

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: *Электродинамика сверхпроводников*

2. Уровень высшего образования – *магистратура*

3. Направление подготовки: *03.04.02 Физика (магистратура)*

4. Аннотация: «*Электродинамика сверхпроводников*» является дисциплиной по выбору студента в магистерской программе «Квантовые и оптические технологии». Дисциплина обеспечивает теоретическую подготовку студентов в области электродинамики сверхпроводников. В курсе рассматривается явление сверхпроводимости, электродинамические характеристики сверхпроводников первого и второго рода, прикладные вопросы применения явления сверхпроводимости для передачи электроэнергии.

5. *Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа*, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа 16 часов занятия семинарского типа, включая 2 часа групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. *Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:*

Компетенции ПК-1; ПК-2; ПК-5; ПК-6; ОНК-5

Для того чтобы формирование компетенций по данной дисциплине было возможно, обучающийся, приступивший к освоению образовательной программы, должен:

ЗНАТЬ: основные методы научно-исследовательской деятельности.

УМЕТЬ: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач.

ВЛАДЕТЬ: навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.

6. *Содержание дисциплины*, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
<ul style="list-style-type: none"> • Явление сверхпроводимости Фазовая диаграмма перехода нормальный	8	2	2				4	2	2	4

<p>металл — сверхпроводник первого рода. Фазовые переходы 1 и 2 рода.</p> <p>Критическая температура и критическое магнитное поле при $T = 0$ наиболее известных сверхпроводников первого рода.</p> <p>Энтропия сверхпроводника. Теплоемкость сверхпроводника. Формула Рутгерса. Термодинамическое критическое магнитное поле.</p>										
<p>• <i>Феноменологическое описание электродинамики СП</i></p> <p>Теория Лондонов. Первое и второе уравнения. Глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник.</p>	8	2	2				4	4		4
<p>• <i>Локальная и нелокальная электродинамика сверхпроводников.</i></p> <p>Пиппардовская глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник.</p> <p>Поле и ток в пластине при наличии и отсутствии магнитного поля, параллельного поверхности пластины.</p> <p>Кинетическая индуктивность круглого сверхпроводящего провода и тонкой пленки.</p>	8	2	2				4	4		4

<p>• Теория Гинзбурга – Ландау (Г-Л)</p> <p>Основные положения. Однородный сверхпроводник без внешнего поля. Неоднородный сверхпроводник в магнитном поле. Первое и второе уравнения ГЛ.</p> <p>Нормированные уравнения Г-Л, градиентная инвариантность уравнений Г-Л.</p> <p>Смысл характерных длин в уравнениях Г-Л. Параметр Гинзбурга-Ландау. Энергия SN границы. Сверхпроводники 1го и 2го рода. Квантование магнитного потока.</p> <p>Критическое поле и критический ток тонкой пленки. Ток распаривания.</p>	12	4	2				6	4	2	6
<p>• Сверхпроводники 2 го рода.</p> <p>Вихревые образования и их электродинамика. Поле в центре вихря, энергия на единицу длины вихревой нити.</p> <p>Взаимодействие вихрей. Энергия двух вихрей на фоне энергии сверхпроводника без вихрей. Сила Лоренца, действующая на единицу длины вихря. Второе критическое поле.</p> <p>Поверхностная сверхпроводимость. Третье критическое поле. Фазовая диаграмма</p>	10	2	2				4	4		4

сверхпроводника второго рода.										
<ul style="list-style-type: none"> Критический ток в сверхпроводниках второго рода. <p>Барьер Бина – Ливингстона. Взаимодействие вихрей с центрами пиннинга – плоской поверхностью и полостью.</p> <p>Магнитный момент и намагниченность сверхпроводника второго рода. Приближение Бина. Гистерезис намагничивания. Потери энергии на перемагничивание. Устройство и принцип работы измерителя магнитного момента на основе СКВИДа. Способы измерения величины критического тока.</p>	8	2	2				4	2	2	4
<ul style="list-style-type: none"> Резистивное состояние в пленке сверхпроводника второго рода. <p>Величина сопротивления flux-flow. Вольт-амперная характеристика сверхпроводника второго рода. Скорость движения вихрей.</p> <p>Флуктуационные явления в сверхпроводниках. Критерий Гинзбурга-Ландау, его значения для обычных и высокотемпературных сверхпроводников. Границы применимости теории</p>	8	2	2				4	4		4

Гинзбурга-Ландау.										
<ul style="list-style-type: none"> • Сверхпроводники второго рода в перпендикулярном магнитном поле. <p>Вихревые структуры в анизотропных сверхпроводниках второго рода. Линия необратимости. Крип магнитного потока. Сверхпроводник второго рода в перпендикулярном поле. Отличия в распределениях тока и поля от модели Бина.</p>	8	2	2				4	4		4
Промежуточная аттестация	2		2				2		2	2
Итого	72	18	18				36	28	8	36

* Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

- Печатная версия презентации материала лекций, Программа курса,
- Список вопросов для контроля успеваемости.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Список вопросов для контроля успеваемости и сдачи зачета:

1. Фазовая диаграмма перехода нормальный металл — сверхпроводник первого рода. Фазовые переходы 1 и 2 рода.

