма линии ЭПР в металлах, теория Дайсона.
4. Спин-орбитальное взаимодействие и сдвиг сигнала ПР электронов проводимости. Спиновая релаксация в чистых металлах. Релаксация на примесях.
5. Магнитный резонанс в сверхпроводниках. Влияние вихревой решетки на форму сигнала.

**Тема 4. Ферромагнитный резонанс**

1. Суть и особенности ферромагнитного резонанса.
2. Размагничивающее поле образцов разной формы. Угловая зависимость, связанная с формой образца.
3. Влияние кристаллической магнитной анизотропии на резонансную частоту.
4. Спин-волновой резонанс.
5. Суперпарамагнетизм и магнитный резонанс

**Тема 5. Антиферромагнитный резонанс**

1. Энергетическая щель антиферромагнетика.
2. Релятивистские и обменные моды. Две ветви АФМР.
3. Поле Дзялошинского и поле анизотропии.

**Тема 6. Техника ЭПР-спектроскопии**

1. Схема ЭПР спектрометра.
2. Определение g-фактора.
3. Определение концентрации парамагнитных центров.
4. Релаксометр ЭПР. Методы измерения времен спиновой релаксации.
5. Метод двойного электрон-ядерного резонанса

**Тема 7. Криогенная техника**

1. Криогенные жидкости, их свойства и методы получения.
2. Азотный криостат.
3. Гелиевый криостат.
4. Проточный криостат.
5. Термостатирование.
6. Измерение низких температур. Виды термодатчиков.

**Тема 8. Ядерный магнитный резонанс**

1. Явление ядерного магнитного резонанса.
2. Протонный магнитный резонанс.
3. Химический сдвиг. Спин-спиновое взаимодействие. Спектры ЯМР органических соединений.
4. Сужение линий, обусловленное движением спинов и обменным взаимодействием.
5. ЯМР в металлах. Сдвиг Найта. Корринговская релаксация
6. Времена ядерной релаксации.
7. Импульсный ЯМР. Спад свободной индукции. Фурье-спектроскопия.
8. Устройство ЯМР спектрометра.

**Тема 9. Магнитно-резонансная томография**

1. Градиент магнитного поля. Частотное кодирование. Метод обратного проецирования.
2. Преобразование Фурье в ЯМР томографии.
3. Разрешение изображения.
4. Основные методы томографии: многослойная томография, спин-эхо томография, томография инверсия-восстановление, томография - градиентное эхо.
5. Контраст изображения.
6. Устройство ЯМР-томографа и аппаратура для томографии.

**6.2. Критерии оценки итогового контроля:**

|  |  |
| --- | --- |
| Оценка | Требования к знаниям и критерии выставления  оценок: |
| **зачтено** | Аспирант при ответе демонстрирует знание тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями и терминами, знает особенности развития соответствующей области науки, имеет представление о специфике объектов исследований. Информирован о современных направлениях работ, ознакомлен с содержанием основных литературных источников, способен делать анализ проблем и намечать пути их решения. |
| **не зачтено** | Аспирант демонстрирует плохое знание большей части основного материала в соответствующей области науки. Не информирован или слабо разбирается в проблемах, и не в состоянии наметить пути их решения. |

**При выборе аспирантом дисциплины «Магнитный резонанс» в качестве элективной, зачет по дисциплине является допуском к промежуточной аттестации – кандидатскому экзамену по специальной дисциплине.**

**7. Учебно-методическое обеспечение**

**7.1. Литература**

1. Альтшулер С.А., Козырев Б.М. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. – М.: Наука, 1972.
2. Вонсовский С.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1984.
3. Гюнтер Х. Введение в курс спектроскопии ЯМР. – М.: Мир, 1984.
4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.

**7.2. Дополнительная литература**

1. Абрагам А., Блини Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. Т.2. – М.: Мир, 1973
2. Ахиезер А.И., Ахиезер И.А. Электромагнетизм и электромагнитные волны. – М.: Высшая школа, 1985.
3. Винтер Ж. Магнитный резонанс в металлах.– М.: Мир, 1976.
4. Гуревич А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках.– М.: Наука, 1973.
5. Салихов К.М., Семенов А.Г., Цветков Ю.Д. Электронное спиновое эхо и его применение. – Новосибирск: Наука, 1976.
6. Сликтер Ч. Основы теории магнитного резонанса. – М.: Мир, 1981.
7. Уайт Р. Квантовая теория магнетизма. – М.: Мир, 1985.
8. Хеберлен У., Меринг М. ЯМР высокого разрешения в твердых телах. – М.: Мир, 1980.

