

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

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Направление подготовки (специальность)	<u>3.03.01 «Прикладные математика и физика»</u>
Наименование образовательной программы	<u>электрофизика</u>
Квалификация (степень) выпускника	<u>бакалавр</u>
Форма обучения	<u>очная</u>

Программа одобрена на заседании кафедры Заведующий кафедрой «ЭФ»,
д.ф.м.н., доцент

протокол № 2 от 06.02.2023г.

_____ Ю.Б. Кудасов

06.02.2023г.

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/
6	48	4	144	16	32	-	60	-	Экзамен
ИТОГО	48	4	144	16	32	-	60	-	36

АННОТАЦИЯ

В курсе «Электрофизические измерения» изучаются основные представления о физических основах методов измерения магнитных и электрических полей, токов, а также электрофизических характеристик веществ (статические магнитные и транспортные, высокочастотные и сверхвысокочастотные методы). Обсуждаются методы измерения характеристик пучков заряженных частиц, а также особенности электрофизических измерений в наносистемах. Значительное внимание уделено организации измерений в условиях сильных импульсных полей и способам борьбы с электромагнитными помехами. Обсуждается взаимосвязь методик измерения в различных условиях и практические схемы и приемы.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью курса «Электрофизические измерения» является ознакомление с разнообразными методами измерений электрических и магнитных величин в физическом эксперименте: магнитного и электрического поля, электрофизических характеристик вещества (электропроводность, в том числе комплексная, диэлектрическая и магнитная восприимчивость), параметров пучков заряженных частиц. Особое внимание уделено измерениям в условиях импульсных и высокоинтенсивных полей, вопросам борьбы с электромагнитными помехами. Кратко обсуждаются особенности электрофизических измерений в наноструктурах. Курс посвящен физическим основам методов измерений, вопросы метрологии затрагиваются в меньшей степени.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Электрофизические измерения», входит в часть, формируемая участниками образовательных отношений по направлению подготовки 03.03.01 «Прикладная математика и физика». Является дисциплиной по выбору.

Курс опирается на материал дисциплин, читаемых студентам физико-технических специальностей: теоретические основы электротехники, уравнения математической физики, электродинамика, квантовая механика, теория вероятностей, основы физики твердого тела и электроники.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и университетскому курсу математики. Необходимо иметь начальные навыки обращения с чертежами и электронными схемами, обладать знаниями основ электроники, а также электричества и магнетизма в материальных средах.

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: научно-исследовательский			
проведение научных и аналитических исследований в области лазерно-физических и лазерно-плазменных исследований по отдельным разделам темы в рамках предметной области по профилю специализации	классические и квантовые поля, плотная горячая плазма, лазеры и их применения, математические модели для теоретического и численного исследований явлений и закономерностей в указанных выше областях физики, включая физику лазеров, физическую оптику, спектроскопию	ПК-2 Способен выбирать и применять необходимое оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	З-ПК-2 Знать современное инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области. У-ПК-2 Уметь критически оценивать, выбирать оборудования, инструментов и методов исследований в избранной предметной области В-ПК-2 Владеть навыками выбора и применения оборудования, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области.
		ПК-4 Способен критически оценивать применяемые методики и методы исследования	З-ПК-4 Знать основные методики и методы исследования в сфере своей профессиональной деятельности У-ПК-4 Уметь анализировать и критически оценивать применяемые методики и методы исследования. В-ПК-4 Владеть

			навыками выбора и критической оценки применяемых методик и методов исследования в сфере своей профессиональной деятельности
Тип задачи профессиональной деятельности: проектный			
участие в разработке и реализации проектов исследовательской и инновационной направленности в команде исполнителей	источники токов и напряжений, СВЧ-техника, электрофизические методики измерений	ПК-9.1 способен самостоятельно и в составе группы проводить научные исследования в области электрофизики с применением экспериментальных методов, методов имитационного моделирования, статистических методов обработки экспериментальных данных, методов компьютерного моделирования процессов и объектов	З-ПК-9.1 знать нормы и правила электробезопасности, ядерной и радиационной безопасности У-ПК-9.1 уметь проводить расчетные сертифицированных кодах в рамках поставленной задачи, оценивать погрешность результатов измерений В-ПК-9.1 владеть навыками проведения экспериментальных измерений на установках и стендах, сопоставления расчетных и экспериментальных данных
		ПК-9.2 способен к участию в проведении электрофизических измерений, выполнении экспериментов на электрофизических установках, источниках излучения, высоковольтном и измерительном оборудовании	З-ПК-9.2 знать порядок проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ У-ПК-9.2 уметь создавать математические модели процессов, протекающих в экспериментальных стендах и установках В-ПК-9.2 владеть навыками обработки результатов расчетных исследований

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)*	Максимальн ый балл (см. п. 6.3)
			16	32	-	60		
Семестр № 6								
1.	РАЗДЕЛ 1	1-16	16	22	10	60		
1.1.	1 Тема. Основные понятия метрологии	1	1	1				4
1.2.	2 Тема. Индукционные измерения магнитного поля и токов.	2	1	2	2	4	ЛР	6
1.3	3 Тема. Магнитооптические измерения магнитных полей и токов.	3	1	2	2	4	ЛР	6
1.4	4 Тема. Измерение электрических полей	4	1	1	2	4	ЛР	3
1,5	5 Тема. Магнитные свойства вещества	5	1	2	-	4	УО	4
1.6	6 Тема. Статическая электропроводность	6	1	1	-	4	УО	4
1.7	7 Тема. Эффект Холла и его применение	7	1	1	-	4	УО	4
1.8	8 Тема. Высокочастотные измерения проводимости.	8	1	2	2	4	УО	4
1.9	9 Тема. Сверхвысокочастотные измерения комплексной проводимости.	9	1	2	2	4	УО	4
1.10	10 Тема. Особенности измерения электрофизических характеристик пучков заряженных частиц.	10	1	2	2	4	ЛР	6
1.11	11 Тема. Электрофизические свойства поверхности и наноразмерных объектов	11	1	1	-	4	УО	4
1.12	12 Тема. Шумы и помехи в электрофизическом эксперименте	12	1	2	-	4	УО	4
1.13	13 Тема. Экранирование линий связи и устройств.	13	1	2	-	4	УО	4

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС	Текущий контроль (форма)*	Максимальн ый балл (см. п. 6.3)
			16	32	-	60		
1.14	14 Тема. Схемотехника помехозащищенных и малошумящих устройств и систем	14	1	2	-	4	УО	4
Рубежный контроль		15	ДЗ					5
Промежуточная аттестация		Экзамен-16					36	0-50
Посещаемость								5
Итого:			16	22	10	13	36	100

*Сокращение наименований форм текущего, рубежного и промежуточного контроля:

УО – устный опрос

ЛР-лабораторная работа

ДЗ – домашнее задание

Э-экзамен

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	РАЗДЕЛ	
1	1 Тема. Основные понятия метрологии	Погрешность измерения абсолютная, относительная, случайная, систематическая, грубая ошибка. Методы измерений прямые косвенные, совокупные. Основные понятия теории вероятности. Особенности измерений в импульсных процессах, синхронизация и реперные сигналы. Физические пределы точности измерений: броуновское движение и формула Найквиста, соотношение неопределенностей Гейзенберга.

2	2 Тема. Индукционные измерения магнитного поля и токов.	Магнитные поля в природе и физическом эксперименте (от полей головного мозга до астрофизических объектов) и методы их измерений (от СКВИД до магнитооптических измерений). Закон Фарадея, виток в переменном магнитном поле. Эквивалентная схема индукционного датчика и его постоянная времени. Слабые поля: ферромагнитный зонд и СКВИД. Индукционные измерения импульсных токов: пояс Роговского однослойный, двухслойный, многосекционный. Эквивалентные схемы пояса Роговского и его частотные характеристики.
3	3 Тема. Магнитооптические измерения магнитных полей и токов.	Природа магнитооптических эффектов Зеемана, Фарадея, Керра. Фарадеевские измерения магнитных полей: слабые и сильные поля. Практические схемы магнитооптических измерений. Световодные измерения токов.
4	4 Тема. Измерение электрических полей	Электрический зонд, двойной зонд, проблемы зондовых измерений электрического поля. Электрооптические эффекты Керра и Поккельса. Материалы для электрооптических измерений и схемы измерений. Первичный и вторичный эффект Поккельса, частотная зависимость. Роль диэлектрической проницаемости активного элемента и особенности измерения электрических полей и напряжений.
5	5 Тема. Магнитные свойства вещества	Магнитные свойства вещества: магнитный момент и проницаемость, типы магнитных веществ. Измерения в статических полях, метод Фарадея, индукционный метод, вибрационный магнетометр. Особенности измерений в импульсных сильных и сверхсильных магнитных полях: типы компенсационных датчиков, измерение метамагнитных переходов и перехода сверхпроводника в нормальное состояние.
6	6 Тема. Статическая электропроводность	Электропроводность металлов проводников и изоляторов. Двух- и четырех точечная схема измерения электропроводности. Методы измерения электропроводности изоляторов. Особенности зондовых измерений электрофизических характеристик электролитов и плазмы.
7	7 Тема. Эффект Холла и его применение	Эффект Холла в узкой и широкой пластинах. Геометрическое магнитосопротивление. Вторичный эффект Холла. Полупроводниковые материалы холловских приборов: InAs, InSb, GaAs. Применение эффекта Холла: датчики магнитного поля, токовые холловские клещи. Магниторезисторы (объемные и растровые).
8	8 Тема. Высокочастотные измерения проводимости.	Поляризуемость и дисперсия диэлектрической проницаемости в диэлектриках. Электропроводность металлов и полупроводников (модель Друде). Комплексная проводимость. Индукционные и шлейфовые ВЧ измерения.
9	9 Тема. Сверхвысокочастотные измерения комплексной проводимости.	Понятие об импедансе среды. Прохождение электромагнитной волны через слоистые среды. Интерференционные измерения прохождения и отражения (практические схемы). Резонаторные методы измерения электрофизических характеристик веществ.
10	10 Тема. Особенности измерения электрофизических характеристик пучков заряженных частиц.	Измерение тока пучка: цилиндр Фарадея, монитор вторичной эмиссии, полевые измерения. Энергетический спектр пучка. Измерение положения пучка и других геометрических характеристик.
11	11 Тема.	Туннельная микроскопия и спектроскопия. Протекание тока через молекулярный проводник: формула Ландауэра.