2. Критическая температура и критическое магнитное поле при $T = 0$ наиболее известных сверхпроводников первого рода. Термодинамическое магнитное поле.
3. Энтропия сверхпроводника. Теплоемкость сверхпроводника. Формула Рутгерса.
4. Теория Лондонов. Первое и второе уравнения. Глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник.
5. Локальная и нелокальная электродинамика сверхпроводников. Пиппардовская глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник.
6. Поле и ток в пластине при наличии и отсутствии магнитного поля, параллельного поверхности пластины.
7. Кинетическая индуктивность круглого сверхпроводящего провода и тонкой пленки.
8. Теория Гинзбурга – Ландау (Г-Л). Основные положения. Однородный сверхпроводник без внешнего поля. Неоднородный сверхпроводник в магнитном поле. Первое и второе уравнения ГЛ.
9. Нормированные уравнения Г-Л, градиентная инвариантность уравнений Г-Л.
10. Смысл характерных длин в уравнениях Г-Л. Параметр Гинзбурга-Ландау. Энергия SN границы. Сверхпроводники 1го и 2го рода. Квантование магнитного потока.
11. Критическое поле и критический ток тонкой пленки. Ток распаривания.
12. Сверхпроводники 2 го рода. Вихревые образования и их электродинамика. Поле в центре вихря, энергия на единицу длины вихревой нити.
13. Взаимодействие вихрей. Энергия двух вихрей на фоне энергии сверхпроводника без вихрей. Сила Лоренца, действующая на единицу длины вихря. Второе критическое поле.
14. Поверхностная сверхпроводимость. Третье критическое поле. Фазовая диаграмма сверхпроводника второго рода.
15. Барьер Бина – Ливингстона. Критический ток в сверхпроводниках второго рода. Взаимодействие вихрей с центрами пиннинга – плоской поверхностью и полостью.
16. Магнитный момент и намагниченность сверхпроводника второго рода. Приближение Бина. Гистерезис намагничивания. Потери энергии на перемагничивание. Устройство и принцип работы измерителя магнитного момента на основе СКВИДа. Способы измерения величины критического тока.
17. Резистивное состояние в пленке сверхпроводника второго рода. Величина сопротивления flux-flow. Вольт-амперная характеристика сверхпроводника второго рода. Скорость движения вихрей.

18. Флуктуационные явления в сверхпроводниках. Критерий Гинзбурга-Ландау, его значения для обычных и высокотемпературных сверхпроводников. Границы применимости теории Гинзбурга-Ландау.

19. Вихревые структуры в анизотропных сверхпроводниках второго рода. Линия необратимости. Крип магнитного потока.

20. Сверхпроводник второго рода в перпендикулярном поле. Отличия в распределениях тока и поля от модели Бина.

Планируемые результаты обучения*	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач	Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
ВЛАДЕТЬ: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач.	В целом успешное, но не систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач.	Успешное и систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач.

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

[1] В.В. Шмидт. Введение в физику сверхпроводников. М, МНЦМО, 2000.

[2] А.А. Абрикосов. Основы теории металлов. М. Наука, 1957

Дополнительная литература

[1] Bean C.P. Magnetization of High-Field Superconductors // Rev. Mod. Phys 36 (1964) 31.

[2] Mikheenko P.N., Kuzovlev Yu.E. Inductance measurements of HTSC films with high critical currents // Physica C 204. 1993, p. 229 – 236.

[3] Zhu J., Mester J., Lockhart J. et al. Critical states in 2D disk-shaped type-II superconductors in periodic external magnetic field // Physica C 212. 1993, p. 216-222.

[4] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика том 8: Электродинамика сплошных сред // Москва, Наука. 1982.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

www.phys.msu.ru

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

- Печатная копия лекционной презентации, Программа курса,
- Список вопросов для контроля успеваемости и сдачи зачета.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

- Компьютерная презентация

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

- Компьютер, проектор, экран.