

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Саровский физико-технический институт -

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФТФ, член корр.РАН, д.ф.м.н.

_____ А.К.Чернышев

«___» _____ 2023 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА И ТЕХНИКА СВЕРХСИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	<u>3.04.01 «Прикладные математика и физика»</u>
Наименование образовательной программы	<u>электрофизика</u>
Квалификация (степень) выпускника	<u>магистр</u>
Форма обучения	<u>очная</u>

Программа одобрена на заседании кафедры	Заведующий кафедрой «ЭФ», д.ф.м.н., доцент
<u>протокол № 2 от 03.02.2023г.</u>	<u>Ю.Б. Кудасов</u> <u>03.02.2023г.</u>

г. Саров, 2023г.

Программа переутверждена на 202____/202____учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Программа переутверждена на 202____/202____учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Программа переутверждена на 202____/202____учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Программа переутверждена на 202____/202____учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Семестр	В форме практической подготовки	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	КР/ КП	Форма(ы) контроля, экз./зач./ЗсО/
3	32	2	72	16	16	-	40	0	Зачет
ИТОГО	32	2	72	16	16	-	40	0	Зач.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Физика и техника сверхсильных магнитных полей» является знакомство с современными достижениями в области техники получения сверхсильных магнитных полей, освоение расчетно-теоретических подходов к проектированию сильноточных установок сверхсильных магнитных полей, закрепление профессиональных навыков работы с электрофизическими установками большой мощности и современных методов решения производственных задач.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Физика и техника сверхсильных магнитных полей», входит в первый блок: «Дисциплины» часть, формируемая участниками образовательных отношений, учебного плана по направлению подготовки 03.04.01 «Прикладная математика и физика» по программе «Электрофизика».

Опирается на материал следующих дисциплин, читаемых студентам физико-технических специальностей: теоретические основы электротехники, уравнения математической физики, электродинамика, физика плазмы, квантовая механика, сильноточная электроника.

Содержание программы «Физика и техника сверхсильных магнитных полей» представляет собой развитие полученных ранее знаний в области электрофизики, физики конденсированных сред, вакуумной и высоковольтной техники и сильноточной электроники. В ней используются основные понятия, концепции, представляющие собой теоретическую базу, освоенную студентами при изучении дисциплин в рамках бакалавриата.

Курс «Физика и техника сверхсильных магнитных полей» входит в число базовых при подготовке современных инженеров на уровне магистров.

Изучение дисциплины позволит студентам получить и развивать навыки проведения расчетно-теоретического проектирования и создание сильноточных электрофизических установок, освоить методы диагностики и анализа получаемых результатов, ознакомиться с достижениями в области генерации сверхсильных магнитных полей в зарубежных и отечественных лабораториях. Изучение дисциплины позволит выработать научные подходы при проведении самостоятельной исследовательской работы, развить творческое мышление, выработать умение решать технические и экономические проблемы.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

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	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
Тип задачи профессиональной деятельности: проектный			
организация выполнения проектов исследовательской и инновационной направленности в качестве исполнителя, ответственного за выполнение отдельного направления работ	мощные электрофизические установки: мощные источники электрических импульсов, крупномасштабные лабораторные электрофизические установки высоковольтные и сильноточные системы, ускорители заряженных частиц, мощные ВЧ- и СВЧ-генераторы, взрывомагнитные источники энергии, диагностические комплексы, и вспомогательное оборудование.	ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательски испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра	З-ПК-3 Знать основные методы исследований, принципы работы приборов избранной предметной области У-ПК-3 Уметь выбирать необходимые технические средства для проведения экспериментальных исследований в избранной предметной области, обрабатывать полученные экспериментальные результаты В-ПК-3 Владеть навыками работы с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ*

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС	Текущий контроль (форма)*	Максималь- ный балл (см. п. 6.3)
			16	16	-	40		
Семестр № 3								
1.	РАЗДЕЛ 1	1-4	6	6	-	12		
1.1.	Тема 1. Магнитные поля в природе и в лаборатории. Разработка электромагнитов для научных исследований. Магнитные лаборатории и их возможности. Лаборатории сильных импульсных магнитных полей.	1	2	2	-	3	УО	3
1.2.	Тема 2. Генерация магнитных полей с помощью неразрушающих соленоидов. Пути решения задачи и основные проблемы. Соленоиды с однородным по аксиальному сечению распределением тока.	2	2	2	-	4	УО	3
1.3	Тема 3. Расчет магнитных полей в катушке с однородным по аксиальному сечению распределением тока.	3	2	2		3	УО	3
Рубежный контроль		4	КСР					5
2.	РАЗДЕЛ 2	5-8	8	8	-	12		