	Электрофизические свойства поверхности и наноразмерных объектов	Магнитные металлические сверхрешетки, гигантское магнитосопротивление и его использование в измерениях магнитных величин.
12	12 Тема. Шумы и помехи электрофизическом эксперименте	Классификация и основные источники шумов и помех. Основные схемы сигнального заземления. Заземление устройств приборов и кабельных линий. Изоляция и нейтрализация контуров заземления. Общая организация работ в условиях сильных электромагнитных помех.
13	13 Тема. Экранирование линий связи устройств.	Ближняя зона: емкостная и индуктивная связь между проводниками, роль экрана. Влияние индуктивной помехи на различные типы линий связи (сравнительный анализ). Защита от электромагнитного излучения в дальней зоне. Эффективность экранирования, окна и отверстия в экранах, дверцы и крышки устройств.
14	14 Тема. Схемотехника помехозащищенных малошумящих устройств и систем	Противофазная помеха: фильтрация сигналов, синхронное детектирование. Синфазная помеха: нейтрализация и симметрирование. Устранение связей через общее сопротивление, организация электропитания. Собственные шумы в электронных устройствах, малошумящие чувствительные приборы.

Практические/семинарские занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	1 Тема. Расчет индукционных датчиков магнитного поля и токов.	Расчет чувствительности и постоянной времени индукционного датчика магнитного поля и пояса Роговского. Оценка систематической погрешности измерения (магнитосопротивление, разогрев проводника). Влияние экрана на работу пояса Роговского.
2.	2 Тема. Расчет оптических датчиков магнитных полей и токов.	Поляризация электромагнитного излучения и ее представления. Связь показателя преломления для волн с различной круговой поляризацией с эффектом Фарадея. Расчет чувствительности и погрешностей фарадеевских датчиков магнитного поля (слабые и сильные поля). Расчет чувствительности световодного датчика тока.
3	3 Тема. Зондовые и оптические датчики электрических полей и токов.	Чувствительность электрического зонда и его частотные свойства. Свойства электрооптических материалов. Расчет чувствительности электрооптических датчиков электрического поля и напряжения. Оценка систематической ошибки, связанной с диэлектрической проницаемостью активного вещества.
4	4 Тема. Зондовые и оптические датчики электрических полей и токов.	Чувствительность электрического зонда и его частотные свойства. Свойства электрооптических материалов. Расчет чувствительности электрооптических датчиков электрического поля и напряжения. Оценка систематической ошибки, связанной с диэлектрической проницаемостью активного вещества.
5	5 Тема. Измерения магнитных свойств вещества.	Оценка энергии магнетика в магнитном поле и сил, действующих на магнетик в градиентном магнитном поле. Магнитная левитация. Расчет компенсационного датчика для сильных импульсных полей, оценка величины скачка магнитного момента, роль проводимости.
6	6 Тема. Транспортные свойства веществ статическая проводимость эффекта Холла.	Примеры оценки подвижности и концентрации носителей заряда по транспортным измерениям. Расчет токовых клещей (холловское бесконтактное измерение токов). Примеры расчета элементов с геометрическим

		магнитосопротивлением (магниторезисторы).
7	7 Тема. ВЧ и СВЧ измерения комплексной проводимости.	Практические схемы ВЧ измерений на прохождение и отражение. Оценка проводимости из экспериментальных данных. Схемы СВЧ интерферометров для определения комплексной проводимости вещества. Оценка проводимости и диэлектрической проницаемости из экспериментальных данных.
8	8 Тема. Расчет датчиков для определения характеристик пучков заряженных частиц. .	Основы сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и туннельной спектроскопии. Оценка возможностей СТМ из одномерной модели (уравнение Шредингера: одиночный). Оценка проводимости молекулярной проволоки, формула Ландауэра, резонансный туннельный диод. Особенности электрических измерений на уровне нанообъектов.
9	9 Тема. Электрофизические измерения наносистемах.	Металлические магнитные сверхрешетки, эффект гигантского магнитосопротивления в сверхрешетках.
10	10 Тема. Оценка величины помех и шумов измерительных системах.	Оценка величины электромагнитной помехи в контуре заземления и по общей шине (заземления и питания). Простые методы борьбы с различными типами помех. Оценка величины шумов в многокаскадных усилителях.

4. 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 6				
	1 Тема. Основные понятия метрологии	ПК-2 ПК-4 ПК-9.1 ПК-9.2	3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-1
	2 Тема. Индукционные измерения магнитного поля и токов.		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-2 ЛР-2
	3 Тема. Магнитооптические измерения магнитных полей и токов.		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-3 ЛР-3

	4 Тема. Измерение электрических полей		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-4 ЛР-4
	5 Тема. Магнитные свойства вещества		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-5
	6 Тема. Статическая электропроводность		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-6
	7 Тема. Эффект Холла и его применение		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-7
	8 Тема. Высокочастотные измерения проводимости.		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-8 ЛР-8
	9 Тема. Сверхвысокочастотные измерения комплексной проводимости.		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-9
	10 Тема. Особенности измерения электрофизических характеристик пучков заряженных частиц.		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-10 ЛР-10
	11 Тема. Электрофизические свойства поверхности и наноразмерных объектов		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-11
	12 Тема. Шумы и помехи в электрофизическом эксперименте		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-12
	13 Тема. Экранирование линий связи и устройств.		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-13
	14 Тема. Схемотехника помехозащищенных и маломощных устройств и систем		3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	УО-14
	Рубежный контроль	ПК-2 ПК-4 ПК-9.1 ПК-9.2	3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	ДЗ-15
	Промежуточная аттестация	ПК-2 ПК-4 ПК-9.1 ПК-9.2	3-ПК-2; У- ПК-2; В- ПК-2 3-ПК-4; У- ПК-4; В- ПК-4 3-ПК-9.1; У- ПК-9.1; В- ПК-9.1 3-ПК-9. 2; У- ПК-9. 2; В- ПК-9. 2	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 темы домашнего задания (ДЗ)

1. С какой максимальной точностью можно измерить постоянное напряжение (согласно теореме Найквиста)?

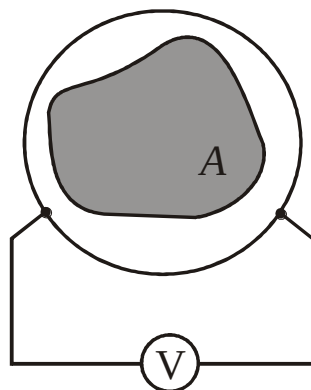
2. Оценить возможность использования индукционного датчика магнитного поля в виде однослойного соленоида длиной L , диаметром D , числом витков N , с собственным сопротивлением R_S , нагруженного на нагрузку R_L , для измерения переменного магнитного поля с частотой f и определить чувствительность датчика по магнитному полю.

3. Оценить давление магнитного поля (величину и направление), действующее на индукционный датчик: (а) нагруженный на сопротивление R , (б) короткозамкнутый.

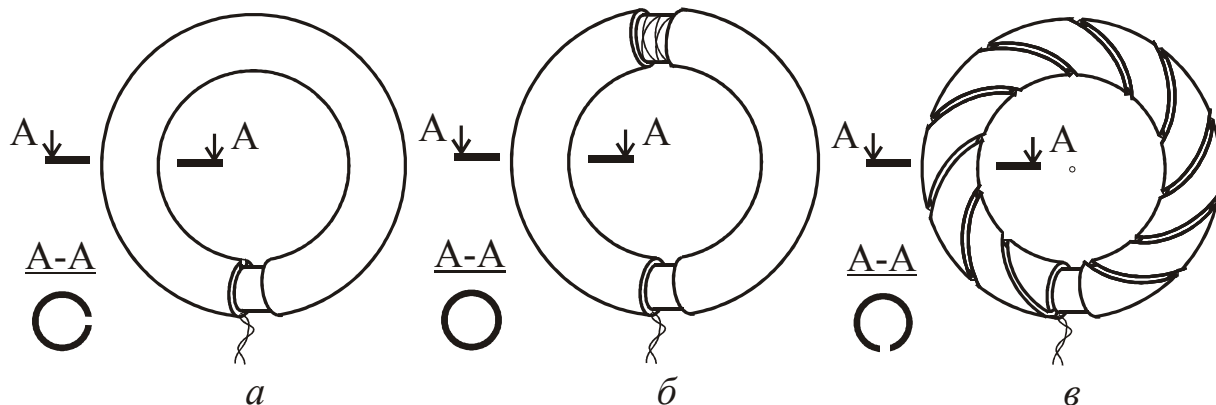
4. Оценить величину собственного магнитного поля, создаваемого токами в датчике. Когда оно оказывается существенным?

