

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

*Факультет физико-математических и естественных наук
Институт физических исследований и технологий*

Рекомендовано МССН

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА СПЛОШНЫХ СРЕД

Рекомендуется для направления подготовки/специальности

03.04.02 "Физика"

Направленность программы (профиль) **Фундаментальная и прикладная физика**

1. Цели и задачи дисциплины:

Дисциплина излагается для студентов-физиков на 1-ом курсе магистратуры. Основной целью дисциплины является углубленное изучение одного из важнейших разделов физики -электродинамики сплошных сред, и развитие способности самостоятельно расширять и углублять своё научное мировоззрение.

2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина «Электродинамика сплошных сред» относится к *вариативной* части блока Б1.О.02 учебного плана.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
1	ОПК-1: способность применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	Математические методы в физике Физика нелинейных процессов	Научно-исследовательская работа
2	ПК-1: способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	Математические методы в физике Физика нелинейных процессов	Специальный физический практикум Научно-исследовательская работа

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

В результате изучения дисциплины студент **должен:**

Знать: основные законы и уравнения электродинамики сплошных сред, условия их применимости; методы теоретических и экспериментальных исследований различных электромагнитных явлений в средах.

Уметь: решать физические задачи, использовать при решении основные законы, представления и модели электродинамики, а также применять полученные знания для анализа и интерпретации результатов физических экспериментов.

Владеть: способностью оперировать углубленными знаниями в области математики и естественных наук; способностью выдвигать новые идеи; способностью к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач; способностью внедрять результаты прикладных научных исследований в перспективные приборы, устройства и системы, основанные на колебательно-волновых принципах функционирования; способностью описывать новые методики инженерно-технологической деятельности.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет **2 зачетных единицы**.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		1	2	3	4
Аудиторные занятия (всего)	32				32
В том числе:					
<i>Лекции</i>	16				16
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	16				16
<i>Семинары (С)</i>					
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>					
Самостоятельная работа (всего)	40				40
Общая трудоемкость	час	72			72
	зач. ед.	2			2

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)
1.	Уравнения Максвелла для материальных сред	Вывод уравнений электромагнитного поля в материальных средах из уравнений Максвелла-Лоренца. Векторы поля. Векторы поляризации и намагниченности. Потенциалы электромагнитного поля. Условие Лоренца. Уравнения сохранения заряда и энергии.
2.	Электростатика.	Уравнения Пуассона и Лапласа. Общее решение уравнения Пуассона. Граничные условия. Закон Кулона. Электростатика диэлектриков. Дипольный момент. Электростатика проводников. Коэффициенты электростатической индукции. Методы решения задач электростатики.
3.	Постоянный ток. Магнитостатика.	Уравнения магнитостатики. Линейный проводник с током. Закон Ома. Правила Кирхгофа. Закон Био-Савара-Лапласа. Магнитный момент и энергия системы контуров с током. Коэффициенты индукции. Поток магнитной индукции.
4.	Квазистационарное электромагнитное поле.	Уравнения квазистационарного электромагнитного поля. Линейный проводник с током. Импеданс. Переменный ток в контуре с самоиндукцией и емкостью. Собственные частоты системы контуров. Параболическое уравнение для магнитного поля в проводящей среде. Скин-эффект. Движение проводника в магнитном поле.
5.	Магнитная гидродинамика.	МГД уравнения. «Вмороженность» и диффузия магнитного поля. Магнитное число Рейнольдса. Магнитогидростатика. Магнитное давление. Пинч. МГД волны. Проблема МГД устойчивости.
6.	Электромагнитные волны.	Волновое уравнение. Плоские монохроматические волны. Дисперсионное уравнение. Электромагнитные волны в проводящей среде. Поляризация волны. Показатель преломления. Аномальная дисперсия. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кронига. Немнохроматические волны. Модуляция волн.