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС	Текущий контроль (форма)*	Максималь- ный балл (см. п. 6.3)
			16	16	-	40		
2.1	Тема 1. Методы получения сверхсильных магнитных полей.	5	2	2	-	3	УО	3
2.2	Тема 2. Расчет механических напряжений и разогрева катушки при генерации сверхсильных магнитных полей.	6	2	2	-	4	УО	3
2.3	Тема 3. Принцип взрывамагнитного сжатия магнитного потока.	7	2	2	-	3	УО	3
2.4	Тема 4. Источники энергии, используемые на установках для получения сверхсильных магнитных полей	8	2	2		3	УО	3
Рубежный контроль		9	КСР					5
3.	РАЗДЕЛ 3	9-10	2	2	-	3		
3.1	Тема 1. Методы измерения сверхсильных магнитных полей	10	2	2		3	УО	3
Рубежный контроль		10	КСР					5
4.	РАЗДЕЛ 3	11-14	6	6	-	9		
4.1	Тема 1. Магнитное удержание плазмы.	11	2	2		4	УО	3
4.2	Тема 2. Свойства твердых тел и их измерения сверхсильных магнитных полях	12	2	2		3	УО	3
4.3	Тема 3. Магнитное упорядочение	13	2	2	-	4	УО	3
Рубежный контроль		14	КСР					5

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС	Текущий контроль (форма)*	Максималь ный балл (см. п. 6.3)
			16	16	-	40		
Рубежный контроль		15	ДЗ					5
Промежуточная аттестация		Экзамен-16				Эк	0-50	
Посещаемость							5	
Итого:		16	-	-	40	Эк	100	

*Сокращение наименований форм текущего, рубежного и промежуточного контроля:

УО – устный опрос

КСР- контрольная самостоятельная работа

ДЗ – домашнее задание (реферат)

Э - экзамен

Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	РАЗДЕЛ 1 Способы генерации постоянных магнитных полей	
1.1	Тема 1. Магнитные поля в природе и в лаборатории. Разработка электромагнитов для научных исследований. Магнитные лаборатории и их возможности. Лаборатории сильных импульсных магнитных полей.	Магнетизм в истории человечества. Археологические подтверждения использования магнитных свойств веществ. Осмысление природы магнетизма от греков до Фарадея. История создания электромагнитов. В 1820 г., Эрстед обнаружил, что магнитные силы поворачивают проводник с током. Немного позднее Ампер предложил выполнить проводник в виде соленоида, и, используя этот первый электромагнит для намагничивания стальных иголок, он пришел к правильному объяснению постоянного намагничивания. Пять лет спустя Стеджен сконструировал первые подковообразные электромагниты с сердечниками из мягкого железа и продемонстрировал их способность удерживать груз существенно выше, чем все известные в то время природные магниты. Открытие эффектов Фарадей и Ампера. В 1846 г. Румкорф построил лабораторный электромагнит, форма которого в главных чертах сохранилась до сих пор — он имел ярмо с двумя катушками на противоположных цилиндрических полюсах, где они наиболее эффективны. Эта конструкция была усовершенствована Вейсом путем увеличения плотности намотки в области полюсов и соответствующего выбора размера ярма, чтобы избежать насыщения. Дальнейшая оптимизация состояла в том, чтобы избежать насыщения в различных участках магнитной цепи, и в уменьшении полей рассеяния. Следующее усовершенствование заключалось в сужении участков полюсов, расположенных внутри катушки.
1.2	Тема 2. Генерация магнитных полей с помощью неразрушающих соленоидов. Пути	Ограничения использования железа при получении полей свыше 5 Тл. Круглые катушки с прямоугольным осевым сечением. Магнит «грубой силы» построенный Десландером и Перо примерно в 1914г. Конструкция биттеровского магнита предложенная Биттером в 1939 г., рассеивающие мощность от источника тока до