5. Оценить возможность использования двухслойного пояса Роговского с большим диаметром тора D , малым диаметром d , с полным числом витков N , собственным сопротивлением R_S , нагруженного на нагрузку R_L , для измерения переменного тока с частотой f и определить чувствительность датчика по току.

6. В некоторой области A магнитный поток нарастает с постоянной производной по времени $d\Phi/dt$. Вне ее магнитное поле отсутствует. Область A охвачена металлическим обручем постоянного сечения. На расстоянии $1/3$ длины обруча имеются контакты, к которым подключен вольтметр (см. рисунок). Каковы его показания? **Четные варианты**



7. (альтернативная задаче 4). Упражнение 3. В некоторых случаях необходимо экранировать пояс Роговского от электрических помех. На рисунке показаны три варианта тонких экранов: (а) с разрезом вдоль по образующей тора, (б) два сплошных экрана и (в) в виде ленты. Можно ли их использовать? **Нечетные варианты**



Получить их для всех щелочно-галогидных соединений (варианты!). Система единиц – как в таблицах выше.

8. Доказать, что при прохождении линейно поляризованной электромагнитной волны через среду, в которой показатели преломления для волн с левой и правой круговой поляризацией отличаются, волна остается линейно поляризованной, однако ее плоскость поляризации поворачивается на некоторый угол (эффект Фарадея).

9*. Форма импульса магнитного поля имеет вид

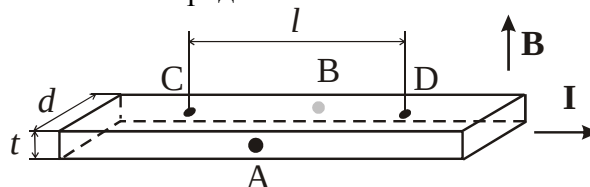
$$B = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ a(t+t_0)^2 - b, & 0 < t < 100 \\ 209,4, & t > 100 \end{cases}$$

где $a = 6,98 \cdot 10^{11}$ Тл/с², $t_0 = 10^{-5}$ с, $b = 69,8$ Тл. Оптический датчик, расположенный в этом поле, представляет собой образец стекла ТФ-5 длиной 1 см. Константа Верде составляет 15 рад/(Тл м). Плоскости поляризации анализатора и поляризатора повернуты друг относительно друга на угол $\pi/4$. Оценить рабочую полосу частот фотоприемника и измерительного тракта.

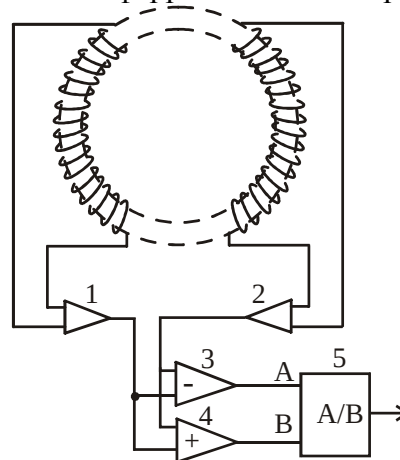
10*. К кристаллу DKDP размерами $1 \times 1 \times 10$ см³ приложено напряжение 100 В (электроды находятся на двух противоположных длинных гранях). Свет распространяется в кристалле вдоль длинной стороны. Другой кристалл DKDP цилиндрической формы диаметром 1 см и длиной 10 см находится во внешнем электрическом поле $E_0 = 100$ В/см. Свет распространяется вдоль по образующей цилиндра, поле приложено перпендикулярно ей. Во сколько раз будет отличаться сдвиг фаз Γ при прохождении света в первом и втором кристаллах?

11. Электрооптический кристалл размерами $1 \times 1 \times 1$ см³ находится в электрическом поле с частотой $f = 10$ ГГц. Диэлектрическая проницаемость кристалла на этой частоте $\varepsilon = 50$. Можно ли выполнить оптические измерения электрического поля с помощью этого кристалла, если показатель преломления на длине волны зондирующего лазера $n = 1,5$?

12. Через полупроводниковую пластину толщиной $t = 2$ мм и шириной $d = 2$ мм протекает ток 10 мА в магнитном поле 0,5 Тл (см. рисунок). Напряжения между парами точек А,В и С,Д одинаково и составляет 10 мВ. Расстояние между точками С и D равно 10 мм. Определить концентрацию и подвижность носителей заряда.



13. Можно ли изготовить индукционный измеритель положения пучка частиц, показанный на рисунке на тороидальном ферромагнитном сердечнике?



14. В рамках одномерного уравнения Шредингера оценить зависимость тока через туннельный контакт от расстояния между контактами (при постоянном напряжении). Какое изменение расстояния между контактами можно зарегистрировать, если чувствительность по туннельному току составляет 10 %.

15. В пределе низких частот найти уравнение распространения магнитного поля в металле (ближняя зона, высокая проводимость, магнитная проницаемость отличается от 1).

16*. Доказать, что взаимная индуктивность экрана и центральной жилы коаксиального кабеля равняется индуктивности экрана. Останется ли этот результат справедливым, если центральная жила и экран расположены некоаксиально?

17. Вычислить коэффициент шума трехкаскадного усилителя, если известны коэффициенты усиления по напряжению и коэффициенты шума каждого каскада. Полоса частот, а также входные и выходные сопротивления каскадов одинаковые.

* - задачи повышенной сложности.

5.2.2. Примерные задания к 5-и лабораторным работам.

1. Лабораторная работа «Получение и регистрация импульсного магнитного поля амплитудой 40 Тл в проволочном соленоиде»

Комплект оборудования состоит из конденсаторной батареи с максимальным зарядным напряжением 10 кВ и энергозапасом не менее 100 кДж (40 конденсаторов марки ИК10-50), зарядного устройства ВС50-50, пульта контроля и управления, измерительной стойки, разрядников РУ-62, цифровых осциллографов (Tektronix 3014), соленоидов (проволочный и спиральный цельноточеный) и индуктивных датчиков тока и магнитного поля.

Высоковольтная часть установки должна быть установлена в специальном защитном ограждении, исключающим случайный контакт с токоведущими частями установки, находящимися под высоким напряжением.

Конденсаторная батарея заряжается при помощи зарядного устройства до напряжения не более 80% от номинального (не более 8 кВ), что позволяет резко снизить вероятность аварийного пробоя конденсаторов. При появлении индикации, сигнализирующей о полной зарядке батареи, производится разряд конденсаторной батареи на соленоид (проволочный или спиральный). Ток разряда контролируется индуктивным датчиком тока (поясом Роговского), магнитное поле соленоида – индукционным датчиком магнитного поля (многовитковый соленоид).

Последовательность выполнения лабораторной работы:

1. Изучение инструкции по технике безопасности на установке свыше 1000 В. Изучение основных и дополнительных защитных средств (диэлектрическая штанга, диэлектрические калоши, перчатки, коврики и т.д.). Получение допуска к работе.
2. Изучение характеристик соленоида, расчет зависимости магнитное поле – ток соленоида. Расчет индуктивности соленоида и переходного процесса при разряде батареи.
3. Подготовка датчиков тока (пояс Роговского) и магнитного поля к работе. Расчет их характеристик, исходя из ожидаемого тока разряда батареи. Установка датчиков на в соленоиде.
4. Проведение 3 экспериментов по разряду батареи на соленоид. Получение экспериментальных зависимостей тока и магнитного поля соленоида.
5. Сравнение расчетных и экспериментальных данных.
6. Выводы по результатам работы.

Техника безопасности при работе на установке.

1. Основным источником опасности установки являются высокие электрические напряжения на некоторых ее элементах. Следует также иметь в виду повышенную пожароопасность в аварийной ситуации: (в случае пробоя конденсатора возможно возгорание конденсаторного масла).
2. Все работы должны проводиться в строгом согласии с «Руководством по эксплуатации» и «Правилами технической эксплуатации электроустановок».
3. Перед проведением лабораторной работы студенты в обязательном порядке проходят инструктаж и получают допуск к проведению работы.

4. Работы по установке датчиков и по проведению разрядного эксперимента проводятся в только присутствии штатного сотрудника лаборатории.

2. Лабораторная работа «Измерение магнитной восприимчивости вещества в импульсном магнитном поле компенсационным индукционным датчиком, расчет и изготовление компенсационного датчика для импульсного магнитного поля до 40 Тл, проведение измерения кривой намагниченности»

Комплект оборудования состоит из конденсаторной батареи с максимальным зарядным напряжением 10 кВ и энергозапасом не менее 100 кДж (40 конденсаторов марки ИК10-50), зарядного устройства ВС50-50, пульта контроля и управления, измерительной стойки, разрядников РУ-62, цифровых осциллографов (Tektronix 3014), соленоидов (проволочный и спиральный цельноточеный), индуктивного датчика магнитного поля, индуктивного компенсационного датчика дифференциальной намагниченности.

Высоковольтная часть установки должна быть установлена в специальном защитном ограждении, исключающим случайный контакт с токоведущими частями установки, находящимися под высоким напряжением.

Конденсаторная батарея заряжается при помощи зарядного устройства до напряжения не более 80% от номинального (не более 8 кВ). При появлении индикации, сигнализирующей о полной зарядке батареи, производится разряд конденсаторной батареи на соленоид (проволочный или спиральный).

