
Оглавление

	Предисловие	11
	Введение	13
1 Заряды, поля, силы	§ 1. Микроскопические носители электрических зарядов	16
	Классификация. Электрон. Протон. Нейтрон. Что означает непрерывное распределение электрического элементарного заряда? Спин и магнитный момент	
	§ 2. Заряженные тела. Электризация	20
	Термоэлектронная работа выхода. Энергетический спектр электронов. Энергия Ферми. Контактная разность потенциалов. Электризация	
	§ 3. Элементарный заряд и его инвариантность	28
	Опыты Милликена. Резонансный метод измерения заряда. Отсутствие дробного заряда. Равенство положительных и отрицательных элементарных зарядов. Инвариантность заряда	
	§ 4. Электрический ток	32
	Движение зарядов. Непрерывное распределение зарядов. Объемная плотность зарядов. Концентрация зарядов. Поверхностная плотность зарядов. Плотность тока. Сила тока через поверхность	
	§ 5. Закон сохранения заряда	37
	Два аспекта понятия сохранения заряда. Интегральная формулировка закона сохранения заряда. Дивергенция. Формула Гаусса—Остроградского. Дифференциальная формулировка закона сохранения заряда	
§ 6. Закон Кулона	44	
Экспериментальные проверки закона Кулона. Метод Кавендиша. Проверка закона для больших расстояний. Проверка закона для малых расстояний. Полевая трактовка закона Кулона. Электрическое поле. О границах применимости классической концепции поля		
§ 7. Принцип суперпозиции	52	
Принцип суперпозиции для взаимодействия точечных зарядов. Полевая формулировка принципа суперпозиции. Пробные заряды. Границы применимости принципа суперпозиции		
§ 8. Магнитное поле	55	
Необходимость возникновения магнитного поля при движении зарядов. Взаимодействие точечного заряда и бесконечной прямой заряженной нити. Релятивистская природа магнитного поля. Силы взаимодействия параллельных проводников с током. Единица силы тока. Магнитное поле		
§ 9. Сила Лоренца. Сила Ампера	61	
Преобразование сил. Сила Лоренца. Индукция магнитного поля. Сила Ампера. Переход от объемных токов к линейным. Магнитное поле прямолинейного тока		
§ 10. Закон Био—Савара	66	
Взаимодействие элементов тока. Об экспериментальной проверке закона взаимодействия. Полевая трактовка взаимодействия. Закон Био—Савара. Сила взаимодействия прямолинейных токов		

2
**Постоянное
 электрическое
 поле**

§ 11. Преобразование полей	72
Инвариантность выражения для силы в электромагнитном поле. Преобразование полей. Применения формул (11.15). Поле точечного заряда, движущегося равномерно и прямолинейно	77
§ 12. Постоянное электрическое поле	80
Неподвижный заряд. Существо модели. Границы применимости модели	
§ 13. Дифференциальная формулировка закона Кулона	81
Теорема Гаусса. Измерение заряда. Физическая основа справедливости теоремы Гаусса. Дифференциальная формулировка закона Кулона. Уравнение Максвелла для $\operatorname{div} E$. Силовые линии. Источники и стоки вектора E . Инвариантность заряда	
§ 14. Потенциальность электростатического поля	86
Работа в электрическом поле. Потенциальность кулоновского поля. Ротор вектора. Формула Стокса. Дифференциальная формулировка потенциальности поля. Градиент. Скалярный потенциал. Неоднозначность скалярного потенциала. Нормировка. Выражение работы через потенциал. Потенциал поля точечного заряда. Потенциал поля системы точечных зарядов. Потенциал поля непрерывного распределения зарядов. Потенциал поля поверхностных зарядов. Бесконечность потенциала поля точечного заряда. Конечность потенциала при непрерывном распределении заряда с конечной плотностью. Непрерывность потенциала. Теорема Ирншоу	
§ 15. Электростатическое поле в вакууме	98
Постановка вопроса. Прямое использование закона Кулона. Вычисление потенциала. Использование теоремы Гаусса. Уравнения Лапласа и Пуассона. Бесконечный равномерно заряженный круглый цилиндр	
§ 16. Электростатическое поле при наличии проводников	104
Дифференциальная форма закона Ома. Классификация материалов по проводимости. Отсутствие электрического поля внутри проводника. Отсутствие в проводнике объемных зарядов. Электрическая индукция. Поле вблизи поверхности проводника. Механизм образования поля вблизи поверхности проводника. Зависимость поверхностной плотности зарядов от кривизны поверхности. Стеkanie заряда с острия. Электроскопы и электрометры. Металлический экран. Потенциал проводника. Емкость уединенного проводника. Система проводников. Конденсаторы. Проводящий шар в однородном поле. Поле диполя. Метод изображений	
§ 17. Электростатическое поле при наличии диэлектриков	134
Дипольный момент непрерывного распределения зарядов. Поляризация диэлектриков. Молекулярная картина поляризации. Зависимость поляризованности от напряженности электрического поля. Влияние поляризации на электрическое поле. Объемная и поверхностная плотности связанных зарядов. Элек-	

