

## ОГЛАВЛЕНИЕ

От редакции . . . . .	
Из предисловия к первому изданию . . . . .	

### ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

<b>Г л а в а I. Электрические заряды . . . . .</b>	<b>11</b>
§ 1. Введение (11). § 2. Закон взаимодействия электрических зарядов (12). § 3. Абсолютная электростатическая система единиц (15). § 4. Международная система единиц (СИ) (16). § 5. Гальванические элементы (18). § 6. Электризация как разделение зарядов (19). § 7. Электроны (19).	
<b>Г л а в а II. Электрическое поле . . . . .</b>	<b>21</b>
§ 8. Понятие об электрическом поле (21). § 9. Напряженность электрического поля (22). § 10. Сложение электрических полей (24). § 11. Объемная и поверхностная плотности заряда (24). § 12. Линии напряженности электрического поля (25). § 13. Теорема Остроградского–Гаусса (29). § 14. Уравнение Пуассона (36). § 15. Диполь в электрическом поле (38).	
<b>Г л а в а III. Разность потенциалов . . . . .</b>	<b>40</b>
§ 16. Работа в электростатическом поле (40). § 17. Разность потенциалов (41). § 18. Условия равновесия зарядов в проводниках (44). § 19. Разность потенциалов и напряженность поля (44). § 20. Эквипотенциальные поверхности (46). § 21. Измерение напряжения между проводниками (47). § 22. Нормальные элементы (49). § 23. Электрический зонд (50). § 24. Потенциал в простейших электрических полях (51). § 25. Вычисление потенциала в поле заданных зарядов (53). § 26. Общая задача электростатики (55). § 27. Проводники в электрическом поле (57). § 28. Точная проверка закона Кулона (58). § 29. Острия (60). § 30. Электростатический генератор (61).	
<b>Г л а в а IV. Энергия электрического поля . . . . .</b>	<b>63</b>
§ 31. Электрическая емкость (63). § 32. Емкость простых конденсаторов (64). § 33. Метод зеркальных изображений (68). § 34. Энергия заряженного конденсатора (69). § 35. Соединение конденсаторов	

(70). § 36. Сложные конденсаторы (72). § 37. Энергия электрического поля (74).	
<b>Глава V. Диэлектрики</b> . . . . .	<b>77</b>
§ 38. Поляризация диэлектриков (77). § 39. Поляризованность (80). § 40. Напряженность электрического поля внутри диэлектрика (83). § 41. Электрическое смещение в диэлектрике (85). § 42. Изотропные и анизотропные диэлектрики (88). § 43. Преломление линий смещения и напряженности поля (89). § 44. Законы электрического поля в диэлектриках (90). § 45. Механические силы при наличии диэлектриков (93). § 46. Электронная теория поляризации диэлектриков (94). § 47. Диэлектрическая проницаемость неполярных диэлектриков (96). § 48. Диэлектрическая проницаемость полярных диэлектриков (98). § 49. Определение дипольных моментов молекул (99). § 50. Сегнетоэлектрики (101). § 51. Пьезоэлектрический эффект (104). § 52. Обратный пьезоэлектрический эффект (110).	
<b>Глава VI. Постоянный электрический ток</b> . . . . .	<b>115</b>
§ 53. Характеристики электрического тока (115). § 54. Уравнение непрерывности (117). § 55. Действия электрического тока (118). § 56. Баллистический гальванометр (121). § 57. Закон Ома (123). § 58. Измерение сопротивлений (124). § 59. Сопротивление проволок (126). § 60. Зависимость сопротивления от температуры (127). § 61. Закон Ома в дифференциальной форме (128). § 62. Электrolитическая ванна (132). § 63. Заземление в линиях связи (133).	
<b>Глава VII. Электродвижущая сила</b> . . . . .	<b>136</b>
§ 64. Источники тока (136). § 65. Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля–Ленца (136). § 66. Энергия, освобождаемая в гальваническом элементе (138). § 67. Электродвижущая сила гальванического элемента (138). § 68. Напряжение на зажимах источника тока (141). § 69. Электродвижущая сила и работа источника тока (143). § 70. Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа (146). § 71. Мощность во внешней цепи и коэффициент полезного действия источника тока (152). § 72. Закон сохранения энергии для электрического поля (154). § 73. Квазистационарные токи (157). § 74. Конденсатор в цепи с сопротивлением (159).	

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

<b>Глава VIII. Магнитное поле токов в вакууме</b> . . . . .	<b>162</b>
§ 75. Магнитное взаимодействие токов (162). § 76. Магнитная индукция (164). § 77. Абсолютная электромагнитная система единиц (168). § 78. Магнитная постоянная (170). § 79. Напряженность магнитного поля (171). § 80. Линии индукции магнитного поля (173). § 81. Вихревой характер магнитного поля (174). § 82. Магнитный момент тока (179). § 83. Два параллельных проводника с	

током (181). § 84. Механическая работа в магнитном поле. Магнитный поток (182). § 85. Контур с током в магнитном поле (185). § 86. Магнитное поле движущегося заряда (188). § 87. Опыты Роланда и Эйхенвальда (189). § 88. Сила Лоренца (191).