В магнитном поле соленоида устанавливаются датчик индуктивный магнитного поля и компенсационный датчик. Магнитное поле соленоида контролируется индукционным датчиком магнитного поля. Дифференциальная намагниченность образца измеряется в компенсационном датчике, представляющем собой пару небольших идентичных катушек. В одной из них установлен образец. Эта пара подключена последовательно, причем полярность подключения обеспечивает взаимную компенсацию ЭДС катушек. При установке образца в одно из плеч датчика сигнал на выходе датчика пропорционален производной намагниченности образца по времени.

Последовательность выполнения лабораторной работы:

1. Изучение принципа работы компенсационного датчика, методика анализа его выходных сигналов в (а) магнитодиэлектриках с плавной кривой намагниченности, (б) при метамагнитных переходах и (в) при работе с проводящими образцами.
2. Подготовка компенсационного датчика и датчика магнитного поля к работе.
3. Проведение 2 разрядных экспериментов на пустой компенсационный датчик. Определение величины раскомпенсации датчика.
4. Установка образца и проведение 2 разрядных экспериментов с образцом.
5. Анализ экспериментальных данных, вычисление кривой намагниченности образца (или проводимости образца – в зависимости от образца). Оценка погрешностей измерения.
6. Выводы по результатам работы.

Техника безопасности при работе на установке.

1. В данной лабораторной работе студент не допускается к высоковольтной части установки. Тем не менее, должен быть проведен общий инструктаж по работе в лаборатории.
2. Все работы должны проводиться в строгом согласии с «Руководством по эксплуатации» на измерительный комплекс (осциллограф, мультиметр).
3. Работы по установке датчиков и по проведению разрядного эксперимента проводятся в только присутствии штатного сотрудника лаборатории.

3. Лабораторная работа «Измерение проводимости 4-х точечной методикой при криогенных температурах»

Комплект оборудования состоит из транспортного сосуда Дьюара, криостата с держателем, термопары, измерительного оборудования (мультиметры, источник тока) и образца. Работа выполняется на рабочем месте радимонтажника.

Образец устанавливается на держателе и размещается в криостате, собирается измерительная схема. Затем производится переливка жидкого азота из транспортного сосуда Дьюара в криостат. Выполняется измерение температуры и установка необходимого ее значения перемещением штока держателя. Выполняются измерения проводимости двухточечной методикой и 4-х точечной методикой.

Образец выбирается с достаточно высокой проводимостью, при которой имеются сильные расхождения между двухточечной и четырехточечной методиками.

Последовательность выполнения лабораторной работы:

1. Ознакомление с правилами безопасности. Изучение принципов двух и 4-х точечных методик измерения проводимости. Ознакомление с конструкцией криостата и с измерительным оборудованием.
2. Подготовка образца и установка его на держателе криостата.
3. Заливка жидкого азота в криостат.
4. Проведение измерения проводимости образца при нескольких температурах двумя методиками.
5. Анализ расхождения результатов измерения между двух и 4-х точечными методиками, оценка контактного сопротивления.
6. Выводы по результатам работы.

Техника безопасности при работе на установке.

1. Должен быть проведен общий инструктаж по работе в лаборатории и инструктаж по работе с криогенными жидкостями.
2. При переливке жидкого азота обязательно использование переливного устройства и защитных очков.
3. Все работы должны проводиться в строгом согласии с «Руководством по эксплуатации» на измерительный комплекс (осциллограф, мультиметр), и «Правил безопасности при производстве и потреблении продуктов разделения воздуха ПБ 11-544-03» в части, относящейся к использованию криогенных жидкостей на небольших установках.

4. Лабораторная работа «Измерения мощного импульса тока при разряде батареи, конструирование и изготовление индукционного датчика тока»

Комплект оборудования состоит из конденсаторной батареи с максимальным зарядным напряжением 10 кВ и энергозапасом не менее 100 кДж (40 конденсаторов марки ИК10-50), зарядного устройства ВС50-50, пульта контроля и управления, измерительной стойки, разрядников РУ-62, цифровых осциллографов (Tektronix 3014), нагрузки и индуктивных датчика тока (пояса Роговского).

Высоковольтная часть установки должна быть установлена в специальном защитном ограждении, исключающим случайный контакт с токоведущими частями установки, находящимися под высоким напряжением.

Конденсаторная батарея заряжается при помощи зарядного устройства до напряжения не более 80% от номинального (не более 8 кВ), что позволяет резко снизить вероятность аварийного пробоя конденсаторов. При появлении индикации, сигнализирующей о полной зарядке батареи, производится разряд конденсаторной батареи на нагрузку. Производная тока разряда по времени измеряется индуктивным датчиком тока (поясом Роговского).

Последовательность выполнения лабораторной работы:

1. Изучение инструкции по технике безопасности на установке свыше 1000В. Изучение основных и дополнительных защитных средств (диэлектрическая штанга, диэлектрические калоши, перчатки, коврики и т.д.). Получение допуска к работе.
2. Изучение принципа работы индукционного датчика тока (пояса Роговского). Однослойный, двухслойный, многосекционный датчики. Расчет характеристик пояса Роговского.
3. Подготовка датчика тока к работе. Установка датчика на установке.
4. Проведение 3 экспериментов по разряду батареи на нагрузку. Получение экспериментальных зависимостей тока в нагрузке.
5. Расчет тока в нагрузке по известным характеристикам электрической цепи. Сравнение расчетных и экспериментальных данных. Определение погрешности измерений.
6. Выводы по результатам работы.

Техника безопасности при работе на установке.

1. Основным источником опасности установки являются высокие электрические напряжения на некоторых ее элементах. Следует также иметь в виду повышенную пожароопасность в аварийной ситуации: (в случае пробоя конденсатора возможно возгорание конденсаторного масла).
2. Все работы должны проводиться в строгом согласии с «Руководством по эксплуатации» и «Правилами технической эксплуатации электроустановок».
3. Перед проведением лабораторной работы студенты в обязательном порядке проходят инструктаж и получают допуск к проведению работы.
4. Работы по установке датчиков и по проведению разрядного эксперимента проводятся в только присутствии штатного сотрудника лаборатории.

5. Лабораторная работа «Оптический метод регистрации сильного магнитного поля в проволочном соленоиде»

Комплект оборудования состоит из конденсаторной батареи с максимальным зарядным напряжением 10 кВ и энергозапасом не менее 100 кДж (40 конденсаторов марки ИК10-50), зарядного устройства ВС50-50, пульта контроля и управления, измерительной стойки, разрядников РУ-62, цифровых осциллографов (Tektronix 3014), соленоидов (проволочный и спиральный цельноточеный) и индуктивных датчиков тока и магнитного поля, измерительного гелий-неонового лазера, датчик (поляризатор, анализатор, стекло МОС), фотоприемник.

Высоковольтная часть установки должна быть установлена в специальном защитном ограждении, исключающим случайный контакт с токоведущими частями установки, находящимися под высоким напряжением.

Конденсаторная батарея заряжается при помощи зарядного устройства до напряжения не более 80% от номинального (не более 8 кВ), что позволяет резко снизить вероятность аварийного пробоя конденсаторов. При появлении индикации, сигнализирующей о полной зарядке батареи, производится разряд конденсаторной батареи на соленоид (проволочный или спиральный). Ток разряда контролируется индуктивным датчиком тока (поясом Роговского). Магнитооптический датчик устанавливается внутри соленоида. Лазерное излучение проводится при помощи световодов.

Последовательность выполнения лабораторной работы:

1. Изучение инструкции по технике безопасности на установке свыше 1000 В. Изучение основных и дополнительных защитных средств (диэлектрическая штанга, диэлектрические калоши, перчатки, коврики и т.д.). Получение допуска к работе.
2. Изучение характеристик датчика. Расчет его чувствительности. Подготовка датчика к работе.
3. Подготовка датчиков тока и магнитного поля к работе. Установка датчиков в соленоиде.

4. Проведение 3 экспериментов по разряду батареи на соленоид. Получение экспериментальных зависимостей тока и магнитного поля соленоида.
5. Сравнение расчетных и экспериментальных данных.
6. Выводы по результатам работы.

Техника безопасности при работе на установке.

1. Основным источником опасности установки являются высокие электрические напряжения на некоторых ее элементах. Следует также иметь в виду повышенную пожароопасность в аварийной ситуации: (в случае пробоя конденсатора возможно возгорание конденсаторного масла).
2. Все работы должны проводиться в строгом согласии с «Руководством по эксплуатации» и «Правилами технической эксплуатации электроустановок».
3. Перед проведением лабораторной работы студенты в обязательном порядке проходят инструктаж и получают допуск к проведению работы.
4. Работы по установке датчиков и по проведению разрядного эксперимента проводятся в только присутствии штатного сотрудника лаборатории.

Оценивание результатов лабораторной работы

Подробное описание лабораторной работы приведено в Методическом пособии по лабораторной работе.

Лабораторная работа на установке сильных магнитных полей оценивается по сумме баллов на основании

(а) предварительного устного опроса для оценки степени освоения методических материалов для проведения лабораторной работы (1 балл),

(б) контроль выполнение экспериментальной части работы (2 баллов),

(в) контроль результатов работы - защита (3баллов).

Максимальное количество баллов – 6.

Необходимым условием для зачета лабораторной работы является соблюдение правил техники безопасности. При их грубом нарушении студент удаляется из лабораторного помещения и получает 0 баллов за лабораторную работу.