5.2. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практ. зан.	СРС	Всего часов
1.	Основные представления электродинамики сплошных сред	2	2	2	6
2.	Электростатика	2	2	6	10
3.	Магнитостатика	2	2	6	10
4.	Квазистационарное электромагнитное поле	2	2	8	12
5.	Магнитная гидродинамика	4	4	8	16
6.	Электромагнитные волны	4	4	10	18
	ИТОГО	16	16	40	72

6. Лабораторный практикум Не предусмотрен учебным планом

7. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)
1.	2.	Электростатика.	3
2.	3.	Постоянный ток. Магнитостатика.	3
3.	4.	Квазистационарное электромагнитное поле.	4
4.	5.	Магнитная гидродинамика.	3
5.	6.	Электромагнитные волны.	3

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционный компьютер, компьютерный проектор, электронная доска, аудитория для компьютерного тестирования.

9. Информационное обеспечение дисциплины

базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

телекоммуникационная учебно-информационная система (ТУИС)

Учебный портал РУДН

Научная электронная библиотека РУДН

<http://www.edu.ru/> – федеральный образовательный портал.

<http://genphys.phys.msu.ru/rus/demo/> - кабинет физических демонстраций МГУ.

<http://genphys.phys.msu.ru/rus/ofp/>

<http://www.alpud.ru/> - автоматизированные лабораторные практикумы удаленного доступа.

<http://prac-gw.sinp.msu.ru/atom.htm> - атомный и ядерный практикум МГУ.

10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

а) основная литература

(Д) - Денисов В.И. Электродинамика материальных сред. М.: Изд. МГУ, 1989.

(ЛЛ) - Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2001.

(БРТ) - Бредов М.М., Румянцев В.В., Топтыгин И.Н. Классическая электродинамика. М.: Наука, 1985.

(БТ) - Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. Сборник задач по электродинамике. М.: РХД, 2002.

(А) - Алексеев А.И. Сборник задач по классической электродинамике. М.: Наука, 1977.

б) дополнительная литература

1. Памятных Е.А., Туров Е.А. Основы электродинамики материальных сред в переменных и неоднородных полях. М.: Наука, 2000.

2. Джексон Дж. Классическая электродинамика. М.: Мир, 1965.

3. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1989.
4. Терлецкий Я.П., Рыбаков Ю.П. Электродинамика. М.: Высшая школа, 1990.
5. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Т.5. Электричество и магнетизм; Т.6. Электродинамика; Т.7. Физика сплошных сред. М.: Мир, 1977.
6. Пановский В., М.Филипс Классическая электродинамика. М.: Физматгиз, 1963.
7. Парселл Э. Электричество и магнетизм. БКФ. Т.2. М.: Наука. 1983.
8. Клеммоу Ф., Доуэрты Дж. Электродинамика частиц и плазмы. М.: Мир, 1996.
9. Горбунов Л.М. Введение в электродинамику плазмы. М.: Изд. УДН, 1990.
10. Власов А.А. Макроскопическая электродинамика. М.: ГИТТЛ, 1955.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Необходимо обеспечить себя рекомендованными учебными материалами. Для получения глубоких и прочных знаний, твердых навыков и умений, необходима, кроме проработки лекционного материала, систематическая самостоятельная работа студента. Дополнить конспект лекций, выделить главное студент должен самостоятельно, пользуясь предлагаемыми учебными пособиями.

12. Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Реализация дисциплины, текущий контроль и промежуточная аттестация для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов осуществляются с учетом специфики освоения и дидактических требований, исходя из индивидуальных психофизических особенностей и в соответствии с индивидуальной программой реабилитации по личному заявлению обучающегося.

В процессе обучения предусматриваются различные формы предоставления необходимой учебной и учебно-методической информации (визуально, в том числе с укрупненным шрифтом, аудиально и т. п.), допускаются использование студентом технических средств фиксации информации (аудио-, фото- или видеотехника) и присутствие на аудиторных занятиях ассистента (помощника, сопровождающего, сурдо- или тифлосурдопереводчика и т. п.), осуществляющего техническое сопровождение учебного процесса для студента. Допускается частично дистанционное обучение с предоставлением необходимой учебной и учебно-методической информации средствами телекоммуникационной сети Интернет. Предусматриваются различные формы текущего контроля качества освоения дисциплины, достижения запланированных результатов обучения и уровня сформированности заявленных в ООП компетенций: устно, в том числе практические задания и контрольные работы с пояснением хода выполнения; письменно, в том числе конспекты ответов на вопросы практических занятий по разделам дисциплины; устно дистанционно; письменно дистанционно.

