

# Оглавление

Предисловие	9
<b>I МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ</b>	<b>11</b>
1. Математический аппарат	13
1.1. Векторы и векторный анализ	13
1.1.1. Векторная алгебра	13
1.1.2. Производная вектора	16
1.1.3. Скалярное поле. Градиент	17
1.1.4. Векторное поле	20
1.2. Криволинейные координаты	26
1.3. Дельта-функция	27
<b>II ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ВАКУУМА И ТОЧЕЧНЫХ ЗАРЯДОВ</b>	<b>33</b>
2. Общая теория электромагнитного поля	35
2.1. Уравнение непрерывности	35
2.2. Система уравнений Максвелла-Лоренца	38
2.3. Ток смещения	43
2.4. Потенциалы электромагнитного поля	45
2.5. Калибровочная инвариантность потенциалов	48
2.6. Закон сохранения энергии	51
2.7. Закон сохранения импульса	54

<b>3.</b>	<b>Электростатическое поле</b>	<b>57</b>
3.1.	Уравнения электростатики . . . . .	57
3.2.	Поле системы точечных зарядов . . . . .	64
3.3.	Работа и энергия во внешнем поле . . . . .	68
3.4.	Энергия системы зарядов . . . . .	70
<b>4.</b>	<b>Квазистационарное поле</b>	<b>75</b>
4.1.	Квазистационарное магнитное поле . . . . .	75
4.2.	Поле одиночного заряда . . . . .	81
4.3.	Поле системы зарядов . . . . .	83
4.4.	Магнитный момент . . . . .	86
4.5.	Нюансы о магнитном резонансе . . . . .	88
<b>5.</b>	<b>Электромагнитные волны</b>	<b>94</b>
5.1.	Свободные уравнения Максвелла . . . . .	94
5.1.1.	Плоская волна . . . . .	96
5.1.2.	Плоская монохроматическая волна . . . . .	99
5.2.	Поляризация плоской монохроматической волны . . . . .	102
<b>6.</b>	<b>Теория излучения (I)</b>	<b>105</b>
6.1.	Поле произвольно движущихся зарядов . . . . .	105
6.2.	Дипольное приближение . . . . .	111
6.3.	Дипольное излучение простейших систем . . . . .	116
6.4.	Рассеяние волн свободными зарядами . . . . .	122
6.5.	Реакция излучения . . . . .	124
6.6.	Что дальше? . . . . .	125

### **III СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ** **127**

<b>7.</b>	<b>Общие принципы теории относительности</b>	<b>129</b>
7.1.	Предпосылки создания СТО . . . . .	129
7.1.1.	Опыт Майкельсона-Морли . . . . .	132
7.2.	Основные постулаты СТО . . . . .	134
7.3.	Преобразования Лоренца . . . . .	135
7.4.	Следствия из преобразований Лоренца . . . . .	139
7.4.1.	Лоренцево сокращение длины . . . . .	139
7.4.2.	Релятивистское замедление времени . . . . .	140

7.4.3.	Закон сложения скоростей Эйнштейна . . . . .	141
7.4.4.	Относительность одновременности . . . . .	142
7.5.	Интервал и собственное время . . . . .	145
7.6.	Световой конус . . . . .	147
7.7.	Четырехмерная формулировка СТО . . . . .	148
7.7.1.	Векторы: взгляд «с высоты птичьего полета» . . . . .	149
7.7.2.	Пространство Минковского . . . . .	152
7.7.3.	Четырехмерные векторы. Четырехмерные ско- рость и ускорение . . . . .	154
7.7.4.	Четырехмерные тензоры . . . . .	156
<b>8.</b>	<b>Механика СТО</b> . . . . .	<b>159</b>
8.1.	Уравнение движения . . . . .	159
8.2.	Энергия, импульс и масса частицы в СТО . . . . .	162
8.3.	Законы сохранения в физике ядра и частиц . . . . .	167
8.3.1.	Распад частиц . . . . .	167
8.3.2.	Энергия связи ядер. Дефект масс . . . . .	170
8.3.3.	Порог реакции рождения частиц . . . . .	173
8.3.4.	Ускорители на встречных пучках . . . . .	175
8.3.5.	Взаимодействие электронов с фотонами . . . . .	175
8.4.	Движение в электрическом поле . . . . .	179
8.5.	Движение в магнитном поле . . . . .	181
8.6.	Ондужатор* . . . . .	183
<b>9.</b>	<b>Электродинамика СТО</b> . . . . .	<b>188</b>
9.1.	Инвариантность заряда, четырехмерный ток и урав- нение непрерывности . . . . .	188
9.2.	Уравнения для потенциалов . . . . .	189
9.3.	Поле быстрого заряда . . . . .	191
9.4.	Ионизационные потери энергии* . . . . .	194
9.5.	Тензор электромагнитного поля . . . . .	200
9.6.	Эффект Дошлера . . . . .	202
<b>10.</b>	<b>Теория излучения (II)</b> . . . . .	<b>206</b>
10.1.	Изображение поля излучения силовыми линиями . . . . .	206
10.2.	Угловое распределение излучения релятивистской ча- стицы . . . . .	209
10.3.	Спектрально-угловая плотность излучения* . . . . .	212
10.4.	Излучение в дипольном приближении* . . . . .	215