	решения задачи и основные проблемы. Соленоиды с однородным по аксиальному сечению распределением тока.	1,7 МВт. Современные биттеровские магниты состоящие из набора чередующихся дисков металла и изолятора с маленькими отверстиями, обеспечивающими протекание хладагента, обычно деминерализованной воды, со скоростью до 100 л/сек. Сверхпроводящие магниты величиной до 23 Тл и гибридные магниты с рекордным постоянным полем до 43 Тл. Развитие неустойчивости сверхпроводящей фазы и способы ее стабилизации в сверхпроводящем кабеле.
1.3	Тема 3. Расчет магнитных полей в катушке с однородным по аксиальному сечению распределением тока.	Форм-фактор и основная формула соленоида. Вычисление напряженности магнитного поля с помощью коэффициентов взаимной индукции. Метод телесных углов. Скалярный потенциал Соленоид Кельвина и оптимальная форма сечения.
2.	РАЗДЕЛ 2 Методы и основные ограничения получения сверхсильных магнитных полей	
2.1	Тема 1. Методы получения сверхсильных магнитных полей.	Получение полей до 50 Тл с длительностью импульса в диапазоне мс — 1с с использованием многovitковых катушек. Четыре метода получения полей свыше 100 Тл включающие: - быстрый разряд конденсаторной батареи на одновитковую катушку для получения магнитных полей до 150 Тл с диаметром отверстия 5 мм и длительностью импульса ~ 3-5 мкс; - использование взрывных генераторов типа «меха» с одновитковой катушкой для получения полей свыше 200 Тл; - электромагнитная имплозия лайнера для сжатия магнитного потока, применяемая в диапазоне полей до 500 Тл; - взрывная кумуляция магнитного потока для получения полей порядка 1000 Тл в генераторах МК-1.
2.2	Тема 2. Расчет механических напряжений и разогрева катушки при генерации сверхсильных магнитных полей.	Пондеромоторные силы и механические напряжения возникающие в катушке. Радиальные, тангенциальные и раскручивающие напряжения. Расчет прочности катушки в модели свободного витка. Принцип бондажирования. Эффект тренировки катушек. Закон Джоуля для проводника с током. Расчет нагрева катушек и системы охлаждения.
2.3	Тема 3. Принцип взрыва магнитного сжатия магнитного потока.	Принцип магнитной кумуляции. Неустойчивость Релей-Тейлора и ее преодоление в каскадном магнитнокумулятивном генераторе. Расчет временной зависимости напряженности магнитного поля в МК-генераторе в модели несжимаемой жидкости. Электродинамический метод сжатия магнитного потока.
2.4	Тема 4. Источники энергии, используемые на установках для получения сверхсильных магнитных полей	Конденсаторные батареи. Индуктивные накопители энергии. Мотор генератор. Аккумуляторные батареи. Требования к коммутирующей аппаратуре, коллекторам, линиям электропередачи, системам управления и контроля. Расчет длительности импульса и величины энергии передаваемой от конденсаторной батареи в индуктивную нагрузку.
3.	РАЗДЕЛ 3 Методы измерения импульсных сверхсильных магнитных полей	
3.1	Тема 1. Методы измерения	Индукционный датчик, принцип измерения магнитных полей и принципиальная электрическая схема, расчет чувствительности и

	сверхсильных магнитных полей	частотных характеристик датчика. Датчик Холла, основные ограничения и расчет геометрических размеров датчика. Эффекты Фарадея и Зеемана, магнитооптические способы измерения сверхсильных магнитных полей. Расчет чувствительности фарадеевского датчика. Магниторезистивные датчики, на основе ядерного магнитного резонанса (ЯМР), сверхпроводящие квантовые магнетометры.
4.	РАЗДЕЛ 4 Использования сверхсильных магнитных полей в науке и технике	
4.1	Тема 1. Магнитное удержание плазмы.	Магнитная система ТОКОМАК. Плазменные магнитные ловушки. Магнитное поле ускорителей, бетатрона, синхротрона. Сверхпроводящая магнитная система для детектирования частиц на большом адронном коллайдере. Роль магнитных полей в Z-пинче.
4.2	Тема 2. Свойства твердых тел и их измерения в сверхсильных магнитных полях	Взаимодействие твердых тел с магнитным полем, намагниченность. Весы Фарадея. Ларморовский диамагнетизм. Правила Хунда. Парамагнетизм, парамагнетизм Ван Флека. Закон Кюри для свободных ионов. Закон Кюри для твердых тел. Адиабатическое размагничивание. Парамагнетизм Паули. Диамагнетизм электронов проводимости.
4.3	Тема 3. Магнитное упорядочение	Электростатическая природа магнитного взаимодействия. Магнитные свойства двухэлектронной системы. Несостоятельность приближения независимых электронов. Спиновые Гамильтонианы. Типы обменного взаимодействия: прямой и косвенный обмен, сверхобмен, обмен между делокализованными электронами. Типы магнитных структур. Наблюдение магнитной структуры. Термодинамические свойства вблизи точки возникновения магнитного порядка. Основное состояние Гейзенберговских ферро- и антиферромагнетиков.