Во всех формах текущего контроля используются общие критерии оценивания. Процедура промежуточной аттестации проводится с учетом психофизических особенностей и состояния здоровья студента: допускается присутствие ассистента, осуществляющего техническое сопровождение процедуры; используются адаптированные оценочные средства; допускаются различные формы ответа (устно, письменно, с использованием необходимых технических средств и т. п.); допускается дистанционная форма проведения зачета или экзамена (например, с использованием программы Skype в предварительно согласованное время); при необходимости предоставляется дополнительное время для подготовки к ответу. Независимо от формы организации процедуры промежуточной аттестации используются общие критерии оценивания.

13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Шкала оценок

Соответствие систем оценок (согласно Приказу Ректора № 996 от 27.12.2006 г.)

Баллы БРС	Традиционные оценки в РФ	Баллы для перевода оценок	Оценки	Оценки
86-100	5	95-100	5+	A
		86-94	5	B
69-85	4	69-85	4	C
51-68	3	61-68	3+	D
		51-60	3	E
0-50	2	31-50	2+	FX
		0-30	2	F
51-60	Зачет		Зачет	Passed

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине Электродинамика сплошных сред

Направление/Специальность: 03.04.02 Физика

специализация "Фундаментальная и прикладная физика"

Код контролируемой компетенции или ее части	Контролируемый раздел дисциплины	Контролируемая тема дисциплины	Наименование оценочного средства												Баллы темы	Баллы раздела		
			Текущий контроль											Промежуточная аттестация				
			Опрос	Тест	Коллоквиум	Контрольная работа	Выполнение	Выполнение КР/КП	Выполнение ДЗ	Реферат	Выполнение РГР	Защита ПР		Экзамен/Зачет		
ОПК-1, ПК-1	1. Уравнения Максвелла для материальных сред	Уравнения Максвелла. Потенциалы электромагнитного поля.																
		Уравнения сохранения заряда и энергии.																
ОПК-1, ПК-1	2. Электростатика	Уравнения Пуассона и Лапласа. Общее решение уравнения Пуассона. Граничные условия.				2				5							7	
		Электростатика диэлектриков				2				5							7	20
		Электростатика проводников.				1				5							6	
		Методы решения задач электростатики.																
ОПК-1, ПК-1	3. Постоянный ток. Магнитостатика	Уравнения магнитостатики. Линейный проводник с током.				2				7						9		

		Магнитный момент системы контуров с током. Энергия системы контуров с током.				3			8							11	20	
ОПК-1, ПК-1	4.Квазистационарное электромагнитное поле.	Линейный проводник с током. Импеданс. Переменный ток в контуре				3			10							13	20	
		Параболическое уравнение для магнитного поля в проводящей среде. Скин-эффект				2			5							7		
		Движение проводника в магнитном поле.																
ОПК-1, ПК-1	5.Магнитная гидродинамика	МГД уравнения. «Вмороженность» и диффузия магнитного поля.																
		Магнитогидростатика.																
		МГД волны.																
ОПК-1, ПК-1	6.Электромагнитные волны.	Волновое уравнение. Плоские монохроматические волны. Дисперсионное уравнение.				2			8							10	20	
		Показатель преломления. Аномальная дисперсия.				1			3							4		
		Комплексная диэлектрическая проницаемость.				1			2									3
		Немонохроматические волны.				1			2									3
		ИТОГО:				20			60					20			100	

Вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине; тестовые задания по темам (для текущего контроля)

