

Приложение \_\_  
**УТВЕРЖДЕНО**  
**приказом по ФИЦ КазНЦ РАН**  
**\_\_\_. \_\_. 2018 № \_\_ -А**

Разработано и рекомендовано к утверждению  
Ученым советом КФТИ – обособленного  
структурного подразделения  
ФИЦ КазНЦ РАН  
« 28 » ноября 2018 г., протокол № 33

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости»**

Уровень высшего образования  
Подготовка кадров высшей квалификации  
Направление подготовки

#### **03.06.01 «ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ»**

Направленность подготовки:

01.04.11 «Физика магнитных явлений»

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: аудиторные занятия 1 зачетная единица труда (36 часов), самостоятельная работа 6 зачетных единиц труда (216 часов), всего 7 зачетных единиц труда (252 часа);
- форма проведения аудиторных занятий – лекции и семинары;
- 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.**

**Целью** дисциплины «Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости» является изучение основ физики сверхпроводимости, магнитных фазовых переходов, сосуществования ферромагнетизма и сверхпроводимости в сплавах и интерметаллических соединениях, особенностей сверхпроводимости и магнетизма в сильнокоррелированных электронных системах, взаимосвязи магнетизма и сверхпроводимости в высокотемпературных сверхпроводниках и мультислоях сверхпроводник/ферромагнетик. Предполагается освоение фундаментальных основ сверхпроводимости, закономерностей, связанных с взаимодействием сверхпроводимости и магнетизма в высокотемпературных сверхпроводниках и слоистых тонкопленочных структурах сверхпроводник/ферромагнетик.

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

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», направленность (профиль)

01.04.11 «Физика магнитных явлений». Индекс (по учебному плану) – **Б1.В.ДВ.1**. Дисциплина изучается в **5** и **6** семестрах.

Актуальность курса обусловлена большой практической значимостью явления сверхпроводимости в энергетике будущего и спинтронике.

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 и физики твердого тела.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

*универсальных*

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- 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);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);

*общепрофессиональных*

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

*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 в области магнетизма и сверхпроводимости (*шифр формируемого результата обучения З(УК-1)-1*);
- роль и место теории взаимовлияния магнетизма и сверхпроводимости в современной физике твердого тела (*шифр формируемого результата обучения З(УК-2)-2*);
- особенности научной терминологии, понятийный аппарат магнетизма и сверхпроводимости, используемые при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме (*шифр формируемого результата обучения З(УК-3)-1*);
- основы теории сверхпроводимости и магнетизма в твердых телах (*шифр формируемого результата обучения З(ПК-1)-1*);
- проявления взаимовлияния магнетизма и сверхпроводимости в различных физических системах: сплавах, интерметаллических соединениях, сильнокоррелированных электронных системах, высокотемпературных сверхпроводниках и мультислоях сверхпроводник/ферромагнетик (*шифр формируемого результата обучения З(ПК-1)-1*);
- существующие методы и методические подходы в научных исследованиях взаимосвязи магнетизма и сверхпроводимости и возможные способы их развития (*шифр формируемого результата обучения З(ПК-3)-1*);

### *Уметь:*

- анализировать альтернативные варианты решения практических задач магнетизма и сверхпроводимости и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (*шифр формируемого результата обучения У(УК-1)-1*);
- выбирать и применять при решении задач магнетизма и сверхпроводимости адекватные экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования (*шифр формируемого результата обучения У(ОПК-1)-1*);

### *Владеть:*

- навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области магнетизма и сверхпроводимости (*шифр формируемого результата обучения (ОПК-1)-1*);

- навыками проведения экспериментальных исследований сверхпроводящих материалов (*шифр формируемого результата обучения В(ПК-1)-1*);

#### 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 | Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости | 2    | 20  | 8                    | 8                    | 216                    |

Форма итогового контроля – зачет

#### 5. Содержание дисциплины.

##### 5.1 Лекционные занятия 0,6 з.е. (20 часов)

| № п/п | Наименование раздела дисциплины              | Содержание раздела   |
|-------|--|--|
| 1     | Сверхпроводимость                            | Сверхпроводимость. Основные свойства сверхпроводников. Сверхпроводники I и II рода. Энергетическая щель. Основы микроскопической теории сверхпроводимости. Различные типы спаривания и их симметрия. Сверхпроводимость в системах с неоднородным параметром порядка.         |
| 2     | Магнитные фазовые переходы                   | Магнитные фазовые переходы. Критические явления (критические индексы и соотношения между ними). Связь фазовых переходов с симметрией. Фазовые переходы в малоразмерных магнитных системах. Квантовые флуктуации в спиновых системах. Явления фрустрации в фазовых переходах. |
| 3.    | Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости | Особенности магнетизма в сильно-коррелированных электронных системах. Существование ферромагнетизма и сверхпроводимости в сплавах и интерметаллических соединениях. Магнитное упорядочение примесей в  |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | сверхпроводящем состоянии. Существование ферромагнетизма и сверхпроводимости в слоистых тонкопленочных системах сверхпроводник/ферромагнетик. Эффект близости сверхпроводник/ферромагнетик. Подавление температуры сверхпроводящего перехода за счет эффекта близости. Перестройка магнитной структуры в ферромагнитном слое под воздействием сверхпроводимости. |
|--|--|--|