5.2.3. Примерные задания к устному опросу (УО)

1. Назовите средства электробезопасности, используемые при эксплуатации установки. Каково предназначение каждого из них?

2. Назовите основные элементы установки. Кратко опишите их. Для чего они предназначены?

3. Порядок безопасного выполнения работ.

4. Использование переносного заземления.

5. Какую функцию выполняет сбросовый резистор? Как он работает? Можно ли работать без него? Почему?

6. В каком порядке выполняется генерация импульса тока на установке?

7. На основе электрических схем кратко опишите процесс генерации импульса тока.

8. Опишите форму импульса тока, генерируемого в нагрузке. Назовите основные параметры данного импульса.

9. На каких физических принципах основано измерение силы тока поясом Роговского?

10. Как производится измерение индукции магнитного поля индукционным датчиком?

11. Что такое тонкий соленоид? Как изменяется магнитное поле вдоль оси тонкого соленоида?

12. Что такое делитель напряжения? Как его следует учитывать при обработке сигналов с датчиков?

13. Каким образом производится оценка параметров импульса тока и магнитного поля по сигналам датчиков?

14. Что такое постоянная времени индукционного датчика (поля или тока)? Как она влияет на результаты измерения?

Критерии оценивания за опрос:

4 баллов – ответ исчерпывающий, без существенных замечаний. При необходимости приведены пример и показаны навыки владения оборудованием.

3 балла – ответ полный, имеются несущественные замечания, примеры приведены частично.

2 балла – ответ содержит основные положения, но имеются существенные замечания, отсутствуют примеры.

1 балл – ответ содержит основные положения со значительными пробелами и неточностями. Отсутствуют примеры и понимание излагаемой проблемы.

Критерии оценивания выполнения экспериментальной части:

6 баллов – работа выполнена полностью согласно Методическому пособию и указаниям преподавателя, соблюдались правила техники безопасности

5.2.4. Примерные задания к Экзамену (Э)

В состав экзаменационных билетов входит 1 теоретический вопрос на проверку знаний и умений и 1 задача.

Теоретические вопросы (проверка знаний и умений):

1. Индукционные измерения магнитного поля и токов
2. Оптические измерения магнитного поля и токов (эффект Фарадея)
3. Оптические измерения электрического поля и напряжений
4. Эффект Холла и его применение
5. Эффект геометрического магнитосопротивления (эффект Холла)
6. Помехи и шумы (емкостные и индуктивные помехи в ближней зоне)
7. Принципы сигнального заземления
8. Измерения проводимости 4-х точечной методикой
9. Измерение характеристик пучков заряженных частиц (ток, положение пучка): цилиндр Фарадея и т.д.
10. Зондовые измерения в плазме
11. ВЧ и СВЧ измерения проводимости и диэлектрической проницаемости
12. Электрофизические измерения нанообъектов (зондовые измерения).

Темы задач (проверка навыков)

Задача 1. Форма импульса магнитного поля имеет известный вид $f(t)$. Какое напряжение будет зафиксировано на регистраторе, если сопротивление датчика R_S , сопротивление нагрузки R_L , число витков датчика N , диаметр датчика d и длина – L . Поле считается однородным в пространстве. (7 баллов)

Четные варианты:
$$f(t) = \frac{B_0}{\left(1 - \frac{t}{t_0}\right)^2} \text{ при } 0 < t < t_0.$$

Нечетные варианты: $f(t) = B_0 \sin^2\left(1 - \frac{t}{t_0}\right)$.

Ответ:

Четные варианты: $U(t) = \frac{\pi B_0 d^2 N}{2t_0 \left(1 - \frac{t}{t_0}\right)^3} \frac{R_L}{R_L + R_S}$

Нечетные варианты: $U(t) = \frac{\pi B_0 d^2 N}{4t_0} \frac{R_L}{R_L + R_S} \sin\left(2 - \frac{2t}{t_0}\right)$

Примечание: допускается противоположный знак в выражении для $U(t)$.

Задача 2. Оценить постоянную времени односекционного двухслойного пояса Роговского с большим диаметром тора D , малым диаметром тора d и чувствительностью датчика по току A (отношение напряжения на нагрузке к производной по времени измеряемого тока), если сопротивление датчика R_S , а сопротивление нагрузки R_L . (8 баллов)

Вариант	D (м)	d (м)	A (В с A^{-1})	R_S (Ом)	R_L (Ом)
1	1	0,1	10^{-5}	1	75
2	0,1	0,01	10^{-6}	5	75
3	2	0,1	10^{-5}	10	1000
4	0,5	0,01	10^{-7}	5	50

Ответ:

Вариант	τ
1	430 мкс
2	45 мкс
3	64 мкс
4	3,5 мкс

Задача 3. Показатели преломления для левой и правой электромагнитной волны (длина волны в вакууме λ_0) зависят от внешнего магнитного поля B соответственно, как $n_L = n_0 + aB$ и $n_R = n_0 - aB$. Чему равна константа Верде? (10 баллов).

Ответ: $V = \frac{2\pi a}{\lambda_0}$.

Задача 4. Магнитооптический датчик изготовлен из тяжелого флинта ТФ-5 ($V=14,6$ рад/(Тл м)). Какова должна быть длина датчика, чтобы при изменении магнитного поля от 0 до 500 Тл наблюдалось 20 полных осцилляций интенсивности излучения на фотоприемнике (5 баллов)

Ответ: 8,5 мм.

Задача 5. Кварцевый световод ($V=3,55$ рад/(Тл м)), сохраняющий плоскость поляризации, используется в качестве световодного датчика тока. Сколько витков световода должно охватывать токопровод, чтобы при изменении тока от 0 до 1 МА наблюдались примерно 10 пульсаций на фотоприемнике (5 баллов)

Ответ: 7 витков.

Задача 6. Зонд электрического поля находится в однородном переменном электрическом поле с круговой частотой ω . Емкость зонда C_1 . К зонду подключен регистратор с внутренним сопротивлением R и внутренней емкостью C_2 . Найти амплитуду сигнала на регистраторе, если амплитуда электрического поля E , а расстояние между пластинами зонда d . (20 баллов).

Ответ: $U = \frac{\omega C_1 R E d}{\sqrt{1 + \omega^2 (C_1 + C_2) R^2}}$.

Задача 7. Излучение с круговой поляризацией ($\lambda=628$ нм) падает на кристалл DKDP в виде параллелепипеда $10\text{см}\times 1\text{см}\times 1\text{см}$ вдоль длинной стороны. Как будет изменяться поляризация излучения на выходе из кристалла при приложении к двум противоположным граням напряжения от 0 до 1 кВ (электрическое поле перпендикулярно направлению распространения света). Насколько изменится сдвиг фаз между продольной (вектор $\mathbf{E}$ волны направлен вдоль приложенного электрического поля) и поперечной компонентой волны? Показатель преломления $n=1,5$, электрооптическая константа $r=26\cdot 10^{-12}$ м/В, диэлектрическая проницаемость 70. (15 баллов).

Ответ: Круговая – эллиптическая – плоскополяризованная с наклоном 45° к вектору напряженности электрического поля – эллиптическая – круговая с противоположным вращением – и т.д. Сдвиг фаз изменяется линейно и при 1 кВ изменится на $2\frac{1}{2}\pi$ рад.

Задача 8. Данные задачи 2. Источник приложенного напряжения имеет внутреннее сопротивление 1 МОм. Оценить постоянную времени при измерении переменного напряжения источника электрооптическим датчиком. (10 баллов).

Ответ: 62 мкс.

Задача 9. Стальной шарик с плотностью $\rho=7,3\cdot 10^3$ кг/м³ и магнитной проницаемостью $\mu=500$ и индукцией насыщения 1 Тл лежит на горизонтальной плоскости, на оси тонкого однослойного соленоида (диаметром 1 см, длиной 10 см, число витков 50, постоянный ток 1 А) достаточно далеко вне соленоида (ось соленоида лежит в горизонтальной плоскости). Шарик начинает двигаться в плоскости в направлении соленоида под действием магнитных сил. Оценить его скорость в центре соленоида. (20 баллов).

Ответ: 15 см/с.

Задача 10. Через полупроводниковый стержень $10\times 1\times 1$ мм³ пропускают ток 10 мА вдоль длинной стороны. При этом вдоль короткой тороны приложено однородное магнитное поле 1 Тл. Какова подвижность и концентрация носителей заряда, если разность потенциалов вдоль длинной стороны составляет 10 мВ, а холловское напряжение равно 1 мВ (15 баллов).

Ответ: подвижность 10^4 см²/(В с), концентрация $6,25\cdot 10^{16}$ см⁻³.

Задача 11. Как изменится сопротивление диска Корбино, изготовленного из n-InAs с подвижностью $2\cdot 10^4$ см²/(В с) и концентрацией электронов $6,25\cdot 10^{16}$ см⁻³ в магнитном поле 0,5 Тл (вдоль оси диска), собственным магнитосопротивлением полупроводника пренебречь (*четные варианты*) (5 баллов).

Ответ: увеличится 2 раза.

Задача 12. Как изменится сопротивление квадратной тонкой пластины, изготовленного из n-InAs с подвижностью $2\cdot 10^4$ см²/(В с) и концентрацией электронов $6,25\cdot 10^{16}$ см⁻³ в магнитном поле 0,5 Тл (токовые контакты расположены на противоположных гранях квадрата, магнитное поле перпендикулярно плоскости пластины), собственным магнитосопротивлением полупроводника пренебречь (*нечетные варианты*) (5 баллов).