	трическое смещение. Электростатическая теорема Гаусса при наличии диэлектриков. Граничные условия. Граничные условия для нормальной составляющей вектора D . Граничные условия для тангенциальной составляющей вектора E . Преломление силовых линий на границе раздела диэлектриков. Знаки связанных зарядов на границе раздела диэлектриков. Метод изображений. Диэлектрический шар в однородном поле	
	§ 18. Энергия электростатического поля	152
	Энергия взаимодействия дискретных зарядов. Энергия взаимодействия при непрерывном распределении зарядов. Собственная энергия. Плотность энергии поля. Энергия поля поверхностных зарядов. Энергия заряженных проводников. Энергия диполя во внешнем поле. Энергия диэлектрического тела во внешнем поле	
	§ 19. Силы в электрическом поле	161
	Природа сил. Сила, действующая на точечный заряд. Сила, действующая на непрерывно распределенный заряд. Сила, действующая на диполь. Момент сил, действующих на диполь. Объемные силы, действующие на диэлектрик. Силы, действующие на проводник. Поверхностные силы, действующие на диэлектрик. Объемные силы, действующие на сжимаемый диэлектрик. Вычисление сил из выражения для энергии	
	Задачи	174
3 Диэлектрики	§ 20. Локальное поле	178
	Отличие локального поля от внешнего. Вычисление напряженности локального поля	
	§ 21. неполярные диэлектрики	180
	Молекулярная диэлектрическая восприимчивость. Разреженные газы. Плотные газы	
	§ 22. Полярные диэлектрики	183
Зависимость поляризованности от температуры. Поле насыщения. Разреженные газы. Квантовая интерпретация поляризованности полярных газообразных диэлектриков. Плотные газы. Полярные жидкости. Ионные кристаллы		
	§ 23. сегнетоэлектрики	189
Определение. Петля гистерезиса. Точка Кюри. Молекулярный механизм спонтанной поляризованности. Диэлектрические домены. Антисегнетоэлектрики		
	§ 24. Пьезоэлектрики	193
Свойства пьезоэлектриков. Продольный и поперечный пьезоэффекты. Механизм пьезоэффекта. Обратный пьезоэффект. Отличие обратного пьезоэффекта от электрострикции. Пироэлектрики		
	Задачи	196
4 Постоянный электрический ток	§ 25. Электрическое поле при наличии постоянных токов	198
	Поле внутри проводника. Вопрос об источниках поля. Поле вне проводника. Поверхностные заряды. Объемные заряды. Механизм осуществления постоянного тока. Изменение потенциала вдоль проводника с током	

