

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
СВЕРХПРОВОДНИКОВАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

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
2	3	108	30	0	0	78	0	3
Итого	3	108	30	0	0	78	0	

АННОТАЦИЯ

Цель курса - показать направления крупномасштабных применений сверхпроводимости в различных областях человеческой деятельности, главным образом в электроэнергетике. Дать ориентацию по современному использованию сверхпроводимости в электроэнергетике, перспективных проектах и направлениях исследований.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Научить основным физическим принципам работы сверхпроводящих устройств, методам их расчета и конструирования, испытаниям и анализа. Дать ориентацию по современному использованию сверхпроводимости в электроэнергетике, перспективных проектах и направлениях исследований.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими дисциплинами: избранные главы общей физики, физика твердого тела, фазовые переходы в конденсированных средах, современные проблемы в физике твердого тела, низкотемпературная техника в физическом эксперименте, экспериментальные методы физики сверхпроводимости.

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
	инновационный;		
сбор и анализ информационных источников и исходных данных для планирования и разработки исследовательских проектов; подготовка	научно-технические и организационные решения	ПК-6 [1] - Способен разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности научно-производственного коллектива,	З-ПК-6[1] - Знать основы планирования и организации научных инновационных исследований в профессиональной области; правила и принципы научной

<p>исходных данных для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; участие в разработке и реализации проектов исследовательской и инновационной направленности в команде исполнителей.</p>		<p>осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022</p>	<p>этики, методики оценки инновационных проектов. ; У-ПК-6[1] - Уметь оценивать и развивать инновационный потенциал новых научных и научно-технологических разработок, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов.; В-ПК-6[1] - Владеть навыками планирования организации инновационной деятельности научно-производственного коллектива и технико-экономической оценки (экспертизы) инновационных проектов</p>
<p>сбор и анализ информационных источников и исходных данных для планирования и разработки исследовательских проектов; подготовка исходных данных для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; участие в разработке и реализации проектов исследовательской и инновационной направленности в команде исполнителей.</p>	<p>научно-технические и организационные решения</p>	<p>ПК-22.3 [1] - Способен ориентироваться в основных фазовых переходах, основных теоретических подходах к их описанию и исследованию, основных экспериментальных фактах физики сверхпроводимости и криогенной техники, их применениях в экспериментальной технике и промышленности</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022</p>	<p>3-ПК-22.3[1] - знать классификацию фазовых переходов, основные экспериментальные факты и применения физики сверхпроводимости и криогенной техники ; У-ПК-22.3[1] - уметь предложить схему эксперимента для исследования фазовых переходов в современных материалах, применения современных сверхпроводящих материалов ; В-ПК-22.3[1] - владеть основными теоретическими моделями и экспериментальными</p>

			фактами физики фазовых переходов и сверхпроводимости
--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	20/0/0		25	КИ-8	3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-22.3, У-ПК-22.3, В-ПК-22.3
2	Часть 2	9-15	10/0/0		25	КИ-15	3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-22.3, У-ПК-22.3, В-ПК-22.3
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		30/0/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	3	3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-

							22.3, У- ПК- 22.3, В- ПК- 22.3
--	--	--	--	--	--	--	--

* – 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>2 Семестр</i>	30	0	0
1-8	Часть 1	20	0	0
1	Тема 1. Введение. Применение сверхпроводимости в промышленности, медицине, электроэнергетике. Основные классы сверхпроводящих устройств для электроэнергетики.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Тема 2. Базовые сверхпроводящие материалы. Базовые сверхпроводящие материалы для электроэнергетических устройств как низко, так и высокотемпературных. Методы их получения их особенности и основные свойства, методы их исследования.	Всего аудиторных часов		
		3	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Тема 3. Особенности работы сверхпроводящих электроэнергетических устройств в энергосетях. Особенности работы сверхпроводящих электроэнергетических устройств в энергосетях. Устройства постоянного и переменного тока. Потери на переменном токе.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Тема 4. Стабильность и переход в нормальное состояние сверхпроводящих устройств. Стабильность и переход в нормальное состояние сверхпроводящих устройств. Особенности развития перехода в ВТСП устройствах. Необходимость новых подходов к анализу ВТСП устройств.	Всего аудиторных часов		
		3	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Тема 5. Сверхпроводящие устройства в энергосетях. Сверхпроводящие устройства в энергосетях. Номинальный режим и перегрузочный режимы при коротком замыкании в сети. ВТСП сверхпроводящие устройства при	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0