10.5.	Тормозное излучение быстрого электрона на атоме*	222
10.6.	Длина когерентности*	225
10.7.	Тормозное излучение в веществе*	226
10.8.	Ондужаторное излучение*	229

## **IV ЭЛЕКТРОДИНАМИКА СПЛОШНЫХ СРЕД** **233**

<b>11.</b>	<b>Электромагнитные поля в веществе</b>	<b>235</b>
11.1.	Основные уравнения поля	235
11.2.	Средняя плотность тока и средняя плотность заряда	238
11.3.	Система уравнений Максвелла в среде	242
11.4.	Пределы применимости уравнений связи	244
11.5.	Система граничных условий	245
11.6.	Закон сохранения энергии	248
<b>12.</b>	<b>Электростатика</b>	<b>249</b>
12.1.	Электростатическое поле	249
12.2.	Решение задач электростатики	252
12.2.1.	Теорема единственности	252
12.2.2.	Метод изображений на плоскости	253
12.2.3.	Метод изображений на проводящей сфере	255
12.3.	Энергия системы проводников	258
<b>13.</b>	<b>Постоянный ток и постоянное магнитное поле</b>	<b>261</b>
13.1.	Закон Ома	261
13.2.	Постоянный ток в тонких проводниках	263
13.3.	Постоянный ток в бесконечной среде	265
13.4.	Закон Био-Савара	267
13.5.	Эффект Холла	268
<b>14.</b>	<b>Квазистационарные явления</b>	<b>270</b>
14.1.	Условия квазистационарности	270
14.2.	Закон индукции в движущихся проводниках	272
14.3.	Линейные проводники	273
14.4.	Энергия магнитного поля системы токов	277
14.5.	Скин-эффект	279

<b>15. Низкочастотные электромагнитные волны в веществе</b>	<b>282</b>
15.1. Низкочастотная волна в идеальном диэлектрике . . .	282
15.2. Квазистационарная волна в среде с проводимостью . . .	285
<b>16. Быстропеременные поля в веществе</b>	<b>289</b>
16.1. Уравнения Максвелла для полей высокой частоты . . .	289
16.2. Дисперсия в среде, моделируемой набором осцилляторов	294
16.2.1. Плазма . . . . .	300
16.3. Уравнения Максвелла для фурье-компонент полей . . .	301
16.3.1. Собственные колебания поля . . . . .	303
16.3.2. Электронная плазма . . . . .	305
16.4. Эффект Черенкова . . . . .	307
16.5. Поляризационные потери энергии частицы в среде . . .	316
16.6. Переходное излучение* . . . . .	320
16.6.1. Излучение на диэлектрической пластинке* . . .	320
16.6.2. Излучение на металлической пластинке* . . .	325
16.7. Еще раз о длине когерентности* . . . . .	327
16.8. Предел геометрической оптики. Уравнение эйконала	329
16.9. Дифракция . . . . .	333
16.10. Дифракция Фраунгофера . . . . .	338
16.10.1. Пример: дифракция на круглом отверстии . . .	340
16.11. Принцип Бабинне . . . . .	341
16.12. Дифракция на плоской щели . . . . .	343
16.13. Дифракционная решетка . . . . .	345
<b>Литература</b>	<b>348</b>