**7.3. Электронные ресурсы**

**I. НЕКОММЕРЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ (ЭБС) СВОБОДНОГО ДОСТУПА**

• Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU www.elibrary.ru

• Электронная библиотека «Научное наследие России» http://www.e-heritage.ru/index.html

• Научная электронная библиотека КиберЛенинка http://www.cyberleninka.ru/

• Полнотекстовая электронная библиотека РФФИ http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library

• 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

• Библиотека международного издательства INTECHOPEN – http://www.intechopen.com/

**II. РЕФЕРАТИВНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ И НАУЧНЫЕ ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ**

• Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) http://elibrary.ru/project\_risc.asp

• Международная реферативная база по физике, астрономии, теории частиц ADS(NASA) http://adsabs.harvard.edu/

• Directory of Open Access Journals (DOAJ) http://www.doaj.org

• Directory of Open Access Books (DOAB) http://doabooks.org/

• 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

• 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

**III. ЖУРНАЛЫ И КНИГИ**

• Nature Communications http://www.nature.com/ncomms/index.html

• Physical Review X http://journals.aps.org/prx/

• Scientific Reports http://www.nature.com/srep/

• New Journal of Physics http://iopscience.iop.org/journal/1367-2630

• Журналы физико-технического института им А.Ф. Йоффе 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

• Physics Books – Free Computer Books http://www.freebookcentre.net/Physics/Physics-Books-Online.html

• List of Free Physics Books | Physics Database http://physicsdatabase.com/free-physics-book

**IV. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И СПРАВОЧНЫЕ РЕСУРСЫ «ИНТЕРНЕТ»**

* Российское магнитное общество http://www.amtc.ru/mago/
* European community of Magnetism http://magnetism.eu
* International Society of Magnetic Resonance https://www.weizmann.ac.il/ISMAR/education
* ETH Zurich group about EPR http://www.epr.ethz.ch
* Molecular magnetism http://www.molmag.de
* Magnetic Resonance Imaging http://www.magnetic-resonance.org
* Техническая библиотека http://techlibrary.ru/
* Библиотека Гумер. Гуманитарные науки. http://www.gumer.info/bibliotek\_Buks/Pedagog/
* Федеральный портал «Российское образование» www.edu.ru
* Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» http://window.edu.ru/
* Специализированный портал по информационно-коммуникационным технологиям в образовании http://www.ict.edu.ru/
* Информационная справочно-правовая система «Консультант плюс» http://www.consultant.ru/ (некоммерческая версия)
* Справочно-информационный портал ГРАМОТА.РУ <http://www.gramota.ru/>
* <http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Spectroscopy/Magnetic_Resonance_Spectroscopies/EPR> – «Electron Paramagnetic Resonance»
* <http://joule.qfa.uam.es/epr/tutorial_uk/index.html> – «Analysis of electron paramagnetic resonance spectra»
* <http://kfti.knc.ru/educational-activities/esr-electronic-lesson/> – «ЭПР – электронный урок»
* <http://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/molspec/nmr1.htm> – «Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy»
* <http://www.magnetic-resonance.org> – «Magnetic Resonance Imaging»
* <https://www.cis.rit.edu/htbooks/mri>/ – «The Basics of MRI»
* <https://www.cis.rit.edu/htbooks/nmr/inside.htm> – «The Basics of NMR»
* <https://www.imaios.com/en/e-Courses/e-MRI> – «MRI step-by-step»
* <https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/VirtTxtJml/Spectrpy/nmr/nmr1.htm> – «NMR Spectroscopy»

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

Аудиторные занятия, самостоятельная работа по освоению дисциплины и подготовка к сдаче зачета и кандидатского экзамена проводятся в специальных помещениях (читальный зал научной библиотеки, лабораторные комнаты), оборудованных мебелью (столы, стулья), компьютерами с доступом к сети Интернет, демонстрационным оборудованием.

Обучение по дисциплине ведётся с применением как традиционных методов (лекции, 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.

В ходе лабораторных занятий аспирантам предоставляется возможность изучить специфику экспериментальных исследований поверхности с помощью методов сканирующей зондовой микроскопии, познакомится с принципами работы и возможностями современной экспериментальной аппаратуры и оборудования, используемых при проведении научных исследований в области исследований поверхности, 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;

- 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 c временным разрешением ~ 80 нс.

- Спектрометр ЭПР BER 418 S производства фирмы «Bruker», Германия, в 2008 г. оснащен специализированным криостатом производства РНЦ "Курчатовский институт", позволяющим проводить измерения при сверхнизких температурах до 0,4 К.