§ 26. Стронние э. д. с. Сущность сторонних э. д. с. Механическая сторонняя э. д. с. Гальванические элементы. Элемент Вольта. Область действия сторонних э. д. с. Закон сохранения энергии. Поляризация элемента. Способы деполяризации. Аккумуляторы	202
§ 27. Дифференциальная форма закона Джоуля—Ленца. Работа, совершаемая при прохождении тока, и развиваемая мощность Работа, совершаемая при прохождении тока. Мощность. Дифференциальная форма закона Джоуля—Ленца. Источник энергии для работы электрического тока. Вывод закона Ома исходя из электронной картины электропроводности. Вывод закона Джоуля—Ленца исходя из электронной теории электропроводности. Недостатки классической теории электропроводности. Основные черты квантовой трактовки электропроводности	209
§ 28. Линейные цепи. Правила Кирхгофа Изолированная замкнутая цепь. Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа	213
§ 29. Токи в сплошной среде Постановка задачи. Вывод формулы. Условия применимости (29.6). Коаксиальные электроды. Неоднородная среда	217
§ 30. Заземление линий передач Постановка задачи. Расчет сопротивления. Экспериментальная проверка. Напряжение шага Задачи	220 223
§ 31. Электропроводность металлов Доказательство отсутствия переноса вещества электрическим током в металлах. Опыты Толмена и Стюарта. О зонной теории. Зависимость сопротивления от температуры. Эффект Холла. Магнетосопротивление. Подвижность электронов. Сверхпроводимость. Критическая температура. Критическое поле. Эффект Мейсснера. Поверхностный ток. Сверхпроводники первого и второго рода. Объяснение сверхпроводимости	226
§ 32. Электропроводность жидкостей Диссоциация. Расчет электропроводимости. Зависимость электропроводимости от концентрации. Зависимость электропроводимости от температуры. Электролиты	234
§ 33. Электропроводность газов Самостоятельный и несамостоятельный ток. Несамостоятельный ток. Плотность тока насыщения. Характеристика тока. Самостоятельный ток. Действие пространственного заряда. Подвижность зарядов. Сравнение выводов из (33.18) с экспериментом	237
§ 34. Электрический ток в вакууме Термоэлектронная эмиссия. Характеристики электронного облака. Плотность тока насыщения. Закон трех вторых Задачи	241 248

5

Электропроводность

6 Стационарное магнитное поле

- § 35. Закон полного тока** 250
Постановка задачи. Интегральная формулировка закона полного тока. Дифференциальная форма закона полного тока. Экспериментальная проверка закона полного тока. Вывод дифференциальной формулировки непосредственным дифференцированием формулы Био — Савара
- § 36. Уравнения Максвелла для стационарного магнитного поля** 255
Уравнение для $\operatorname{div} \mathbf{V}$. Уравнения Максвелла. Тип решаемых задач
- § 37. Векторный потенциал** 257
Возможность введения векторного потенциала. Неоднозначность векторного потенциала. Калибровка потенциала. Уравнение для векторного потенциала. Закон Био-Савара. Поле элементарного тока
- § 38. Магнитное поле при наличии магнетиков** 264
Определение. Механизмы намагничивания. Намагниченность. Векторный потенциал при наличии магнетиков. Объемная плотность молекулярных токов. Поверхностные молекулярные токи. Однородно намагниченный цилиндр. Напряженность магнитного поля. Уравнение для напряженности. Зависимость намагниченности от напряженности. Поле в магнетике. Постоянные магниты. Граничные условия для векторов поля. Граничное условие для нормальной составляющей вектора \mathbf{V} . Граничное условие для тангенциальной составляющей вектора \mathbf{H} . Преломление магнитных силовых линий. Измерение индукции магнитного поля. Поля бесконечного соленоида и однородно намагниченного бесконечно длинного цилиндра. Измерение магнитной проницаемости, индукции и напряженности поля внутри магнетика. Шар из магнетика в однородном поле. Магнитная экранировка
- § 39. Силы в магнитном поле** 280
Силы, действующие на ток. Сила Лоренца. Силы и момент сил, действующие на магнитный момент. Объемные силы, действующие на несжимаемые магнетики
Задачи 284
- § 40. Диамагнетики** 288
Ларморова прецессия. Диамагнетизм. Диамагнитная восприимчивость. Независимость диамагнитной восприимчивости от температуры
- § 41. Парамагнетики** 292
Механизм намагничивания. Зависимость парамагнитной восприимчивости от температуры. Магнитные моменты свободных атомов. Магнитные моменты молекул. Магнетизм, обусловленный свободными электронами. Парамагнитный резонанс
- § 42. Ферромагнетики** 298
Определение. Кривая намагничивания и петля гистерезиса. Кривая магнитной проницаемости. Классификация ферромагнитных материалов. Взаимодействие электронов. Элементарная теория ферромагнетизма. Закон Кюри — Вейсса. Анизотропия намагничивания. Домены. Границы. Перемагничива-