1. Уравнения электростатики.
2. Общее решение уравнения Пуассона.
3. Прямая и обратная задачи электростатики
4. Потенциал равномерно заряженного шара и цилиндра.
5. Решение уравнения Пуассона с помощью разложения Фурье.
6. Потенциал и напряженность электрического поля точечного диполя.
7. Силы и момент сил, действующие на диполь \mathbf{p} в однородном и неоднородном электрическом поле с напряженностью \mathbf{E} .
8. Дипольный электрический момент зарядов, непрерывно распределенных в объеме.
9. Энергия точечного заряда во внешнем поле.
10. Энергия электростатического поля.
11. Силы в макроскопической электростатике.
12. Уравнения магнитостатики.
13. Основные задачи магнитостатики.
14. Влияние магнитной среды на магнитное поле, вызываемое постоянными токами.
15. Энергия магнитного поля в магнитостатике.
16. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции.
17. Уравнения квазистационарного поля.
18. Квазистационарные явления в линейных проводниках.
19. Импеданс проводника.
20. Энергия и силы в квазистационарных явлениях.
21. Скин-эффект. Глубина скин-слоя.
22. Движение проводника в магнитном поле.
23. Уравнения магнитной гидродинамики.
24. Вмороженность и диффузия магнитного поля.
25. Общие условия равновесия в идеальной магнитной гидродинамике.
26. Плазменный шнур.
27. Магнитогидродинамические волны.
28. Уравнения для потенциалов электромагнитного поля в среде.
29. Запаздывающие и опережающие потенциалы.
30. Излучение от электрического и магнитного момента.
31. Плоская электромагнитная волна.
32. Плоские волны в однородной непроводящей среде.
33. Волны в однородной проводящей среде.
34. Отражение и преломление волн на плоской границе раздела двух сред.
35. Материальные уравнения в электродинамике.
36. Тензор комплексной проводимости и тензор диэлектрической проницаемости в случае однородной и стационарной среды.
37. Закон Ома в случае диспергирующей среды.
38. Дисперсионное уравнение для электромагнитных волн.
39. Начальная и граничная задачи. Затухание и нарастание волн.
40. Продольные и поперечные волны.
41. Укороченные уравнения для квазимонохроматической волны.
42. Уравнение сохранения энергии в среде с дисперсией.
43. Плотность энергии электромагнитного поля и вектор Умова-Пойнтинга в среде с дисперсией.

Тренинговые задания.

1. Формулы векторного анализа

1.1. Доказать следующие векторные дифференциальные тождества, где $\mathbf{r} = xi + yj + zk$ - радиус-вектор:

а) $\operatorname{div} \mathbf{r} = 3$; б) $\operatorname{rot} \mathbf{r} = 0$; в) $\operatorname{div}(A(r)\mathbf{r}) = 3A(r) + r dA/dr$; г) $\Delta r = 2/r$.

1.2. Доказать следующие равенства, содержащие постоянный вектор $\mathbf{p} = \text{const}$:

а) $\operatorname{grad}(\mathbf{p} \cdot \mathbf{r}) = \mathbf{p}$; б) $\operatorname{grad}(\mathbf{p} \cdot \mathbf{r}/r^3) = \mathbf{p}/r^3 - 3\mathbf{r}(\mathbf{p} \cdot \mathbf{r})/r^5$; в) $\operatorname{div}[\mathbf{p}\mathbf{r}] = 0$; г) $\operatorname{rot}[\mathbf{p}\mathbf{r}] = 2\mathbf{p}$.

1.3. С помощью теоремы Гаусса-Остроградского доказать соотношения, где \mathbf{p} - постоянный вектор, V - объем пространства, ограниченный замкнутой поверхностью S :

а) $\oint_S (\mathbf{r} \cdot d\mathbf{S}) = 3V$; б) $\oint_S (\mathbf{r} \cdot \mathbf{p}) d\mathbf{S} = \mathbf{p}V$; в) $\oint_S f(\mathbf{r}) d\mathbf{S} = \int_V dV \operatorname{grad} f(\mathbf{r})$.