Темы практических (семинарских) занятий:

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Магнетизм в природе, проявление магнитных свойств магнетиков, электромагниты.	Дискуссионная часть 1. Свойства магнетиков, объединение ампером магнетизма и электричества. 2. Создание Стедженом первых электромагнитов, подковообразные, осевые. 3. Уравнения электродинамики Максвелла. Кейс: Не предусмотрен
2	Многовитковые неразрушаемые соленоиды.	Дискуссионная часть 1. Вывод основной формулы соленоида. Соотношений Ампера и Фарадея. 2. Формфактор многовитковой катушки, способы намотки. 3. Конструкции спирального, биттеровского и одновиткового соленоида. Кейс: Решение кейса по определению формы и конструкции соленоида
3	Расчет напряженности магнитного поля с однородным по аксиальному сечению распределением поля.	Дискуссионная часть 1. Определение оптимальной формы соленоида и длины провода. 2. Вычисление напряженности магнитного поля на оси соленоида. 3. Определение рассеиваемой мощности. Кейс: Не предусмотрен Доклад: Расчет многовитковой катушки для получения напряженности

		магнитного поля до 10 Тл.
4	Получение сверхсильных магнитных полей	Дискуссионная часть 1. Одновитковые катушки. 2. Взрывомагнитные генераторы типа «меха». 3. Магнитокумулятивный генератор МК-1. 4. Электромагнитное сжатие магнитного потока. Кейс: Решение кейса на адаптацию магнитной системы для решения производственных задач. Доклад: Современные достижения по генерации сверхсильных магнитных полей в неразрушающихся, разрушающихся катушках.
5	Пондеромоторные силы и механические напряжения	Дискуссионная часть 1. Напряжения, возникающие в соленоиде. 2. Расчет прочности катушки в модели свободного витка. 3. Принцип бондажирования. Теорема Дате. Кейс: Не предусмотрено Доклад: Расчет механических напряжений и определение прочности многовитковой катушки.
6	Нагрев соленоида и способы охлаждения.	Дискуссионная часть 1. Закон Джоуля. Определение предельной температуры катушки при протекании импульсного тока. 2. Способы охлаждения соленоида. Криогенные жидкости. Теплопроводность и теплоотвод при ламинарном и турбулентном течении охлаждаемой жидкости. Кейс: Решение кейса на определение способа величины нагрева соленоида и способа охлаждения соленоида.
7	Одновитковые катушки	Дискуссионная часть 1. Одновитковая катушка. Расчет напряженности магнитного поля при радиальном распределении плотности тока. Скин эффект. 2. Механические напряжения и инерциальное удержание магнитного потока. 3. Неоднородность магнитного поля в одновитковой катушке и способы ее устранения. Кейс: Не предусмотрен Доклад: Расчет и конструкция магнитных систем с одновитковой катушкой Проектная часть: Разработка установки для генерации сверхсильных магнитных полей в диапазоне до 200 Тл .
8	Взрывное сжатие магнитного потока.	Дискуссионная часть 1. Принцип магнитной кумуляции предложенный А.Д.Сахоровым. 2. Развитие динамических неустойчивостей при сжатии магнитного поля медным цилиндром. 3. Электродинамический метод сжатия магнитного потока Кейс: Не предусмотрен Доклад: Расчет магнитокумулятивного генератора МК-1. Проектная часть: Проектирование магнитокумулятивного генератора для получения сверхсильных магнитных полей в диапазоне до 1000 Тл.
9	Источники тока для установок сврехсильных магнитных полей.	Дискуссионная часть 1. Характерные параметры (энергия, длительность импульса, стоимость) существующих источников питания. 2. Расчет энергии передаваемой от конденсаторной батареи к соленоиду. 3. Технические требования к коммутирующей аппаратуре: коллекторам, линиям электропередачи, системам управления и контроля Кейс: Решение кейса на проблемы выбора источников тока.

		Доклад: Сверхпроводящие накопители энергии. Проектная часть: Расчет конденсаторной батареи для запитки многовиткового соленоида с напряженностью магнитного поля 20 Тл.
10	Датчики сверхсильных магнитных полей	Дискуссионная часть 1. Требования к датчикам сверхсильных магнитных полей.. 2. Магнитооптические датчики, на основе эффекта Холла магниторезистивные, индукционные. 3. Расчет частотных характеристик датчиков и полосы пропускания измерительного тракта. Кейс: Не предусмотрено Доклад: Волоконно-оптические датчики напряженности магнитного поля и амплитуды тока. Проектная часть: Разработка датчика сверхсильного магнитного поля для измерения полей в генераторе МК-1. Чувствительность измерительной системы должна быть одинаковая как в начале импульса так и в конце.
11.	Магнитные поля в термоядерных и ускорительных устройствах	Дискуссионная часть 1. Необходимость использования магнитных полей на установках термоядерного синтеза, ТОКОМ, ловушки и др. 2. Магнитное поле в ускорителях и детекторах элементарных частиц. Бетатрон. 3. Z-пинч, сжатие плазмы магнитных полей.. Кейс: Решение кейса: «Как понизить критерий зажигания термоядерной плазмы?»
12.	Магнетизм, намагниченности атомов и молекул.	Дискуссионная часть 1. Термодинамические магнитные параметры, магнитный момент, восприимчивость. 2. Учет магнитного поля в гамильтониане в одноэлектронном приближении. 3. Диамагнетизм, парамагнетизм, парамагнетизм Ван Флека, Парамагнетизм Паули. Диамагнетизм электронов проводимости. Кейс: Решение кейса «Особенности решения уравнения гамильтониана для электрона в атоме с учетом магнитных поправок» Доклад: Принцип адиабатического размагничивания парамагнетиков и использования этого эффекта для создания холодильника. Проектная часть: Рассмотреть возможность использования адиабатического размагничивания для охлаждения процессора.
13.	Ферро- ферри- и антиферромагнетики	Дискуссионная часть 1. Природа магнитного взаимодействия, типы обменного взаимодействия. 2. Магнитные структуры, ферромагнетики, ферримагнетики, антиферромагнетики, вихревые структуры. 3. Теория молекулярного поля Вейсса. Кейс: Не предусмотрен Доклад: Методы определения магнитной структуры твердых тел Проектная часть: Разработка измерительной системы для определения намагниченности образцов в генераторе МК-1.