7 Магнетики

8
Электромагнитная
индукция
и квазистационарные
переменные
токи

ние. Антиферромагнетизм. Ферромагнетизм. Ферромагнитный резонанс	
§ 43. Гиромагнитные эффекты	306
Соотношение между механическими и магнитными моментами. Опыт Эйнштейна — де Гааз. Эффект Барнетта	
Задачи	310
§ 44. Индукция токов в движущихся проводниках	312
Возникновение э. д. с. в движущемся проводнике. Обобщение на произвольный случай. Генераторы переменного тока. Закон сохранения энергии	
§ 45. Закон электромагнитной индукции Фарадея	316
Определение. Физическая сущность явления. Движущийся проводник в переменном магнитном поле. Применение электромагнитной индукции к генераторам переменного тока	
§ 46. Дифференциальная формулировка закона электромагнитной индукции	318
Формулировка. Непотенциальность индукционного электрического поля. Векторный и скалярный потенциалы в переменном электромагнитном поле. Неоднозначность потенциалов, калибровочное преобразование	
§ 47. Энергия магнитного поля	321
Энергия магнитного поля изолированного контура с током. Энергия магнитного поля нескольких контуров с током. Энергия магнитного поля при наличии магнетиков. Плотность энергии магнитного поля. Индуктивность. Поле соленоида. Энергия магнетика во внешнем магнитном поле. Вычисление сил из выражения для энергии. Объемные силы, действующие на сжимаемые магнетики. Энергия магнитного момента во внешнем поле	
§ 48. Цепи квазистационарного переменного тока	335
Определение. Самоиндукция. Включение и выключение постоянной э. д. с. в цепи с сопротивлением и индуктивностью. Получение прямоугольных импульсов тока. Емкость в цепи. Включение и выключение постоянной э. д. с. в цепи с емкостью и сопротивлением. Цепь с емкостью, индуктивностью, сопротивлением и источником сторонних э. д. с. Переменный ток. Векторные диаграммы. Правила Кирхгофа. Последовательное и параллельное соединения импедансов. Метод контурных токов	
§ 49. Работа и мощность переменного тока	346
Мгновенная мощность. Средняя мощность. Эффективные значения силы тока и напряжения. Коэффициент мощности. Электродвигатели. Синхронные двигатели. Асинхронные двигатели. Создание вращающегося магнитного поля. Согласование нагрузки с генератором. Токи Фуко	
§ 50. Резонансы в цепи переменного тока	356
Резонанс напряжений. Резонанс токов. Колебательный контур	
§ 51. Цепи с учетом взаимной индукции	359
Роль взаимной индукции. Уравнения для системы проводников с учетом самоиндукции и взаимоин-	