Самостоятельная работа 3,3 з.е. (120 часов)

5.2. Лабораторные занятия 0,2 з.е. (8 часов).

| <b>№ п/п</b> | <b>Наименование раздела дисциплины</b>       | <b>Примеры выполняемых экспериментальных работ</b>   |
|--------------|--|--|
| 1            | Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости | Измерение сверхпроводящих параметров образцов (температура сверхпроводящего перехода, критическое поле). |
| 2            | Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости | Измерение петель гистерезиса с помощью СКВИД магнитометра.   |

Самостоятельная работа 1,3 з.е. (48 часов)

5.3. Практические занятия – семинары (объем – 16 часов).

| <b>№ п/п</b> | <b>Наименование раздела дисциплины</b>       | <b>Тематика семинаров</b>  |
|--------------|--|--|
| 1.           | Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости | Нобелевская лекция: Микроскопическая теория сверхпроводимости (J. Bardeen, L.N. Cooper, J.R. Schrieffer, 1972) Доклад на основе лекции и дискуссия |
|              | Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости | Нобелевская лекция: Слабая сверхпроводимость. Эффект Джозефсона (B.D. Josephson, 1973) Доклад на основе лекции и дискуссия                         |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|  | Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости | Нобелевская лекция:<br>Гигантское магнетосопротивление<br>(A. Fert, P. Gruenberg, 2007)<br>Доклад на основе лекции и дискуссия |
|  | Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости | 4. СКВИД-магнитометр   |

Самостоятельная работа 1,3 з.е. (48 часов)

#### **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.

#### **I. Контрольные темы и вопросы для проведения текущего и итогового контроля по дисциплине «Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости»:**

##### **Тема 1 Сверхпроводимость. Основные свойства сверхпроводников. Сверхпроводники I и II рода.**

Сверхпроводящие материалы. Эффект Мейснера. Разрушение сверхпроводимости магнитным полем. Сверхпроводники I и II рода.

##### **Тема 2 Энергетическая щель. Основы микроскопической теории сверхпроводимости.**

Теплоемкость. Поглощение СВЧ излучения. Релаксация ядерного спина. Туннельный эффект. Электрон-фононное взаимодействие. Куперовские пары. Энергия основного состояния. Энергетическая щель при 0 К. Симметрия энергетической щели. Туннельный эффект Джозефсона.

**Тема 3 Фазовые переходы в малоразмерных магнитных системах. Фрустрации.**

Ближний порядок. Модель Изинга. Дальний порядок. Параметр дальнего порядка. Квантовые флуктуации. Фрустрации.

**Тема 4 Особенности магнетизма в сильно коррелированных электронных системах.**

Сильно коррелированные электроны и сверхпроводимость. Высокотемпературная сверхпроводимость. Квантовые критические явления и магнитные свойства. Сильно коррелированные системы различной природы.

**Тема 5 Сосуществование ферромагнетизма и сверхпроводимости в сплавах и интерметаллических соединениях. Магнитное упорядочение примесей в сверхпроводящем состоянии.**

Парамагнитные примеси в сверхпроводниках. s-d модель. Теория Абрикосова–Горькова. Невозможность реализации ферромагнетизма в сверхпроводящем состоянии. Возможный тип магнитного упорядочения в сверхпроводнике. Экспериментальное наблюдение этого порядка.

**Тема 6 Сосуществование ферромагнетизма и сверхпроводимости в слоистых тонкопленочных системах сверхпроводник/ферромагнетик.**

Эффект близости сверхпроводник/нормальный металл. Эффект близости сверхпроводник/ферро-магнетик. Подавление температуры сверхпроводящего перехода за счет эффекта близости. Возвратная сверхпроводимость. Эффект спинового клапана.

**Тема 7 Перестройка магнитной структуры в ферромагнитном слое под воздействием сверхпроводимости.**

Теория Буздина, основанная на термодинамическом подходе. Теория Берджерет и др. Экспериментальное наблюдение перестройки магнитной структуры в двухслойных пленках сверхпроводник/ферромагнетик.