5 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

5.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

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

Раздел	Темы занятий	Компетенция	Индикаторы освоения	Текущий контроль, неделя
Семестр 3				
Раздел 1	Тема 1. Методы получения сверхсильных магнитных полей.	ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО-1
	Тема 2. Расчет механических напряжений и разогрева катушки при генерации сверхсильных магнитных полей.		3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО-2
	Тема 3. Принцип взрывамагнитного сжатия магнитного потока.		3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО-3
	Тема 4. Источники энергии, используемые на установках для получения сверхсильных магнитных полей		3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО-4
Рубежный контроль		ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КСР-4
Раздел 2	Тема 1. Методы получения сверхсильных магнитных полей.	ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО-5
	Тема 2. Расчет механических напряжений и разогрева катушки при генерации сверхсильных магнитных полей.		3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО-6
	Тема 3. Принцип взрывамагнитного сжатия магнитного потока.		3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО-7
	Тема 4. Источники энергии, используемые на установках для получения сверхсильных магнитных полей		3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО -8
Рубежный контроль		ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КСР-9
Раздел 3	Тема 1. Методы измерения сверхсильных магнитных полей	ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КСР -10

Рубежный контроль		ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КСР-10
Раздел 4	Тема 1. Магнитное удержание плазмы.		3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО-11
	Тема 2. Свойства твердых тел и их измерения в сверхсильных магнитных полях		3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО-12
	Тема 3. Магнитное упорядочение		3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО-13
Рубежный контроль		ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КСР-14
Рубежный контроль		ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	ДЗ-15
Промежуточная аттестация		ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	Экзамен-16

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

5.2.1. Примерные задачи для самостоятельной работы (ДЗ) - реферат:

1. Взгляд древних греков на природу магнетизма.
2. Развитие современных представлений о магнетизме.
3. Первые электромагниты.
4. Электродинамика Максвелла.
5. Расчет напряженности магнитного поля с помощью коэффициентов взаимной индукции.
6. Расчет напряженности магнитного поля методом телесных углов.
7. Катушки Гельмгольца.
8. Математические пакеты для расчета магнитных катушек.
9. Современные достижения в области генерации сверхсильных магнитных полей.
10. Соленоид Биттера.
11. Получение магнитных полей в одновитковом соленоиде.
12. Принцип магнитной кумуляции.
13. Неустойчивость Релей-Тейлора.
14. Магнитокумулятивные генераторы.
15. Конденсаторные батареи.
16. Мотор генератор.
17. Сверхпроводящие индуктивные накопители энергии.
18. Теорема Дале и многосекционные магниты.
19. Современные полупроводниковые разрядники.
20. Математические пакеты расчета источников тока.
21. Методы измерения сверхсильных импульсных магнитных полей.
22. Эффект Холла, датчики магнитного поля на эффекте Холла.
23. Магнитооптические датчики на эффекте Холла.
24. Измерение магнитных полей в космосе.
25. Индукционный ферромагнитный датчики.
26. Принцип работы ТОКОМАКа.
27. Критерий Лоусона в магнитном поле.
28. Сжатие плазмы магнитным полем.
29. Расчет соленоида с однородным распределением тока для получения напряженности магнитных полей до 20 Тл.