1.4. Доказать следующие равенства:

а) $\operatorname{rot}(\phi\mathbf{A}) = \phi \operatorname{rot} \mathbf{A} + [\operatorname{grad} \phi, \mathbf{A}]$; б) $\operatorname{div}[\mathbf{A}\mathbf{B}] = (\mathbf{B} \operatorname{rot} \mathbf{A}) - (\mathbf{A} \operatorname{rot} \mathbf{B})$;

в) $\operatorname{rot}[\mathbf{A}\mathbf{B}] = \mathbf{A} \operatorname{div} \mathbf{B} - \mathbf{B} \operatorname{div} \mathbf{A} + (\mathbf{B} \nabla) \mathbf{A} - (\mathbf{A} \nabla) \mathbf{B}$;

г) $\operatorname{grad}(\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}) = [\mathbf{A} \operatorname{rot} \mathbf{B}] + [\mathbf{B} \operatorname{rot} \mathbf{A}] + (\mathbf{A} \nabla) \mathbf{B} + (\mathbf{B} \nabla) \mathbf{A}$;

д) $\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{A} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{A} - \nabla^2 \mathbf{A}$.

2. Электростатика

2.1. На сфере радиусом a равномерно распределен заряд Q . Найти напряженность электрического поля в произвольной точке пространства.

2.2. Тонкая палочка длины l заряжена равномерно с линейной плотностью κ . Найти напряженность электрического поля, создаваемого зарядом на палочке, в произвольной точке пространства.

2.3. Внутри шара радиуса R , заряженного с постоянной объемной плотностью ρ , имеется сферическая полость радиусом r , в которой заряды отсутствуют. Центр полости смещен относительно центра шара на расстояние a ($a + r < R$). Найти напряженность электрического поля внутри полости.

2.4. Найти функцию Грина для уравнения Пуассона и решение этого уравнения.

2.5. Пространство внутри сферы радиуса R заполнено с равномерной плотностью n диполями с параллельными дипольными моментами \mathbf{p} . Вычислить потенциал и напряженность электрического поля вне сферы на оси, проходящей через центр сферы и параллельной дипольным моментам.

2.6. Однородное электрическое поле с напряженностью \mathbf{E}_0 создано сторонними источниками. Как изменятся потенциал и напряженность поля, если в него поместить металлический шар с радиусом R ?

2.7. Определить напряженность и индукцию поля, создаваемого однородно поляризованным шаром.

2.8. Вычислить емкости сферического и цилиндрического конденсаторов.

2.9. Плоский конденсатор имеет емкость C . Насколько она изменится, если ввести между обкладками параллельно им медный лист, толщина которого равна $1/4$ расстояния между обкладками? Будет ли влиять на результат положение листа?

2.10. Найти энергию равномерно заряженного шара с плотностью ρ .

2.11. Найти энергию металлической сферы с радиусом R , имеющей заряд Q .

2.12. Найти энергию взаимодействия W двух диполей, находящихся на расстоянии $r \gg l_i$ (l_i - размер i -го диполя) друг от друга. Дипольные моменты диполей \mathbf{p}_1 и \mathbf{p}_2 .

3. Магнитостатика

3.1. Найти сопротивление слоя слабо проводящей среды с проводимостью λ , расположенной между двумя хорошо проводящими концентрическими сферами радиусов R_1 и R_2 .

3.2. Два одинаковых тела зарыты в землю на большом расстоянии друг от друга. Разность потенциалов между ними равна U . Грунт в окрестности тел имеет проводимость σ_1 и σ_2 , соответственно. Найти потенциалы тел.

3.3. По контуру, представляющему собой квадрат со стороной a , течет ток I . Найти индукцию магнитного поля на оси, проходящей через центр квадрата параллельно его стороне.

3.4. По кольцу радиуса R течет ток I . Найдите индукцию магнитного поля в точке, расположенной на перпендикуляре к плоскости кольца, восстановленном из его центра.

3.5. Найти магнитную индукцию на оси соленоида, обмотка которого содержит n витков на единицу длины. Ток, протекающий по обмотке, равен I .

3.6. Найти силу взаимодействия между бесконечно длинным тонким прямолинейным проводником, по которому течет ток I_1 , и отрезком прямого тонкого проводника длиной l с током I_2 , лежащими в одной плоскости. Угол между проводниками равен α , нижний конец отрезка проводника находится на расстоянии a от бесконечного проводника.