	перегрузках - в чем проблема.			
6	Тема 6. Сверхпроводящие силовые кабели. Сверхпроводящие силовые кабели. Их необходимость и преимущества для электроэнергетики. Кабели постоянного и переменного тока, холодная и теплая изоляция.	Всего аудиторных часов		
		3	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	Тема 7. Основные физические принципы создания ВТСП кабелей. Сверхпроводящие силовые кабели. Основные физические принципы создания ВТСП кабелей. Методы расчета и конструирования ВТСП силовых кабелей.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Тема 8. Потери в ВТСП кабелях на переменном токе. Сверхпроводящие силовые кабели. Потери в ВТСП кабелях на переменном токе. Методы измерения и анализа потерь в силовых кабелях. ВТСП силовые кабели при токовых перегрузках.	Всего аудиторных часов		
		3	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Часть 2	10	0	0
9	Тема 9. Сверхпроводящие ограничители тока короткого замыкания. Сверхпроводящие ограничители тока короткого замыкания. Их основные типы и физические принципы их работы. Сравнение различных типов токоограничителей.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
9	Тема 10. Токоограничители резистивного типа. Сверхпроводящие ограничители тока короткого замыкания. Токоограничители резистивного типа, анализ их работы, масштабирование. Особенности работы при перегрузках током.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Тема 11. Сверхпроводящие трансформаторы НТСП и ВТСП. Сверхпроводящие трансформаторы НТСП и ВТСП. Преимущества и недостатки сверхпроводящих трансформаторов. Основные принципы конструирования и особенности. Потери в сверхпроводящих трансформаторах. Сверхбыстрый переход	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Тема 12. Сверхпроводящие вращающиеся машины. Сверхпроводящие вращающиеся машины. Их типы, особенности конструкций и применения. Особенности охлаждения вращающихся машин.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	Тема 13. Сверхпроводящие индуктивные накопители. Сверхпроводящие индуктивные накопители. Типы накопителей для электроэнергетики. Особенности конструкций различных накопителей. ВТСП и НТСП накопители. Устройства вывода энергии.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	Тема 14. Криогеника для сверхпроводящей электроэнергетики. Криогеника для сверхпроводящей электроэнергетики. Методы и способы охлаждения различных сверхпроводящих электроэнергетических устройств. Типы холодильных машин для сверхпроводящей электроэнергетики.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	Тема 15. Современные проекты в сверхпроводящей электроэнергетике. Современные проекты в сверхпроводящей	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		

	электроэнергетике. Их анализ, сравнение, оценка перспектив, в том числе экономических.	0	0	0
15	Тема 16. Заключение. Что ждет перспективные применения сверхпроводников в электроэнергетике. Какие проблемы необходимо решать.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		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 самостоятельная работа студентов, заключающаяся в изучении материала, повторении ранее пройденных тем, подготовке к письменным тестам. Для того чтобы дать современное состояние дисциплины, предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по данной теме, посещение лабораторий НИЯУ МИФИ. 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-22.3	З-ПК-22.3	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-22.3	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-22.3	З, КИ-8, КИ-15
ПК-6	З-ПК-6	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-6	З, КИ-8, КИ-15

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-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Н99 Case Studies in Superconducting Magnets : Design and Operational Issues, Boston, MA: Springer US,, 2009

2. ЭИ М 34 Материаловедение сверхпроводников на основе ВТСП, дигборида магния и пниктидов : Учебное пособие, М.: НИЯУ МИФИ, 2019
3. ЭИ М 34 Материаловедение сверхпроводников на основе соединений А-15 : Учебное пособие, М.: НИЯУ МИФИ, 2019
4. ЭИ К31 Методы Монте-Карло для физических систем : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
5. 620 Р19 Процессы получения, структура и свойства сверхпроводников на основе оксидных соединений и MgB₂ : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
6. ЭИ Р19 Процессы получения, структура и свойства сверхпроводников на основе оксидных соединений и MgB₂ : учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
7. ЭИ С 76 Стабилизация сверхпроводящих магнитных систем : учебник, Москва: МЭИ, 2019
8. 538.9 К12 Физика макроскопических квантовых систем : курс лекций; семинары, Москва: Издательский дом МЭИ, 2014
9. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.8 Сверхпроводящие материалы, Москва: НИЯУ МИФИ, 2021