30. Расчет соленоида с радиальным распределением тока для получения напряженности магнитных полей до 50 Тл.
31. Форм-фактор соленоида, соленоид Кельвина, особенности выбора формы и намотки.
32. Конструкция магнита Биттера.
33. Современные методы получения сверхсильных магнитных полей.
34. Принцип магнитной кумуляции, магнитокумулятивные генератора магнитного поля (МК-1) и тока (МК-2).
35. Расчет прочности катушки.
36. Расчет предельного нагрева катушки и методы ее охлаждения.
37. Расчет напряженности магнитного поля в одновитковой катушке. Особенности конструкции.
38. Источники тока для установок сверхсильных магнитных полей.
39. Расчет конденсаторной батареи для запитки многовиткового соленоида.
40. Способы коммутации электроэнергии в цепи при ее передачи в индуктивную нагрузку.
41. Современные методы измерения импульсных магнитных полей.
42. Расчет холловского датчика для измерения импульсных полей.
43. Расчет магнитооптического датчика на основе эффекта Фарадея.
44. Индукционный датчик для измерения магнитных полей в генераторе МК-1.
45. Вывод термодинамических соотношений для определения магнитного момента и восприимчивости твердых тел.

5.2.2. Примерные задания к устному опросу (УО) и к контрольным самостоятельным работам (КСР)

1. История развития представлений о природе магнетизма.
2. Уравнения электродинамики Максвелла. Вывод соотношений описывающих законы Ампера и Фарадея.
3. Вывод основной формулы соленоида. Вычисление напряженности магнитного поля на оси соленоида с однородным распределением тока.
4. Вычисление напряженности магнитного поля на оси соленоида с радиальным распределением тока.
5. Форм-фактор соленоида, соленоид Кельвина, особенности выбора формы и намотки.
6. Конструкция спиральной катушки и магнита Биттера.
7. Методы получения сверхсильных магнитных полей.
8. Принцип магнитной кумуляции, магнитокумулятивные генератора магнитного поля (МК-1) и тока (МК-2).
9. Силы, возникающие в катушке, радиальное распределение давления в катушке.
10. Вывод формулы для расчета прочности катушки в приближении изолированного витка.
11. Расчет предельного нагрева катушки и методы ее охлаждения.
12. Определение напряженности магнитного поля в одновитковой катушке. Особенности конструкции.
13. Определение зависимости напряженности магнитного поля о времени во взрывомагнитном генераторе МК-1.
14. Основные параметры источников тока для установок сверхсильных магнитных полей.
15. Расчет энергии передаваемой от конденсаторной батареи к соленоиду.
16. Характеристики цепи запитки соленоида от конденсаторной батареи.
17. Способы коммутации (разрядники, трансформаторы и др) используемые для эффективной передаче энергии в индуктивную катушку.
18. Способы измерения импульсных магнитных полей.
19. Расчет холловского датчика для измерения импульсных полей. Основные ограничения.
20. Расчет магнитооптического датчика на основе эффекта Фарадея.
21. Принципиальная электрическая схема индукционного датчика. Определение частотной зависимости для датчиков, используемых в генераторе МК-1.

22. Вывод термодинамических соотношений для определения магнитного момента и восприимчивости твердых тел.
23. Вывод формулы для определения намагниченности в «весах» Фарадея.
24. Парамагнетизм и диамагнетизм.
25. Типы магнитных структур.
26. Природа магнитного упорядочения в магнетиках.
27. Кривые намагниченности для ферромагнетиков и антиферромагнетиков.
28. Использование сверхсильных магнитных полей в термоядерных установках.

5.2.3. Примерные вопросы Экзамену (Э)

РАЗДЕЛ-1

1. История развития представлений о природе магнетизма.
2. Уравнения электродинамики Максвелла. Вывод соотношений описывающих законы Ампера и Фарадея.
3. Вывод основной формулы соленоида. Вычисление напряженности магнитного поля на оси соленоида с однородным распределением тока.
4. Вычисление напряженности магнитного поля на оси соленоида с радиальным распределением тока.
5. Форм-фактор соленоида, соленоид Кельвина, особенности выбора формы и намотки.
6. Конструкция спиральной катушки и магнита Биттера.
7. Методы получения сверхсильных магнитных полей.
8. Принцип магнитной кумуляции, магнитокумулятивные генератора магнитного поля (МК-1) и тока (МК-2).
9. Силы, возникающие в катушке, радиальное распределение давления в катушке.
10. Вывод формулы для расчета прочности катушки в приближении изолированного витка.
11. Расчет предельного нагрева катушки и методы ее охлаждения.
12. Определение напряженности магнитного поля в одновитковой катушке. Особенности конструкции.

РАЗДЕЛ-2

1. Определение зависимости напряженности магнитного поля о времени во взрывомагнитном генераторе МК-1.
2. Основные параметры источников тока для установок сверхсильных магнитных полей.
3. Расчет энергии передаваемой от конденсаторной батареи к соленоиду.
4. Характеристики цепи запитки соленоида от конденсаторной батареей.
5. Способы коммутации (разрядники, трансформаторы и др) используемые для эффективной передаче энергии в индуктивную катушку.