3.7. Квадратная рамка массы m , сделанная из тонкого провода, может без трения вращаться относительно вертикальной оси, проходящей через ее центр перпендикулярно двум противоположным сторонам рамки. Рамка находится в горизонтальном однородном магнитном поле индукции B . По рамке течет постоянный ток I . Найти период малых колебаний рамки около положения ее равновесия.

3.8. Шар радиусом R , равномерно заряженный по объему с зарядом q , вращается с постоянной угловой скоростью ω . Найти магнитный момент шара.

3.9. Найти векторный потенциал и индукцию магнитного поля, создаваемого контуром с током I в произвольной точке на расстоянии, много большем линейного размера контура.

3.10. Найти индукцию магнитного поля, создаваемого тороидом, обмотка которого содержит N витков. Ток, протекающий по обмотке, равен I , магнитная проницаемость сердечника μ .

3.11. Найти индуктивность соленоида, состоящего из N витков, равномерно намотанных на поверхность цилиндрического сердечника, изготовленного из материала с магнитной проницаемостью μ . Длина соленоида l , площадь его поперечного сечения S . Неоднородностью магнитного поля вблизи торцов сердечника пренебречь.

3.12. Внутри длинного соленоида, содержащего n витков на единицу длины, помещен стержень длиной l и сечением s , изготовленный из материала с магнитной проницаемостью μ . Сила тока в обмотке I . Какую работу надо затратить, чтобы вытащить стержень из соленоида?

3.13. Показать, что в случае постоянного однородного магнитного поля с напряженностью H векторный потенциал A , удовлетворяющий условию Лоренца, можно записать в виде: $A = [Hr]/2$, где r — радиус-вектор произвольной точки наблюдения.

4. Квазистационарное электромагнитное поле

4.1. Бесконечный прямой провод и квадратная рамка со стороной a и полным сопротивлением R расположены в одной плоскости так, что провод проходит параллельно одной из сторон рамки на расстоянии d от нее. Сила тока в проводе изменятся по закону $I_1 = \alpha t^3$, где $\alpha = \text{const}$. Найти зависимость силы тока в рамке от времени.

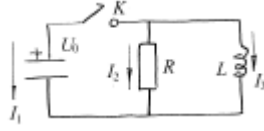
4.2. Вблизи центра длинного соленоида, содержащего n_0 витков на единицу длины, внутри него помещена плоская рамка, по которой течет ток, сила которого изменяется по закону $I_0 \cos \omega t$. Площадь рамки s , ее плоскость перпендикулярна оси соленоида. Найти ЭДС, индуцируемую в соленоиде.

4.3. Кольцо прямоугольного сечения изготовлено из материала с проводимостью σ . Внутренний радиус кольца R_1 , внешний R_2 , его высота h . Кольцо находится в нестационарном магнитном поле, вектор индукции которого B параллелен оси симметрии кольца. Магнитное поле изменяется по закону:
$$B(t) = \begin{cases} \alpha t & 0 \leq r \leq R \\ 0 & r > R \end{cases},$$

где r — расстояние от оси кольца, $R > R_2$, $\alpha = \text{const}$. Найти силу тока, протекающего по кольцу.

4.4. Пространство внутри длинного соленоида, состоящего из N витков проволоки, заполнено однородным веществом с диэлектрической проницаемостью ϵ и магнитной проницаемостью μ . Длина соленоида l , радиус R . По обмотке соленоида течет переменный ток $I = I_0 \cos \omega t$. Пренебрегая краевыми эффектами, вычислить электрическую и магнитную энергии, локализованные внутри соленоида.

4.5. Конденсатор, заряженный до напряжения U_0 , подключается при $t = 0$ к цепи, как



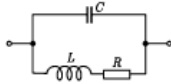
показано на рисунке.

Найти зависимость напряжения на конденсаторе от времени.

4.6. Круглая проволочная петля радиуса a , находящаяся в постоянном магнитном поле H_0 , вращается с угловой скоростью ω вокруг своего диаметра, перпендикулярного H_0 . Найти силу тока в петле, тормозящий момент и среднюю мощность, которая требуется для поддержания вращения.

4.7. Найти собственные частоты колебаний двух индуктивно связанных контуров с емкостями C_1, C_2 , индуктивностями L_1, L_2 и коэффициентом взаимной индукции L_{12} .

