

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА СИЛЬНОКОРРЕЛИРОВАННЫХ СИСТЕМ (PHYSICS OF STRONGLY
CORRELATED SYSTEMS)

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
3	3	108	32	0	0		76	0	3
Итого	3	108	32	0	0	0	76	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе дается систематическое изложение теории сильнокоррелированных электронных систем, основных экспериментальных фактов и применений.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Задача курса – показать состояние одного из перспективных разделов современной физики твердого тела, дать основные подходы и теоретические модели.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Цикл: М2 – профессиональный цикл, вариативная часть.

При освоении дисциплины предполагается, что студенты знакомы с содержанием таких курсов, как уравнения математической физики, теория поля, квантовая механика, атомная физика, спектроскопия, физика твердого тела, взаимодействие излучения с веществом,.

В результате изучения курса студент должен знать основные модели и применения систем с сильными электронными корреляциями.

Овладение данной дисциплиной необходимо выпускникам магистерской программы «Физика твёрдого тела и фотоника» профиля подготовки «Физика конденсированного состояния вещества» для следующих областей профессиональной деятельности по исследованию и разработке:

- установок и систем в области физики конденсированного состояния вещества;
- новых перспективных материалов с магнитными и сверхпроводящими свойствами.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам	Запланированные этапы исследования; результаты наблюдений и	ПК-20.1 [1] - Способен пользоваться основными теоретическими	З-ПК-20.1[1] - знать основные теоретические модели физики

<p>(этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований; участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных теоретических моделей, экспериментальных данных и компьютерных технологий.</p>	<p>измерений.</p>	<p>моделями физики конденсированного состояния вещества, взаимодействия излучения с веществом в конденсированном состоянии, моделями фазовых переходов и физики сверхпроводимости, экспериментальными методами исследования структурных и электронных свойств, современными достижениями физики сверхпроводимости, полупроводников и гетероструктур.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 26.003</p>	<p>конденсированного состояния вещества, модели взаимодействия оптического излучения с веществом, классификацию фазовых переходов, основные экспериментальные факты и применения физики сверхпроводимости и криогенной техники, современные достижения физики полупроводников и гетероструктур; У-ПК-20.1[1] - уметь сформулировать теоретическую и математическую модель для изучаемой задачи физики конденсированного состояния вещества, провести необходимые расчеты величин и оценки параметров; В-ПК-20.1[1] - владеть основными теоретическими моделями физики конденсированного состояния вещества, взаимодействия излучения с веществом, физики фазовых переходов и сверхпроводимости</p>
<p>Участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении</p>	<p>Физические, математические и компьютерные модели явления; компьютерные программы и алгоритмы для научно-исследовательских и прикладных целей.</p>	<p>ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и</p>	<p>З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования</p>

аналитических исследований в предметной области по профилю специализации, выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты; участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей.		<p>количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>современных научных методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств.</p> <p>; У-ПК-1[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива;</p> <p>В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы.</p>
педагогический			
Проведение семинарских и лабораторных занятий со студентами по курсам из области физики конденсированного состояния вещества: физика твёрдого тела, физика полупроводников, наноструктур, низких температур, сверхпроводимости и	Занятия по профильным предметам в университете.	<p>ПК-12 [1] - Способен преподавать специальные дисциплины в области общей, прикладной и фундаментальной физики, включая проведение лабораторных работ</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 01.003</p>	<p>З-ПК-12[1] - Знать основные цели и задачи, особенности содержания и организации педагогического процесса на основе компетентностного подхода;</p> <p>психологические особенности обучающихся, особенности педагогического</p>

<p>взаимодействия излучения с веществом; проведение практикумов и лабораторных работ по учебным курсам, связанным с математическим моделированием в физике конденсированного состояния вещества; организация и проведение контрольных и самостоятельных работ, тестирований и других контрольных мероприятий по курсам из области физики конденсированного состояния вещества.</p>			<p>взаимодействия в условиях изменяющегося образовательного пространства. ; У-ПК-12[1] - Уметь организовывать образовательно-воспитательный процесс в изменяющихся социокультурных условиях; применять психолого-педагогические знания в области общей, прикладной и фундаментальной физики.; В-ПК-12[1] - Владеть навыками преподавания специальных дисциплин в области общей, прикладной и фундаментальной физики, включая проведение лабораторных работ.</p>
--	--	--	---

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>3 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	16/0/0		25	КИ-8	3-ПК-20.1, У-ПК-20.1, В-ПК-20.1, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12
2	Часть 2	9-16	16/0/0		25	КИ-16	3-ПК-20.1,

							У-ПК-20.1, В-ПК-20.1, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		32/0/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	3	З-ПК-20.1, У-ПК-20.1, В-ПК-20.1, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	32	0	0
1-8	Часть 1	16	0	0
1	Тема 1 Типы основного состояния твердых тел. Понятие о сильнокоррелированных электронных системах (СКЭС). Примеры систем с необычным основным состоянием. Роль размерности и электронных корреляций в формировании основного состояния.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Тема 2 Основные взаимодействия в металлах и их конкуренция в формировании основного состояния и физических свойств. Косвенное обменное взаимодействие, гибридизация и Кондовское взаимодействие, потенциал кристаллического электрического поля, взаимодействие с решеткой.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Тема 3 Эффект Кондо. Фундаментальные отличия систем на основе ионов с частично заполненными атомными	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		