РАЗДЕЛ-3

1. Способы измерения импульсных магнитных полей.
2. Расчет холловского датчика для измерения импульсных полей. Основные ограничения.
3. Расчет магнитооптического датчика на основе эффекта Фарадея.
4. Принципиальная электрическая схема индукционного датчика. Определение частотной зависимости для датчиков, используемых в генераторе МК-1.

РАЗДЕЛ-4

1. Вывод термодинамических соотношений для определения магнитного момента и восприимчивости твердых тел.
2. Вывод формулы для определения намагниченности в «весах» Фарадея.
3. Парамагнетизм и диамагнетизм.
4. Типы магнитных структур.
5. Природа магнитного упорядочения в магнетиках.
6. Кривые намагниченности для ферромагнетиков и антиферромагнетиков.
7. Использование сверхсильных магнитных полей в термоядерных установках.

5.2.4. Интерактивная форма, используемая в реализации дисциплины (УО)

При выполнении 8 интерактивных занятий студентам предлагается решить следующие проблемы:

- Мозговой штурм;
- Case-study (анализ конкретных задач или ситуаций);

№	Примерные проблемы для интерактивных занятий	Условия	Методы и средства контроля
1	Разряд конденсаторной батареи на индуктивную нагрузку. Моделирование зависимости импульса тока и напряжения в нагрузке.	Заданы характеристики батареи, передающей линии и нагрузки (R,L,C), выбрать оптимальные условия передачи энергии в нагрузку.	Оценка активности участия студента. Презентация результатов деятельности студентов
2	Разработка метода измерения импульсных магнитных полей и токов в соленоидах сильных магнитных полей (многовитковом, одновитковом, магнитокумулятивном генераторе МК-1)	Индукция магнитного поля соответственно равна 10, 50, 100, 1000 Тл; длительность импульса поля $1, 10^{-3}, 10^{-6}, 10^{-5}$,	
3	Постановка измерений намагниченности вещества в импульсном магнитном поле	Предложить методы измерения и обсудить их возможности во взрывомагнитном генераторе или в неразрушаемом магните	
4	Синхронизация осциллографического оборудования в сложном эксперименте	Заданы временных характеристики эксперимента, способы синхронизации оборудования	

5.3. Шкалы оценки образовательных достижений

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

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 – «отлично»	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 – «хорошо»	В	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		С	
70-74		Д	
65-69	3 «удовлетворительно»	Е	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 «неудовлетворительно»	Ф	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.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества М.Наука 1989
2. В.Р. Карасик, Физика и техника сильных магнитных полей, М., Наука, 1964.
3. Монтгомери Д. В., Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов..., пер. с англ., М., 1971;
4. Кнопфель Г., Сверхсильные импульсные магнитные поля, пер. с англ., М., 1972;
5. Лагутин А. С., Ожогин В. И., Сильные импульсные магнитные поля в физическом эксперименте, М., 1988;
6. Сахаров А. Д., Взрывомагнитные генераторы, «УФН», 1966, т. 88, в. 4, с. 725;
7. Павловский А. И., Магнитная кумуляция, «Природа», 1990, № 8, с. 39
8. С.М. Fowler, L.L. Altgilbers, Magnetic Flux Compression Generators: a Tutorial and Survey.
9. Кричик Г.С. Физика магнитных явлений", изд. МГУ, 1976

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Magnetic_field, en.wikipedia.org
2. Г.А.Месяц, Импульсная энергетика и электроника, М.Наука 2004.
3. В.А.Боков, Физика магнетиков, Невский диалект, С.Пб. 2002
4. Боровик Е.С., Еременко В.В., Мильнер А.С. Лекции по магнетизму, ФИЗМАТЛИТ, 2005
5. Вонсовский С.В. Магнетизм, 1984
6. Кондорский Е.И. Зонная теория магнетизма, изд. МГУ, 1976
7. Д.Займан "Принципы теории твердого тела", М., 1966
8. Киттель Ч. Квантовая теория твердых тел, М., 1967
9. Белов К.П. Магнитострикционные явления и их технические приложения, М. Наука, 1987
10. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. М., Наука, 1987