**II. Критерии оценки и шкала оценивания результатов освоения дисциплины «Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости»:**

| № п/п         | Результат освоения дисциплины  | Балл | Показатели оценивания        |
|---------------|--|------|------------------------------|
| <b>Знание</b> |  |      |                              |
| 1.            | методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области магнетизма и | 1    | недостаточный уровень знания |
|               |  | 2    | достаточный уровень знания   |
|               |  | 3    | высокий уровень знания       |

|                 |   |   |                              |
|-----------------|---|---|------------------------------|
|                 | сверхпроводимости   |   |                              |
| 2.              | роли и места теории взаимовлияния магнетизма и сверхпроводимости в современной физике твердого тела   | 1 | недостаточный уровень знания |
|                 |   | 2 | достаточный уровень знания   |
|                 |   | 3 | высокий уровень знания       |
| 3.              | особенностей научной терминологии, понятийного аппарата магнетизма и сверхпроводимости, 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 сверхпроводимости и магнетизма в твердых телах   | 1 | недостаточный уровень знания |
|                 |   | 2 | достаточный уровень знания   |
|                 |   | 3 | высокий уровень знания       |
| 5.              | проявлений взаимовлияния магнетизма и сверхпроводимости в различных физических системах: сплавах, интерметаллических соединениях, сильнокоррелированных электронных системах, высокотемпературных сверхпроводниках и мультислоях сверхпроводник/ферромагнетик | 1 | недостаточный уровень знания |
|                 |   | 2 | достаточный уровень знания   |
|                 |   | 3 | высокий уровень знания       |
| 6.              | существующих методов и методических подходов в научных исследованиях взаимовлияния магнетизма и сверхпроводимости и возможных способов их развития  | 1 | недостаточный уровень знания |
|                 |   | 2 | достаточный уровень знания   |
|                 |   | 3 | высокий уровень знания       |
| <b>Умение</b>   |   |   |                              |
| 1.              | анализировать альтернативные варианты решения практических задач магнетизма и сверхпроводимости 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 магнетизма и сверхпроводимости адекватные экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования   | 1 | не умеет                     |
|                 |   | 2 | частично освоенное умение    |
|                 |   | 3 | сформированное умение        |
| <b>Владение</b> |   |   |                              |
| 1.              | навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области магнетизма и сверхпроводимости  | 1 | не владеет                   |
|                 |   | 2 | частично освоенные навыки    |
|                 |   | 3 | сформированные навыки        |
| 2.              | навыками проведения экспериментальных исследований сверхпроводящих материалов   | 1 | не владеет                   |
|                 |   | 2 | частично освоенные           |

|  |                     |          |                       |
|--|---------------------|----------|-----------------------|
|  |                     |          | навыки                |
|  |                     | 3        | сформированные навыки |
|  | <b>Итого баллов</b> | 20–30    | <b>«зачтено»</b>      |
|  |                     | менее 20 | <b>«не зачтено»</b>   |

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

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. С.В. Вонсовский. Магнетизм. – М.: Наука, 1984.
2. С.В. Вонсовский, М.И. Кацнельсон Квантовая физика твердого тела. – М.: Наука, 1983.
3. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.
4. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. – М.: Мир, 1974.
5. Дж. Займан. Модели беспорядка. – М.: Мир, 1982.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Р. Уайт. Квантовая теория магнетизма. – М.: Мир, 1985.
2. Р. Уайт, Т. Джебелл. Дальний порядок в твердых телах. – М. «Мир», 1982.
3. Э. Линтон. Сверхпроводимость. – М. «Мир», 1971.
4. В.В. Шмидт. Введение в физику сверхпроводимости. – М.: Наука, 2000.
5. Д. Сан –Жам, Г. Сарма, Е. Томас. Сверхпроводимость второго рода. – М. Мир, 1970.
6. G.T. Rado and H. Suhl. Magnetism Vol.5. – New York and London, 1973.

### **ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»**

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

- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [www.elibrary.ru](http://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](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. 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>
- 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/](http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Pedagog/)
- Федеральный портал «Российское образование» [www.edu.ru](http://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/>

## **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 – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН по профилю подготовки, представление докладов на научной конференции молодых ученых КФТИ – обособленное структурное подразделение 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) посвящены подробному обсуждению лекций лауреатов Нобелевской премии по физике 1972, 1973 и 2007 годов, посвященных проблемам магнетизма и сверхпроводимости.

В ходе лабораторных занятий аспирантам предоставляется возможность изучить специфику экспериментальных исследований сверхпроводящих

материалов, познакомится с принципами работы и возможностями современной экспериментальной аппаратуры и оборудования, 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 – обособленное структурное подразделение 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 – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН:

- Установка для измерения электросопротивления в магнитном поле до 10 кЭ и при температуре до 1.5 К.
- СКВИД магнитометр, позволяющий проводить измерения в магнитных полях до 10 кЭ и до температур 1.5

- Спектрометр ЭПР BE-R418 для исследования в стационарном режиме стабильных парамагнитных центров в X-диапазоне.

**9. Язык преподавания: русский**