дукции. Случай двух контуров. Трансформатор. Векторная диаграмма холостого хода трансформатора. Векторная диаграмма нагруженного трансформатора. Автотрансформатор. Трансформатор как элемент цепи. Реальный трансформатор	
§ 52. Трехфазный ток	366
Определение. Получение трехфазного тока. Соединение обмоток генератора звездой. Соединение обмоток генератора треугольником. Соединение нагрузок. Получение вращающегося магнитного поля	
§ 53. Скин-эффект	369
Сущность явления. Физическая картина возникновения. Элементарная теория. Толщина скин-слоя. Зависимость омического сопротивления проводника от частоты. Зависимость индуктивности проводника от частоты. Закалка металлов токами высокой частоты. Аномальный скин-эффект	
§ 54. Четырехполюсники	373
Определение. Уравнения. Теорема взаимности. Сопротивление четырехполюсника. Простейшие четырехполюсники. Входное и выходное сопротивления. Коэффициент передачи	
§ 55. Фильтры	377
Определение. Фильтр низких частот. Фильтр высоких частот. Цепочка из фильтров. Полосовой фильтр	
§ 56. Бетатрон	380
Назначение. Принцип действия. Бетатронное условие. Радиальная устойчивость. Вертикальная устойчивость. Бетатронные колебания. Предел энергий, достижимых в бетатроне	
Задачи	383
§ 57. Ток смещения	388
Сущность процесса. Почему скорость изменения вектора смещения называется плотностью тока? Уравнение Максвелла с током смещения. Релятивистская природа тока смещения	
§ 58. Система уравнений Максвелла	393
Система уравнений Максвелла. Физический смысл уравнений. Условия применимости уравнений. Полнота и совместность системы уравнений	
§ 59. Закон сохранения энергии электромагнитного поля. Поток энергии	396
Формулировка. Поток энергии	
§ 60. Движение электромагнитной энергии вдоль линий передач	398
Механизм компенсации потерь энергии на джоулеву теплоту. Движение энергии вдоль кабеля. Линия передачи для переменного тока. Уравнения для силы тока и напряжения. Характеристический импеданс и постоянная распространения. Характеристическое сопротивление. Скорость распространения. Отражение	
§ 61. Излучение электромагнитных волн	405
Уравнение для векторного потенциала. Выбор калибровочной функции. Уравнение для векторного потенциала. Решение волнового уравнения. Запазды-	

вающие и опережающие потенциалы. Вибратор Герца. Скалярный потенциал диполя, изменяющегося со временем. Векторный потенциал. Электрическое и магнитное поля. Поле вибратора в волновой зоне. Мощность, излучаемая вибратором. Излучение рамки с током. Излучение ускоренно движущегося электрона. Сила торможения излучением

§ 62. Распространение электромагнитных волн в диэлектриках	418
Плоские волны. Уравнения для векторов поля волны. Векторы волны. Фазовая скорость. Длина волны. Свойства волн. Плотность потока энергии	
§ 63. Распространение электромагнитных волн в проводящих средах	422
Комплексная диэлектрическая проницаемость. Глубина проникновения. Физическая причина поглощения. Интерпретация скин-эффекта. Фазовая скорость и длина волны в проводящей среде. Соотношение между фазами колебаний векторов поля. Соотношение между амплитудами векторов поля	
§ 64. Инвариантность плоской волны	426
Преобразование полей. Иварианты преобразований электромагнитного поля. Анализ инвариантов поля	
§ 65. Давление электромагнитных волн. Импульс фотона	428
Механизм возникновения давления. Давление. Импульс цуга электромагнитных волн. Объемная плотность импульса электромагнитных волн. Импульс фотона	
§ 66. Волноводы и резонаторы	431
Участок цепи. Участок проводника. Катушка индуктивности. Конденсатор. Излучение. Волноводы. Прямоугольный волновод. Граничная частота. Фазовая скорость. Длина волны в волноводе. Применение метода изображений к анализу волноводов. Дискретность направлений распространения плоских волн от системы излучателей. Граничная длина волны. Длина волны и фазовая скорость в волноводе. Групповая скорость. Соотношение между групповой и фазовой скоростями. Магнитное поле. Классификация волн в волноводах. Резонаторы	
Задачи	441
§ 67. Флуктуации в контуре с током. Шум сопротивления	444
Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Применение теоремы о равномерном распределении энергии к свободному гальванометру. Флуктуации в колебательном контуре. Распределение флуктуаций по частотам. Шум сопротивления. Эквивалентный генератор шума. Мощность шума генератора. Максимальная чувствительность. Эквивалентная шумовая температура приемника. Коэффициент шума приемника. Отношение сигнал — шум	
§ 68. Дробовой шум и шум тока	451
Источник дробового шума. Распределение шума по частотам. Шум тока. Методы уменьшения шумовых помех	
Задачи	455
Приложение	455
Предметный указатель	460