	оболочками (3,4,5)d, 4f и 5f электронов.	0	0	0
4	Тема 4 Стеклозное состояние. Фрустрация. Теплоемкость и магнитная восприимчивость спинового стекла. Эффекты памяти. Транспортные свойства систем в стекловом состоянии. Киральное спиновое стекло.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Тема 5 Слоистые магнитные системы. Гиганское магнитосопротивление (ГМС). Основные типы мультислойных систем. Магнитные полупроводники. Манганиты. Природа фазового расслоения. Электронное и магнитопримесное расслоения фаз. Применение ГМС.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Тема 6 Магнитные туннельные структуры (МТС). Классический и магнитный туннельные переходы. Модель Жульера МТС. Материалы для МТС. Магнитные туннельные контакты на основе манганитов. Спиновые детекторы. Эффекты переключения в МТС. Детектирующие свойства МТС.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	Тема 7 Тяжелые фермионы (ТФ). Сравнение физических свойств ТФ и нормальных металлов. Решетка Кондо. Концепция Ферми-жидкости Ландау. Соотношения Зомерфельда и Кадоваки-Вуда. Модель Андерсона. Модель Дониаха. Композитные фермионы.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Тема 8 Кондо изоляторы. Аналогия с полупроводниками. Переход изолятор-металл в изоляторе Кондо под действием магнитного поля. Сверхпроводимость в соединениях с тяжелыми фермионами. Нефононный механизм сверхпроводимости.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Часть 2	16	0	0
9 - 10	Тема 9 Квантовая критичность. Роль квантовых флуктуаций. Переход классическая критичность – квантовая критичность. Квантовая критичность, как основа возникновения высокотемпературной сверхпроводимости и состояния с тяжелыми фермионами.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	Тема 10 Низкоразмерные системы. Пайерлсовская неустойчивость на примере одномерного металла. Электронная восприимчивость (функция Линхарда). Жидкость Томанаго-Латинжера. Спиново-зарядовое расслоение. Вигнеровская кристаллизация. Переход спин-Пайерлса. Зарядовое упорядочение. Фрелиховская проводимость.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Тема 11 Волны зарядовой (ВЗП) и спиновой плотности (ВСП). Коллективный вклад в проводимость. Узкополосная генерация и ступеньки Шапиро. Полупроводниковая модель ВЗП. Квазидвумерные соединения с ВЗП.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	Тема 12 Технические приложения СКЭС: термоэлектрические преобразователи энергии; магнетокалорические	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		

	преобразователи; высокотеплоемкие добавки к сверхпроводникам; инвары; механические приводы; системы с коллапсом f-электронной оболочки.	0	0	0
--	---	---	---	---

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия с применением компьютерных технологий и в виде лекций и самостоятельная работа студентов, заключающаяся в изучении пройденного материала и подготовке к письменным тестам. Для того чтобы дать современное состояние физики сильнокоррелированных систем, предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по данной теме. Рекомендуется посещение студентами научных семинаров и конференций, в том числе, проводимых в рамках Научной сессии НИЯУ МИФИ, а также в других московских университетах и институтах.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
ПК-12	З-ПК-12	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-12	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-12	З, КИ-8, КИ-16
ПК-20.1	З-ПК-20.1	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-20.1	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-20.1	З, КИ-8, КИ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«Не зачтено»	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 К55 Введение в нанотехнологию : , Кобаяси Н., М.: Бином, Лаборатория знаний, 2008

2. 538.9 Б87 Квазичастицы в физике конденсированного состояния : , Кульбачинский В.А., Брандт Н.Б., Москва: Физматлит, 2016
3. ЭИ Б 87 Квазичастицы в физике конденсированного состояния : учебное пособие, Кульбачинский В. А., Брандт Н. Б., Москва: Физматлит, 2010
4. 53 К31 Квантовые сильнокоррелированные системы: современные численные методы : учебное пособие для вузов, Красавин А.В., Кашурников В.А., Москва: МИФИ, 2007
5. ЭИ К31 Квантовые сильнокоррелированные системы: современные численные методы : учебное пособие для вузов, Красавин А.В., Кашурников В.А., Москва: МИФИ, 2007
6. ЭИ М 34 Материаловедение сверхпроводников на основе ВТСП, диборида магния и пниктидов : Учебное пособие, Цаплева А.С. [и др.], М.: НИЯУ МИФИ, 2019
7. 539.2 М 34 Материалы современной электроники и спинтроники : , Кажева О. Н. [и др.], Москва: Физматлит, 2019
8. ЭИ К31 Методы Монте-Карло для физических систем : учебное пособие, Красавин А.В., Кашурников В.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
9. ЭИ Б 22 Моноксид европия для спинтроники : , Трошин А. В. [и др.], Санкт-Петербург: Лань, 2022
10. ЭИ А 76 Основы спинтроники : , Аплеснин С. С., Санкт-Петербург: Лань, 2022
11. 539.2 Ф50 Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела : учебное пособие для вузов, Троян В.И. [и др.], Москва: МИФИ, 2008
12. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.8 Сверхпроводящие материалы, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2021