Ответ: увеличится $\sqrt{2}$ раза.

Задача 13. Оценить характерное время затухания собственных колебаний в резонаторе, если его добротность Q , частота собственных колебаний f , логарифмический декремент затухания K (5 баллов).

Ответ: $Q f^{-1}$. Допускается множитель порядка 1.

Задача 14. СВЧ излучение с длиной волны λ нормально падает на сапфировую пластинку с диэлектрической проницаемостью ϵ . При какой толщине пластинки d отражение будет максимальным. (10 баллов).

Ответ: Если пренебречь поглощением, то максимумам соответствуют $d = \frac{\lambda n}{2\sqrt{\varepsilon}}$, где $n=1,2,3\dots$. С учетом слабого поглощения $d = \frac{\lambda}{2\sqrt{\varepsilon}}$.

Задача 15. На тонкую проводящую пленку нормально падает СВЧ волна. При какой толщине пленки будет происходить максимальное поглощение излучения. При комнатной температуре для металла и полупроводника частоту излучения можно считать низкой по сравнению с частотой рассеяния $\omega \ll \omega_c$, проводимость пленки σ . (25 баллов).

Указания: толщина много меньше модуля обратного волнового вектора в среде, мнимая часть комплексной проводимости много больше вещественной части. Пленка находится в вакууме.

Ответ: Толщина пленки составляет $d = \frac{2}{Z_0 \sigma}$, где $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$ - импеданс вакуума. d называется толщиной Вольтерсдорфа.

Задача 16. На каких частотах напряжение на цилиндре Фарадея пропорционально току пучка? Собственная емкость цилиндра Фарадея C_1 , внутренняя емкость и сопротивление регистратора C_2 и R , соответственно. (10 баллов) (*четные варианты*).

Ответ: $\omega \ll [R(C_1 + C_2)]^{-1}$.

Задача 17. На каких частотах напряжение на цилиндре Фарадея пропорционально заряду, поглощенному пучком? Собственная емкость цилиндра Фарадея C_1 , внутренняя емкость и сопротивление регистратора C_2 и R , соответственно. (10 баллов) (*нечетные варианты*).

Ответ: $\omega \gg [R(C_1 + C_2)]^{-1}$.

Задача 18. Цилиндрический сигнальный электрод радиуса r находится в цилиндрической трубе дрейфа радиуса $r + \Delta r$, причем $\Delta r \ll r$. Пролетающие сгустки частиц (линейными размерами много больше длины электрода) создают переменное напряжение на регистраторе, подключенном к электроду. Емкость между электродом и трубой дрейфа C_1 . Регистратор имеет внутреннее сопротивление R и внутреннюю емкость C_2 . Найти амплитуду сигнала на регистраторе.

Указание: Считать пучок частиц тонкой заряженной нитью с переменной линейной плотностью заряда, которая изменяется с круговой частотой ω и имеет амплитуду τ . (25 баллов).

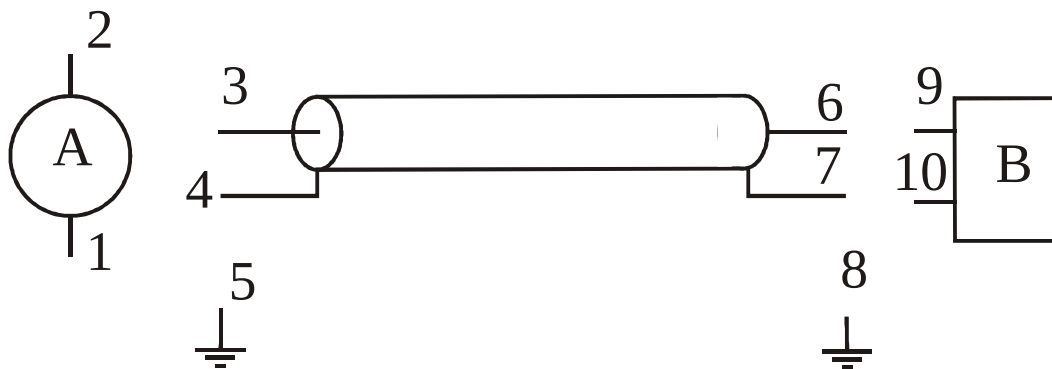
Ответ:
$$U = \frac{\omega C_1 R \tau \Delta r}{2\pi \varepsilon_0 r \sqrt{1 + \omega^2 (C_1 + C_2) R^2}}.$$

Задача 19. В рамках одномерного уравнения Шредингера оценить зависимость тока через туннельный контакт от расстояния между контактами (при малом постоянном напряжении). Какое изменение расстояния между контактами *в принципе* можно зарегистрировать, если чувствительность по туннельному току составляет 20 %. (15 баллов).

Указания: высотой барьера считать величину порядка работы выхода электрона 1 эВ, массу электрона в металле считать равной массе свободного электрона.

Ответ: 0,2 Å.

Задача 20. Имеется источник сигнала А, кабельная линия, осциллограф В и две точки заземления (см. рисунок). Как собрать измерительную схему с правильным сигнальным заземлением. (10 баллов)



Ответ: 1-4, 2-3, 6-9, 7-10 и либо 4-5, либо 7-8.

Примечание: одновременное подключение двух точек заземления (например, 4-5 и 7-8) или отсутствие заземления считается ошибкой. Допускается перекрестное соединение, например, 1-3 и 2-4 вместо 1-4 и 2-3.

Задача 21. Вычислить коэффициент шума N -каскадного усилителя, если известны коэффициенты усиления по напряжению (K_{Ui}) и коэффициенты шума (K_{Si}) каждого (i -ого) каскада. Полоса частот, а также входные и выходные сопротивления каскадов одинаковые. (20 баллов)

Ответ:
$$K_S = K_{S1} + \frac{K_{S2} - 1}{K_{U1}^2} + \dots + \frac{K_{SN} - 1}{K_{U1}^2 \dots K_{U(N-1)}^2}$$

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

В курсе «Электрофизические измерения» используются в объеме 16 часов (из РУПа) интерактивные формы:

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

Студентам предлагается решить следующие проблемы:

№	Проблемы для интерактивных занятий	Условия	Методы и средства контроля
1	Постановка измерений токов и напряжений при разряде конденсаторной батареи на индуктивную нагрузку	Заданы характеристики батареи и нагрузки, выбрать методы и параметр измерительных устройств	Оценка активности участия студента. Презентация результатов деятельности студентов
2	Разработка метода бесконтактного измерения слабых токов	Импульсные токи до 10 А (частоты от 10 Гц до 1000 Гц), Допускаются любые типы измерений	
3	Постановка измерений проводимости 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	Подавление индукционных помех в импульсном эксперименте	Задан тип и спектр шумов, предложить методики измерения и подавления помех	
6	Измерение тока пучка заряженных частиц	Заданы характеристики пучка, предложить методы измерения	

		тока пучка и обсудить их	
7	Измерение магнитного момента вещества в сильном импульсном магнитном поле	Предложить методы измерения и обсудить их возможности во взрывомагнитном генераторе или в неразрушаемом магните	
8	Измерение структуры поверхности электрофизическими методами	Предложить методы измерения на атомарном уровне, оценить ограничения	

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»	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 «удовлетворительно»	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 «неудовлетворительно»	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.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Маркин Н.С., Ершов В.С. Метрология: введение в специальность. М.: Изд-во стандартов, 1991
2. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. М.: Дрофа, 2005
3. Лагутин А.С., Ожогин В.И. Сильные импульсные магнитные поля в физическом эксперименте. М.: Энергоатомиздат, 1988
4. Боровик Е.С., Еременко В.В., Мильнер А.С. Лекции по магнетизму. М.: Физматлит. 2005
5. Борисова М.Э., Койков С.Н. Физика диэлектриков. Л. Издательство Ленинградского университета. 1979
6. Специальный физический практикум. Часть 2. под ред. Харламова А.А. М. Издательство Московского университета. 1977
7. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Физматлит. 2004
8. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных схемах. М.: Мир. 1979
9. Голант В.Е. Сверхвысокочастотные методы исследования плазмы. М: Наука. 1968
10. Москалев В.А., Сергеев Г.И. Измерение параметров пучков заряженных частиц. М: Энергоатомиздат. 1991.
11. Кудасов Ю.Б. Электрофизические измерения. М. Физматлит. (в печати)

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Балаев В.И., Мишин Е.В., Пятахин В.И. Волоконно-оптические датчики параметров физических полей. Квантовая электроника. 1984. Т.11. с.10
2. Чугунов С.А., Юркевич В.М. Расширение зоны измерения параметров электростатического поля зондовым методом. Измерительная техника. 1981. №1
3. Най Дж. Физические свойства кристаллов. М.: Мир. 1967
4. Kudasov Yu.B. Megagauss magnetization measurements. Physica B. 2001. V.294–295. p.684
5. Вайс Г. Физика гальваномагнитных полупроводниковых приборов и их применение. М. Энергия. 1974
6. Chen J., Wang W., Reed M. A., Rawlett A. M., Price D. W., Tour J. M., Appl.Phys.Lett. 2000. V.77. p.1224
7. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М.: Логос. 2000
8. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость, основы ее обеспечения в технике. М.: Энергоатомиздат. 1995

Литература к лабораторным работам

Основная:

1. Специальный физический практикум. Часть 2. под ред. Харламова А.А. М. Издательство Московского университета. 1977
2. Щербак Ю.П., Основы метрологии, учебное пособие, Часть 1, СарФТИ, 2007

Дополнительная

1. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. М.: Дрофа, 2005
2. Лагутин А.С., Ожогин В.И. Сильные импульсные магнитные поля в физическом эксперименте. М.: Энергоатомиздат, 1988
3. Кучис Е.В. Методы исследования эффекта Холла. – М.: Сов. Радио, 1974.

4. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных схемах. М.: Мир. 1979
5. Балаев В.И., Мишин Е.В., Пятахин В.И. Волоконно-оптические датчики параметров физических полей. Квантовая электроника. 1984. Т.11. с.10

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Федеральный портал «Российское образование» (<http://www.edu.ru>)
2. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru>)
3. Сайт СарФТИ НИЯУ МИФИ (<http://sarfti.ru>), раздел «Учебно-методические пособия»
4. программное обеспечение (среда для LMTO расчетов MindLab 5.0, LMTART), интернет-ресурсы среда Maple, MatLab, базы данных aps.org, Elsevier.

6. 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.

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

При выполнении практических, научно-исследовательских, опытно-конструкторских, хозяйственных и госбюджетных работ используются современные средства измерения и контроля разных фирм и др. В качестве материально-технического обеспечения используются также ресурсы и программно-аппаратное обеспечение компьютерного класса.

ГОСКОРПОРАЦИЯ «РОСАТОМ»

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Саровский Государственный физико-технический институт»

Кафедра «Экспериментальная физика»

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

по курсу «ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ» для студентов направления – 03.03.01 Прикладные математика и физика. Соответствует требованиям ГОС на уровне повышенной сложности.

Составитель: Кудасов Ю.Б., д.ф.-м.н., профессор

© Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Саровский государственный физико-технический институт» 2009г.
Саров 2018г.

Введение

Тестовые задания по курсу «Электрофизические измерения» для студентов направления - 511600 «Прикладные математика и физика» разработан с целью проведения комплексной проверки остаточных знаний студентов, прослушавших данный курс.

Уровень сложности теоретических и практических заданий полностью соответствует требованиям государственного образовательного стандарта по курсам «Общая электротехника и электроника», «Физика твердого тела», «Физика конденсированного состояния вещества» для специальности 511600 «Прикладные математика и физика».

Содержание тестовых материалов для данного курса включает в себя задания по следующим разделам: индукционные измерения магнитных полей и токов, оптические измерения магнитных полей и токов, оптические измерения электрических полей и напряжений, эффект Холла и его использование, статические измерения проводимости, ВЧ и СВЧ измерения комплексной проводимости, помехи и шумы в измерительных системах, характеристики пучков заряженных частиц, электрофизические измерения в наносистемах.

Тесты состояются из 2-5 задач различной сложности из пройденных ранее тем, время проведения теста – 20 - 40 минут.

При использовании данных тестовых заданий для оценки уровня остаточных знаний студентов, обучающихся по другим физическим специальностям, следует учитывать особенности соответствующих программ.

Контрольно-измерительные материалы по темам 6 семестр (задачи)

Измерения магнитных полей и токов.

Задача 1. Форма импульса магнитного поля имеет известный вид $f(t)$. Какое напряжение будет зафиксировано на регистраторе, если сопротивление датчика R_s , сопротивление нагрузки R_L , число витков датчика N , диаметр датчика d и длина – L . Поле считается однородным в пространстве. (7 баллов)

Четные варианты:
$$f(t) = \frac{B_0}{\left(1 - \frac{t}{t_0}\right)^2} \text{ при } 0 < t < t_0.$$

Нечетные варианты:
$$f(t) = B_0 \sin^2\left(1 - \frac{t}{t_0}\right).$$

Ответ:

Четные варианты:
$$U(t) = \frac{\pi B_0 d^2 N}{2 t_0 \left(1 - \frac{t}{t_0}\right)^3} \frac{R_L}{R_L + R_s}$$

Нечетные варианты:
$$U(t) = \frac{\pi B_0 d^2 N}{4t_0} \frac{R_L}{R_L + R_S} \sin\left(2 - \frac{2t}{t_0}\right)$$

Примечание: допускается противоположный знак в выражении для $U(t)$.

Задача 2. Оценить постоянную времени односекционного двухслойного пояса Роговского с большим диаметром тора D , малым диаметром тора d и чувствительностью датчика по току A (отношение напряжения на нагрузке к производной по времени измеряемого тока), если сопротивление датчика R_S , а сопротивление нагрузки R_L . (8 баллов)

Вариант	D (м)	d (м)	A (В с A^{-1})	R_S (Ом)	R_L (Ом)
1	1	0,1	10^{-5}	1	75
2	0,1	0,01	10^{-6}	5	75
3	2	0,1	10^{-5}	10	1000
4	0,5	0,01	10^{-7}	5	50

Ответ:

Вариант	τ
1	430 мкс
2	45 мкс
3	64 мкс
4	3,5 мкс

Задача 3. Показатели преломления для левой и правой электромагнитной волны (длина волны в вакууме λ_0) зависят от внешнего магнитного поля B соответственно, как $n_L = n_0 + aB$ и $n_R = n_0 - aB$. Чему равна константа Верде? (10 баллов).

Ответ: $V = 2\pi a / \lambda_0$.

Задача 4. Магнитооптический датчик изготовлен из тяжелого флинта ТФ-5 ($V=14,6$ рад/(Тл м)). Какова должна быть длина датчика, чтобы при изменении магнитного поля от 0 до 500 Тл наблюдалось 20 полных осцилляций интенсивности излучения на фотоприемнике (5 баллов)

Ответ: 8,5 мм.

Задача 5. Кварцевый световод ($V=3,55$ рад/(Тл м)), сохраняющий плоскость поляризации, используется в качестве световодного датчика тока. Сколько витков световода должно охватывать токопровод, чтобы при изменении тока от 0 до 1 МА наблюдались примерно 10 пульсаций на фотоприемнике (5 баллов)

Ответ: 7 витков.

Измерения электрических полей и напряжений.

Задача 1. Зонд электрического поля находится в однородном переменном электрическом поле с круговой частотой ω . Емкость зонда C_1 . К зонду подключен регистратор с внутренним сопротивлением R и внутренней емкостью C_2 . Найти амплитуду сигнала на регистраторе, если амплитуда электрического поля E , а расстояние между пластинами зонда d . (20 баллов).

Ответ:
$$U = \frac{\omega C_1 R E d}{\sqrt{1 + \omega^2 (C_1 + C_2) R^2}}.$$

Задача 2.. Излучение с круговой поляризацией ($\lambda=628$ нм) падает на кристалл DKDP в виде параллелепипеда $10\text{см} \times 1\text{см} \times 1\text{см}$ вдоль длинной стороны. Как будет изменяться поляризация

излучения на выходе из кристалла при приложении к двум противоположным граням напряжения от 0 до 1 кВ (электрическое поле перпендикулярно направлению распространения света). Насколько изменится сдвиг фаз между продольной (вектор $\mathbf{E}$ волны направлен вдоль приложенного электрического поля) и поперечной компонентой волны? Показатель преломления $n=1,5$, электрооптическая константа $r=26 \cdot 10^{-12}$ м/В, диэлектрическая проницаемость 70. (15 баллов).

Ответ: Круговая – эллиптическая – плоскополяризованная с наклоном 45° к вектору напряженности электрического поля – эллиптическая – круговая с противоположным вращением – и т.д. Сдвиг фаз изменяется линейно и при 1 кВ изменится на $2\frac{1}{2}\pi$ рад.

Задача 3. Данные задачи 2. Источник приложенного напряжения имеет внутреннее сопротивление 1 МОм. Оценить постоянную времени при измерении переменного напряжения источника электрооптическим датчиком. (10 баллов).

Ответ: 62 мкс.

Магнитные свойств веществ. Эффект Холла.

Задача 1. Стальной шарик с плотностью $\rho=7,3 \cdot 10^3$ кг/м³ и магнитной проницаемостью $\mu=500$ и индукцией насыщения 1 Тл лежит на горизонтальной плоскости, на оси тонкого однослойного соленоида (диаметром 1 см, длиной 10 см, число витков 50, постоянный ток 1 А) достаточно далеко вне соленоида (ось соленоида лежит в горизонтальной плоскости). Шарик начинает двигаться в плоскости в направлении соленоида под действием магнитных сил. Оценить его скорость в центре соленоида. (20 баллов).

Ответ: 15 см/с.

Задача 2. Через полупроводниковый стержень $10 \times 1 \times 1$ мм³ пропускают ток 10 мА вдоль длинной стороны. При этом вдоль короткой тороны приложено однородное магнитное поле 1 Тл. Какова подвижность и концентрация носителей заряда, если разность потенциалов вдоль длинной стороны составляет 10 мВ, а холловское напряжение равно 1 мВ (15 баллов).

Ответ: подвижность 10^4 см²/(В с), концентрация $6,25 \cdot 10^{16}$ см⁻³.

Задача 3. Как изменится сопротивление диска Корбино, изготовленного из n-InAs с подвижностью $2 \cdot 10^4$ см²/(В с) и концентрацией электронов $6,25 \cdot 10^{16}$ см⁻³ в магнитном поле 0,5 Тл (вдоль оси диска), собственным магнитосопротивлением полупроводника пренебречь (четные варианты) (5 баллов).