11. Качанов М.И., Цукерник В.М. Природа магнетизма. -М., Наука, 1982
12. Oshima K. IEEE-Trans., MAG-17, 2338 (1981).
13. Kolm H., Fine K., Williams F., Mongeau P. Proc. 2nd IEEE Intern. Pulsed Power Conference, Lubbock, Texas (1979), p. 42.
14. von Klitvng K., Dorda G., Pepper M. Phys. Rev. Lett., 45, 494 (1980).
15. Wilson M.N. Superconducting Magnets, Clarendon, Oxford, 1983.
16. Superconducting Machines and Devices, Foner S., Schwartz B., eds., Plenum, New York, 1974.
17. Physics in High Magnetic Fields, Chikazumi S., Miura N., eds.. Springer Ser. Solid-State Sci., Vol. 24, Springer, Berlin, Heidelberg, 1981.
18. Application of High Magnetic Fields in Semiconductor Physics, Landwehr G., ed.. Lecture Notes in Physics, Vol. 177, Springer, Berlin, Heidelberg, 1983.
19. High Field Magnetism, Date M., ed., North-Holland, Amsterdam, 1983.
20. High Magnetic Fields, Kolm H., Lax B., Bitter F., Mills R., eds., MIT Press/Wiley, New York, 1962.
21. J. Magn. Magn. Mater., Aggarwal R.L., Freeman A. F., Schwarts B.B., eds., 11, 1—437 (1979).
22. High Magnetic Field Research and Facilities, National Academy of Sciences, Washington, 1979.
23. De Klerk D. The Construction of High Field Electromagnets, Newport Instruments, 1965.
24. Bitter F., Reed F.E. Rev. Sci. Instrum., 22, 171 (1951).
25. Wood M. — in: Proc. Intern. Conf. The Application of High Magnetic Fields in Semiconductor Physics, Ryan J.F., ed., Clarendon Laboratory, Oxford, 1978, p. 67.
- 26.
27. Schneider-Muntau H.-J. IEEE Trans., MAG-17, 1775 (1981).
28. Leupold M.J., Hale J.R., Iwasa Y., et al. IEEE Trans., MAG-17, 1779 (1981).
29. Пайерлс Р. Квантовая теория твердых тел.— М.: ИЛ, 1956.)
30. Сликтер Г. Основы теории магнитного резонанса.— М.: Мир, 1967.

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. <http://www.physics.ru>
2. <http://www.magnetmag.ru>
3. <http://rusmagnet.ru>
4. <http://imlab.narod.ru>
5. <http://physnet.uni-oldenburg.de/PhysNet/physnet.html>
6. Кафедра магнетизма и магнитных наноматериалов Уральского госуниверситета <http://www.physics.usu.ru/km>
7. Современные проблемы магнетизма <http://foroff.phys.msu.ru/aspirant/spec/tt/s066.htm>
8. Для выполнения самостоятельных работ студенты используют открытые версии программных продуктов для расчета и построения графиков.
9. Федеральный портал «Российское образование» (<http://www.edu.ru>)
10. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru>)
11. Сайт СарФТИ НИЯУ МИФИ (<http://sarfti.ru>), раздел «Учебно-методические пособия»

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины производится на базе учебной лаборатории кафедры в СарФТИ НИЯУ МИФИ учебного корпуса. Лаборатория оснащена современным оборудованием, позволяющим проводить практические занятия. Здесь же проводятся консультации по текущим вопросам и по квалификационным проектам.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебная дисциплина обеспечена учебно-методической документацией и материалами. Ее содержание представлено в локальной сети факультета и кафедры и находится в режиме свободного доступа для студентов. Доступ студентов для самостоятельной подготовки осуществляется через компьютеры дисплейного класса (в стандартной комплектации).

9. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении дисциплины «Физика и техника сверхсильных магнитных полей» применяются активная и интерактивная формы обучения в сочетании с самостоятельной работой. На аудиторных занятиях происходит изложение нового теоретического материала в виде лекций, разбираются решения типичных задач на применение полученных сведений для более глубокого понимания, проводится контроль выполнения домашних работ. Во время лекционных и практических занятий используются презентации и обсуждаются новые эксперименты, проводимые на мощных электрофизических установках, а также новые работы по численному моделированию этих экспериментов, которые появились в научной литературе.

Организация занятий обязательно включает диалог со студентами по вопросам решения задач. Во время контроля выполнения заданий, предложенных для внеаудиторной самостоятельной работы, производится выступление студентов с вариантами решений.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов состоит из двух взаимосвязанных частей. Первая представляет собой освоение теоретического материала, вторая – приобретение практических навыков решения задач. Освоение теоретического материала производится по лекциям и указанной основной и дополнительной литературе. Решение задач, предложенных в качестве домашнего задания, позволяет студентам научиться решать типичные задачи, возникающие при работе с электрофизическими установками.

Для решения воспитательных и учебных задач дисциплины используется 8 занятий в интерактивной форме (из РУПа).

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки: 03.04.01 «Прикладная математика и физика», профиль подготовки: «Электрофизика»

Автор: преподаватель кафедры ЭФ, Сурдин Олег Михайлович

Рецензент: старший преподаватель кафедры ЭФ, Китаев Илья Николаевич