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 К55 Введение в нанотехнологию : , Кобаяси Н., Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2005
2. ЭИ Т 41 Возбуждения в двумерных сильнокоррелированных электронных и электронно-дырочных системах : Высшая школа физики / ред. коллегия серии: В.П. Смирнов пред. [и др.]; вып. 3, Тимофеев В.Б., Москва: МЭИ, 2016
3. 621.3 И39 Высокотемпературные сверхпроводники на основе FeAs - соединений : , Изюмов Ю.А., Курмаев Э.З., Москва. Ижевск: Институт компьютерных исследований. Регулярная и хаотическая динамика, 2010
4. 538.9 Б87 Квазичастицы в физике конденсированного состояния : , Кульбачинский В.А., Брандт Н.Б., М.: Физматлит, 2005
5. 539.2 А67 Квантовая теория кристаллических твердых тел : , Анималу А., М.: Мир, 1981

6. 537 У13 Квантовая теория магнетизма : , Уайт Р., М.: Мир, 1985
7. 539.2 П58 Лекции по физике поверхности Ч.1 , Попов А.П., М.: МИФИ, 1994
8. 538.9 К 90 Физика наносистем : , Кульбачинский В.А., Москва: ФИЗМАТЛИТ®, 2022
9. 538.9 З-56 Физика поверхности : , Зенгуил Э., М.: Мир, 1990
10. 539.2 А98 Физика твердого тела Т.1 , Ашкрофт Н. , М.: Мир, 1979
11. 539.2 А98 Физика твердого тела Т.2 , Ашкрофт Н. , М.: Мир, 1979
12. 539.2 И39 Электронная структура соединений с сильными корреляциями : , Анисимов В.И., Изюмов Ю.А., Москва. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2009

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. сайт кафедры №70 НИЯУ МИФИ (<http://kaf70.mephi.ru/>)
2. сайт Американского физического общества (<http://www.aps.org>)
3. сайт издательства Elsevier ()

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При освоении дисциплины предполагается, что студенты знакомы с содержанием таких курсов, как уравнения математической физики, теория поля, электродинамика, квантовая механика, атомная физика, спектроскопия, физика твердого тела, электротехника и электроника, взаимодействие излучения с веществом, фазовые переходы в конденсированных средах.

Программой курса предусмотрено, что студент должен освоить основные понятия и закономерности, относящиеся к физическим явлениям, дающим основу сильнокоррелированным электронным системам (СКЭС).

При изучении сильнокоррелированных электронных систем необходимо уяснить роль размерности и электронных корреляций в формировании основного состояния. Знать основные взаимодействия в металлах, такие как косвенное обменное взаимодействие, гибридизация, кондовское взаимодействие, потенциал кристаллического электрического поля, взаимодействие с решеткой и роль их конкуренции в формировании основного состояния и физических свойств.

Понимать отличия СКЭС от нормальных металлов: термодинамические, транспортные, магнитные свойства. Знать статические и динамические свойства СКЭС и их взаимосвязь.

Ориентироваться в теоретических методах и моделях в физике СКЭС.

Владеть описанием СКЭС при помощи корреляционных функций, критериями универсальности в физике СКЭС и низкоразмерных систем.

Знать основные экспериментальные методы исследования СКЭС,

Ориентироваться в технических приложениях СКЭС.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При освоении дисциплины предполагается, что студенты знакомы с содержанием таких курсов, как уравнения математической физики, теория поля, электродинамика, квантовая механика, атомная физика, спектроскопия, физика твердого тела, электротехника и электроника, взаимодействие излучения с веществом, фазовые переходы в конденсированных средах.

Программой курса предусмотрено, что студент должен освоить основные понятия и закономерности, относящиеся к физическим явлениям, дающим основу сильнокоррелированным электронным системам (СКЭС).

При изучении сильнокоррелированных электронных систем необходимо уяснить роль размерности и электронных корреляций в формировании основного состояния. Знать основные взаимодействия в металлах, такие как косвенное обменное взаимодействие, гибридизация, кондовское взаимодействие, потенциал кристаллического электрического поля, взаимодействие с решеткой и роль их конкуренции в формировании основного состояния и физических свойств. Понимать отличия СКЭС от нормальных металлов: термодинамические, транспортные, магнитные свойства. Знать статические и динамические свойства СКЭС и их взаимосвязь.

Ориентироваться в теоретических методах и моделях в физике СКЭС.

Владеть описанием СКЭС при помощи корреляционных функций, критериями универсальности в физике СКЭС и низкоразмерных систем.

Знать основные экспериментальные методы исследования СКЭС,

Ориентироваться в технических приложениях СКЭС.

Автор(ы):

Синченко Александр Андреевич, к.ф.-м.н.

Красавин Андрей Валерьевич, к.ф.-м.н., доцент