Ответ: увеличится 2 раза.

Задача 4. Как изменится сопротивление квадратной тонкой пластины, изготовленного из n-InAs с подвижностью $2 \cdot 10^4$ см²/(В с) и концентрацией электронов $6,25 \cdot 10^{16}$ см⁻³ в магнитном поле 0,5 Тл (токовые контакты расположены на противоположных гранях квадрата, магнитное поле перпендикулярно плоскости пластины), собственным магнитосопротивлением полупроводника пренебречь (нечетные варианты) (5 баллов).

Ответ: увеличится $\sqrt{2}$ раза.

ВЧ и СВЧ измерения.

Задача 1. Оценить характерное время затухания собственных колебаний в резонаторе, если его добротность Q , частота собственных колебаний f , логарифмический декремент затухания K (5 баллов).

Ответ: $Q f^{-1}$. Допускается множитель порядка 1.

Задача 2. СВЧ излучение с длиной волны λ нормально падает на сапфировую пластинку с диэлектрической проницаемостью ε . При какой толщине пластинки d отражение будет максимальным. (10 баллов).

Ответ: Если пренебречь поглощением, то максимумам соответствуют $d = \frac{\lambda n}{2\sqrt{\varepsilon}}$, где $n=1,2,3\dots$ С

учетом слабого поглощения $d = \frac{\lambda}{2\sqrt{\varepsilon}}$.

Задача 1. На тонкую проводящую пленку нормально падает СВЧ волна. При какой толщине пленки будет происходить максимальное поглощение излучения. При комнатной температуре для металла и полупроводника частоту излучения можно считать низкой по сравнению с частотой рассеяния $\omega \ll \omega_c$, проводимость пленки σ . (25 баллов).

Указания: толщина много меньше модуля обратного волнового вектора в среде, мнимая часть комплексной проводимости много больше вещественной части. Пленка находится в вакууме.

Ответ: Толщина пленки составляет $d = \frac{2}{Z_0 \sigma}$, где $Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0}$ - импеданс вакуума. d называется толщиной Вольтерсдорфа.

Измерения характеристик пучков заряженных частиц. Электрофизические измерения наносистем. .

Задача 1. На каких частотах напряжение на цилиндре Фарадея пропорционально току пучка? Собственная емкость цилиндра Фарадея C_1 , внутренняя емкость и сопротивление регистратора C_2 и R , соответственно. (10 баллов) (*четные варианты*).

Ответ: $\omega \ll [R(C_1 + C_2)]^{-1}$.

Задача 2. На каких частотах напряжение на цилиндре Фарадея пропорционально заряду, поглощенному пучком? Собственная емкость цилиндра Фарадея C_1 , внутренняя емкость и сопротивление регистратора C_2 и R , соответственно. (10 баллов) (*нечетные варианты*).

Ответ: $\omega \gg [R(C_1 + C_2)]^{-1}$.

Задача 3. Цилиндрический сигнальный электрод радиуса r находится в цилиндрической трубе дрейфа радиуса $r + \Delta r$, причем $\Delta r \ll r$. Пролетающие сгустки частиц (линейными размерами много больше длины электрода) создают переменное напряжение на регистраторе, подключенном к электроду. Емкость между электродом и трубой дрейфа C_1 . Регистратор имеет внутреннее сопротивление R и внутреннюю емкость C_2 . Найти амплитуду сигнала на регистраторе.

Указание: Считать пучок частиц тонкой заряженной нитью с переменной линейной плотностью заряда, которая изменяется с круговой частотой ω и имеет амплитуду τ . (25 баллов).

Ответ:

$$U = \frac{\omega C_1 R \tau \Delta r}{2\pi \varepsilon_0 r \sqrt{1 + \omega^2 (C_1 + C_2) R^2}}.$$

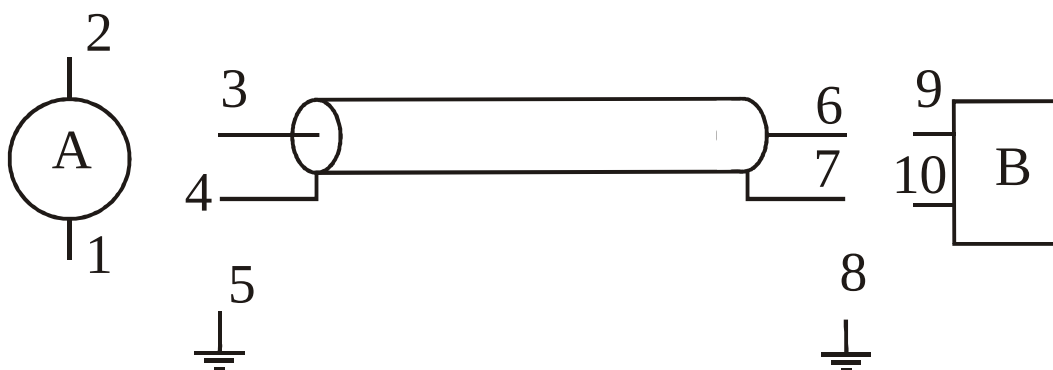
Задача 3. В рамках одномерного уравнения Шредингера оценить зависимость тока через туннельный контакт от расстояния между контактами (при малом постоянном напряжении). Какое изменение расстояния между контактами *в принципе* можно зарегистрировать, если чувствительность по туннельному току составляет 20 %. (15 баллов).

Указания: высотой барьера считать величину порядка работы выхода электрона 1 эВ, массу электрона в металле считать равной массе свободного электрона.

Ответ: 0,2 Å.

Помехи и шумы.

Задача 1. Имеется источник сигнала А, кабельная линия, осциллограф В и две точки заземления (см. рисунок). Как собрать измерительную схему с правильным сигнальным заземлением. (10 баллов)



Ответ: 1-4, 2-3, 6-9, 7-10 и либо 4-5, либо 7-8.

Примечание: одновременное подключение двух точек заземления (например, 4-5 и 7-8) или отсутствие заземления считается ошибкой. Допускается перекрестное соединение, например, 1-3 и 2-4 вместо 1-4 и 2-3.

Задача 2. Вычислить коэффициент шума N -каскадного усилителя, если известны коэффициенты усиления по напряжению (K_{Ui}) и коэффициенты шума (K_{Si}) каждого (i -ого) каскада. Полоса частот, а также входные и выходные сопротивления каскадов одинаковые. (20 баллов)

Ответ:

$$K_S = K_{S1} + \frac{K_{S2} - 1}{K_{U1}^2} + \dots + \frac{K_{SN} - 1}{K_{U1}^2 \dots K_{U(N-1)}^2}$$

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература:

1. Маркин Н.С., Ершов В.С. Метрология: введение в специальность. М.: Изд-во стандартов, 1991

2. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. М.: Дрофа, 2005
3. Лагутин А.С., Ожогин В.И. Сильные импульсные магнитные поля в физическом эксперименте. М.: Энергоатомиздат, 1988
4. Боровик Е.С., Еременко В.В., Мильнер А.С. Лекции по магнетизму. М.: Физматлит. 2005
5. Борисова М.Э., Койков С.Н. Физика диэлектриков. Л. Издательство Ленинградского университета. 1979
6. Специальный физический практикум. Часть 2. под ред. Харламова А.А. М. Издательство Московского университета. 1977
7. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Физматлит. 2004
8. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных схемах. М.: Мир. 1979
9. Голант В.Е. Сверхвысокочастотные методы исследования плазмы. М: Наука. 1968
10. Москалев В.А., Сергеев Г.И. Измерение параметров пучков заряженных частиц. М: Энергоатомиздат. 1991.
11. Кудасов Ю.Б. Электрофизические измерения. М. Физматлит, 186 с. (в печати)

б) дополнительная литература:

1. Балаев В.И., Мишин Е.В., Пятахин В.И. Волоконно-оптические датчики параметров физических полей. Квантовая электроника. 1984. Т.11. с.10
2. Чугунов С.А., Юркевич В.М. Расширение зоны измерения параметров электростатического поля зондовым методом. Измерительная техника. 1981. №1
3. Най Дж. Физические свойства кристаллов. М.: Мир. 1967
4. Kudasov Yu.B. Megagauss magnetization measurements. Physica B. 2001. V.294–295. p.684
5. Вайс Г. Физика гальваномагнитных полупроводниковых приборов и их применение. М. Энергия. 1974
6. Chen J., Wang W., Reed M. A., Rawlett A. M., Price D. W., Tour J. M., Appl.Phys.Lett. 2000. V.77. p.1224
7. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М.: Логос. 2000
8. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость, основы ее обеспечения в технике. М.: Энергоатомиздат. 1995
9. Кудасов Ю.Б., Филиппов А.В., Измерение высокочастотного комплексного импеданса в быстропротекающих процессах, ПТЭ. 2007. Вып.6. с.95
10. Ахадов Я.Ю. Диэлектрические параметры чистых жидкостей. М. Издательство МАИ. 1999

8 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении дисциплины 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 научные труды, 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.

Для решения воспитательных и учебных задач дисциплины используется 16 занятий в интерактивной форме (из РУПа).

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО по направлению подготовки: 03.03.01 «Прикладные математика и физика», профиль подготовки: «Электрофизика»

Автор: профессор кафедры ЭФ, д.ф.-м.н. Кудасов Юрий Бориславович

Рецензент(ы): профессор кафедры ЭФ д.ф.м.н. Дубинов Александр Евгеньевич