4.8. Найти комплексное сопротивление Z участка цепи (двухполюсника), изображенного



на рисунке.

4.9. Найти ток в цепи, содержащей сопротивление, емкость и индуктивность при условии, что ЭДС сторонних сил равна нулю при $t < 0$, и постоянна при $t \geq 0$.

4.10. Заряженный конденсатор с емкостью C замкнут на сопротивление R с самоиндукцией L . Определить заряд на обкладках конденсатора как функцию времени, если первоначально он был равен q_0 .

4.11. Цепь переменного тока содержит катушку с сопротивлением R и индуктивностью L . Какой емкости конденсатор нужно присоединить параллельно катушке, чтобы заряд его изменялся в одной фазе с током в основной цепи?

4.12. Металлический цилиндр бесконечной длины с проводимостью σ и магнитной проницаемостью μ расположен так, что его ось совпадает с осью бесконечного соленоида кругового сечения, по которому течет переменный ток $I = I_0 \exp(-i\omega t)$. Найти напряженность магнитного и электрического поля во всем пространстве, а также распределение плотности тока j в цилиндре; радиус цилиндра a , радиус соленоида b , число витков на единицу длины n .

4.13. Показать, что на границе с проводником отношение нормальной компоненты магнитного поля к тангенциальной есть величина такого же порядка малости, что и отношение глубины проникновения к длине волны переменного поля.

4.14. Над полупространством с очень низкой проводимостью σ на расстоянии a от него идет линейный переменный ток частоты ω . Оценить сопротивление тока на единицу длины, полагая глубину скин-слоя $\delta \ll a$.

4.15. Показать, что при разрядке плоского цилиндрического и сферического конденсаторов на их обкладках ток проводимости совпадает с током смещения.

4.16. Определить магнитную поляризуемость изотропного проводящего шара радиуса a в однородном периодическом магнитном поле.

4.17. Определить магнитный момент проводящего шара (при $\mu=1$), равномерно вращающегося в однородном постоянном магнитном поле. Найти действующий на шар момент сил.

4.18. Определить полный заряд, протекающий по линейному замкнутому контуру при изменении (по любой причине) постоянного магнитного потока от значения Φ_1 до Φ_2 .

5. Распространение электромагнитных волн

5.1. Две плоские монохроматические линейно поляризованные волны одной частоты распространяются вдоль оси z . Первая волна поляризована по x и имеет амплитуду a ,

вторая поляризована по y , имеет амплитуду b и опережает первую по фазе на δ . Найти поляризацию результирующей волны.

5.2. Показать, что, в общем, плоская монохроматическая волна, распространяющаяся в непроводящей среде, является эллиптически поляризованной.

5.3. В однородной изотропной проводящей среде распространяется плоская монохроматическая волна. Вычислить средний поток энергии через поверхность куба, боковые ребра которого параллельны направлению распространения волны. Показать, что этот поток равен средней мощности потерь на Джоулево тепло.

5.4. В однородной, прозрачной и недиспергирующей среде ($\varepsilon = \text{const}$, $\mu = \text{const}$) распространяется в направлении оси z электромагнитный импульс, который первоначально имел форму

$$f_0(z) = \lim_{t \rightarrow 0} f(z, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\delta} e^{-\frac{z^2}{2\delta^2}}$$

Определить форму импульса $f(z, t)$ в любой последующий момент времени.

5.5. Из вакуума на поверхность идеального проводника падает нормально плоская монохроматическая линейно поляризованная волна. Интенсивность падающей волны I . Определить плотность токов на поверхности проводника.

5.6. В вакууме распространяется плоская монохроматическая волна, которая под углом α падает на плоскую границу ионосферы. Рассматривая ионосферу как разреженный электронный газ, вычислить коэффициенты отражения и прохождения.

5.7. Оценить при какой интенсивности электромагнитной волны напряженность ее электрического поля становится сравнимой с напряженностью внутриатомного поля.