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.3 А72 Криотурбогенератор КТГ-20: опыт создания и проблемы сверхпроводникового электромашиностроения : , Москва: Физматлит, 2013
2. 621.3 М 12 Магнитокумулятивные генераторы - импульсные источники энергии Т.1 , Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2020
3. 539.2 М 34 Материалы современной электроники и спинтроники : , Москва: Физматлит, 2019
4. 539.2 К31 Современные проблемы физики твердого тела Ч.2 Высокотемпературная сверхпроводимость, , Москва: МИФИ, 2002
5. 621.3 С75 Стабилизация сверхпроводящих магнитных систем : , В. А. Альтов [и др.], Москва: МЭИ, 2008
6. 53 К31 Квантовые сильнокоррелированные системы: современные численные методы : учебное пособие для вузов, В. А. Кашурников, А. В. Красавин, Москва: МИФИ, 2007
7. ЭИ Ш19 Vi-ВТСП: структура и сверхпроводимость : учебное пособие для вузов, В. Ф. Шамрай, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
8. 537 Б87 Сверхпроводящие магнитные системы : , Г. Брехна; Пер.с англ., М.: Мир, 1976
9. 620 Д36 Основы материаловедения NbTi сверхпроводников. Применение сверхпроводников : учебное пособие, Е. А. Дергунова, Л. В. Потанина, И. Н. Губкин, Москва: НИЯУ МИФИ, 2009

10. ЭИ Д36 Основы материаловедения NbTi сверхпроводников. Применение сверхпроводников : учебное пособие, Е. А. Дергунова, Л. В. Потанина, И. Н. Губкин, Москва: НИЯУ МИФИ, 2009
11. 538.9 Е50 Физика сверхпроводимости. Неравновесная сверхпроводимость : Учеб. пособие, Елесин В.Ф., М.: МИФИ, 1986
12. 621.5 Р83 Основы расчета низкотемпературных устройств : учеб. пособие для вузов, И. А. Руднев, М.: МИФИ, 2006
13. 621.5 Р83 Принципы конструирования криогенных устройств : учебное пособие для вузов, И. А. Руднев, Москва: МИФИ, 2007
14. 538.9 Б40 Физические основы сверхпроводимости : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, И. Ю. Безотосный , И. А. Руднев, Москва: МИФИ, 2008
15. ЭИ Б40 Физические основы сверхпроводимости : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, И. Ю. Безотосный, И. А. Руднев, Москва: МИФИ, 2008
16. 538.9 М62 Неустойчивости в сверхпроводниках : , Р.Г. Минц, А.Л. Рахманов, М.: Наука, 1984
17. 621.3 У36 Сверхпроводящие магниты : , Уилсон М., М.: Мир, 1985

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<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

Цель данного курса – показать направления крупномасштабных применений сверхпроводимости в различных областях человеческой деятельности, главным образом в электроэнергетике. Научить основным физическим принципам работы сверхпроводящих устройств, методам их расчета и конструирования, испытаниям и анализа. Дать ориентацию по современному использованию сверхпроводимости в электроэнергетике, перспективных проектах и направлениях исследований.

Курс опирается на материал следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических специальностей: макроэлектродинамика (электродинамика сплошных сред), статистическая физика и термодинамика, физика конденсированного состояния вещества, экспериментальные методы физики сверхпроводимости.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и университетскому курсу математики. Необходимо знать дифференциальное и интегральное исчисление, тензорный и векторный анализ, статистику и термодинамику, электричество и магнетизм, в том числе в материальных средах. Необходимо ориентироваться в задачах электродинамики сплошных сред и статистической физики, общей теории сверхпроводимости, классификации сверхпроводников и их свойств и методов их исследования.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При чтении курса следует придерживаться следующей последовательности изложения. Сначала рассматриваются применения сверхпроводимости в промышленности, медицине, электроэнергетике, даются основные классы сверхпроводящих устройств для электроэнергетики и базовые сверхпроводящие материалы. Изучаются методы получения сверхпроводящих материалов, их особенности, методы их исследования. Затем обсуждаются основные особенности работы сверхпроводников в электроэнергетических устройствах, показываются причины потерь на переменном токе.

После этого требуется уделить внимание стабильности сверхпроводящего состояния и переходу в нормальное состояние, особенности развития перехода в высокотемпературных сверхпроводниках. В итоге показываются основные задачи, встающие при разработке сверхпроводящего кабеля, в том числе и на основе ВТСП. Даются основные физические принципы создания сверхпроводящих проводов, кабелей и лент.

Во втором разделе следует подробно осветить другие важные применения сверхпроводников в электроэнергетике: токоограничители, трансформаторы, вращающиеся машины, индуктивные накопители. Представить современное состояние криогенной техники, методы охлаждения, типы холодильных машин.

В заключении необходимо представить перспективы применения сверхпроводников в электроэнергетике, обсудить экономические аспекты, дать информацию о ведущихся в настоящее время проектах в области сверхпроводниковой электроэнергетики.

Во время проведения лекция желательно использовать проекционную технику, а также инициировать обсуждение материала методом «вопросов в аудиторию».

Автор(ы):

Высоцкий Виталий Сергеевич, д.т.н.