5.8. Плоская монохроматическая электромагнитная волна нормально падает из вакуума на плоскую поверхность проводника. Чему равно среднее (за период) давление этой волны на проводник, если интенсивность волны I ? Считать, что волна полностью поглощается.

5.9. Плоская монохроматическая световая волна с интенсивностью I_0 падает под углом θ_1 на плоскую границу раздела сред, показатели преломления которых n_1 и n_2 . Найти интенсивность I_R волны, отраженной от границы раздела, и интенсивность I_T волны, прошедшей во вторую среду, при условии, что в падающей волне колебания вектора \mathbf{E} происходят в направлении, параллельном поверхности раздела сред.

5.10. Покоящийся цилиндр радиуса R и высоты h расположен перпендикулярно направлению распространения монохроматической плоской электромагнитной волны, которая описывается векторным потенциалом $A = A_0 \cos(\omega t - \mathbf{kr} + \alpha)$. Длина волны мала по сравнению с R и h , поэтому за цилиндром простирается область тени. На поверхности цилиндра электромагнитная волна полностью поглощается. Определить силу F , приложенную к цилиндру в среднем по времени за период $T = 2\pi/\omega$.

5.11. Линейно-поляризованная плоская электромагнитная волна частоты $\omega = kc$ падает нормально к плоскости бесконечного экрана, имеющего круглое отверстие радиуса R . Длина волны мала по сравнению с радиусом $kR \gg 1$, так что углы дифракции также малы. Определить интенсивность dI дифрагированной волны в телесном угле $d\Omega$ в среднем по времени за период колебания волны.

5.12. Найти радиус кривизны светового луча при его распространении в прозрачной среде с медленно меняющимся показателем преломления.

5.13. Вывести граничные условия для полей электромагнитной волны. Используя их, получить законы отражения и преломления. Доказать равенство частот в отраженной и преломленной волнах.

Перечень вопросов к итоговой аттестации

1. Уравнения электростатики.
2. Общее решение уравнения Пуассона.
3. Прямая и обратная задачи электростатики
4. Потенциал равномерно заряженного шара и цилиндра.
5. Решение уравнения Пуассона с помощью разложения Фурье.

6. Потенциал и напряженность электрического поля точечного диполя.
7. Силы и момент сил, действующие на диполь p в однородном и неоднородном электрическом поле с напряженностью E .
8. Дипольный электрический момент зарядов, непрерывно распределенных в объеме.
9. Энергия точечного заряда во внешнем поле.
10. Дебаевское экранирование.
11. Энергия электростатического поля.
12. Силы в макроскопической электростатике.
13. Уравнения магнитостатики.
14. Основные задачи магнитостатики.
15. Влияние магнитной среды на магнитное поле, вызываемое постоянными токами.
16. Энергия магнитного поля в магнитостатике.
17. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции.
18. Уравнения квазистационарного электромагнитного поля.
19. Квазистационарные явления в линейных проводниках.
20. Импеданс проводника.
21. Энергия и силы в квазистационарных явлениях.
22. Скин-эффект. Глубина скин-слоя.
23. Движение проводника в магнитном поле.
24. Уравнения магнитной гидродинамики.
25. Вмороженность и диффузия магнитного поля.
26. Общие условия равновесия в идеальной магнитной гидродинамике.
27. Магнитогидродинамические волны.
28. Уравнения Максвелла в среде.
29. Уравнения для потенциалов электромагнитного поля в среде.
30. Запаздывающие и опережающие потенциалы.
31. Излучение от электрического и магнитного момента.
32. Плоская электромагнитная волна.
33. Плоские волны в однородной непроводящей среде.
34. Волны в однородной проводящей среде.
35. Отражение и преломление волн на плоской границе раздела двух сред.

Описание показателей, критериев и шкалы оценивания компетенций

Критериями оценки компетенций являются:

- Качество решения каждой задачи в контрольных работах и домашних заданиях;
- Общее оформление выполненных работ;
- Соблюдение графика представления выполненных работ;
- Ответы на вопросы по выполненным работам и по программе курса.

Руководитель направления 03.04.02

Директор института физических исследований
и технологий, д.ф.-м.н., профессор



О.Т. Лоза