<b>Глава IX. Электромагнитная индукция</b> . . . . .	<b>192</b>
§ 89. Электромагнитная индукция (192). § 90. Закон Ленца (194). § 91. Основной закон электромагнитной индукции (195). § 92. Измерение магнитного напряжения (200). § 93. Самоиндукция (201). § 94. Магнитная проницаемость вещества (205). § 95. Исчезновение и установление тока (206).	
<b>Глава X. Энергия магнитного поля</b> . . . . .	<b>208</b>
§ 96. Собственная энергия тока (208). § 97. Энергия магнитного поля (210). § 98. Взаимная индукция (212). § 99. Взаимная энергия двух токов (214). § 100. Закон сохранения энергии при наличии магнитного поля (215). § 101. Механические силы в магнитном поле (218). § 102. Давления и напряжения Фарадея–Максвелла (221).	
<b>Глава XI. Магнетика</b> . . . . .	<b>222</b>
§ 103. Намагничивание сред (222). § 104. Напряженность магнитного поля внутри магнетика (224). § 105. Магнитная индукция в магнетике (225). § 106. Законы магнитного поля в магнетиках (227). § 107. Влияние формы тела на намагничивание (230). § 108. Преломление линий индукции магнитного поля (232). § 109. Магнитные свойства веществ. Диамагнетизм и парамагнетизм (236). § 110. Ферромагнетизм (238). § 111. Работа при намагничивании (242). § 112. Магнитные материалы. Ферриты (245). § 113. Магнитные заряды. Формальная теория магнетизма (247). § 114. Влияние среды на магнитное взаимодействие (253). § 115. Природа молекулярных токов (255). § 116. Магнитомеханическое и механомагнитное явления (257). § 117. Магнитный и механический моменты электрона (259). § 118. Объяснение пара- и диамагнетизма (261). § 119. Объяснение ферромагнетизма (265).	
<b>Глава XII. Техническое использование магнитного потока. Генераторы и двигатели</b> . . . . .	<b>271</b>
§ 120. Магнитные цепи (271). § 121. Электромагниты (274). § 122. Разветвление магнитного потока (276). § 123. Генераторы переменного тока (278). § 124. Генераторы постоянного тока (280). § 125. Электродвигатель постоянного тока (282). § 126. Синхронные двигатели (283). § 127. Двухфазный ток (284). § 128. Трехфазный ток (286). § 129. Векторные диаграммы (290). § 130. Вращающееся магнитное поле (293).	
<b>Глава XIII. Взаимные превращения электрических и магнитных полей. Теория Максвелла</b> . . . . .	<b>296</b>
§ 131. Вихревое электрическое поле (297). § 132. Вихревые токи (299). § 133. Трансформатор (301). § 134. Вытеснение переменного	

тока (скин-эффект) (304). § 135. Индукционный ускоритель (306). § 136. Ток смещения (308). § 137. Уравнения Максвелла (311). § 138. Уравнение Максвелла в дифференциальной форме (313). § 139. Значение теории Максвелла (316). § 140. Электромагнитное поле в движущихся телах (317). § 141. Для электромагнитных явлений важно относительное движение (320). § 142. Электромагнитная индукция в движущихся проводниках (323). § 143. Преобразование Лоренца (325).

## ЭЛЕКТРОННЫЕ И ИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ

### Глава XIV. Природа электрического тока в металлах и полупроводниках . . . . . 329

§ 144. Измерение заряда электрона (329). § 145. Природа носителей заряда в металлах (332). § 146. Причина электрического сопротивления (334). § 147. Классическая электронная теория металлов (336). § 148. Сверхпроводимость (340). § 149. Пределы применимости классической электронной теории металлов (344). § 150. Концентрация и подвижность электронов в металлах (346). § 151. Полупроводники и диэлектрики (348). § 152. Собственная проводимость полупроводников (350). § 153. Примесная проводимость полупроводников (352). § 154. Понятие об энергетических зонах (354). § 155. Распределение импульса и энергии у электронов (359).

### Глава XV. Электрические токи в вакууме . . . . . 363

§ 156. Электронная эмиссия (363). § 157. Вольт-амперная характеристика вакуумного диода (364). § 158. Зависимость тока насыщения от температуры (367). § 159. Электронная лампа как выпрямитель (369). § 160. Трехэлектродная электронная лампа (триод) (370). § 161. Усиление электрических сигналов (374). § 162. Электрические флуктуации (377). § 163. Вторичная электронная эмиссия (379). § 164. Многосеточные лампы (381). § 165. Автоэлектронная эмиссия (382).

### Глава XVI. Разряды в газах . . . . . 383

§ 166. Ионизация газов (383). § 167. Ионизация электронными ударами (385). § 168. Движение ионов в газах (386). § 169. Независимые и самостоятельные разряды (388). § 170. Возникновение самостоятельных разрядов (390). § 171. Тлеющий разряд (394). § 172. Коронный разряд (397). § 173. Искровой разряд (400). § 174. Молния (402). § 175. Дуговой разряд (403). § 176. Устойчивость электрических разрядов (406). § 177. Плазма (410).

### Глава XVII. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях . . . . . 412

§ 178. Движение заряженных частиц в однородном электрическом поле (412). § 179. Движение заряженных частиц в однородном

магнитном поле (413). § 180. Циклотрон (416). § 181. Определение удельного заряда электронов методом магнитной фокусировки (418). § 182. Магнетрон (419). § 183. Определение удельного заряда  $\beta$ -частиц (422). § 184. Результаты измерений удельного заряда электрона (424). § 185. Циклотронный (диамагнитный) резонанс (425). § 186. Эффективная масса (427). § 187. Отражение и преломление электронных пучков. Электронная и ионная оптика (429). § 188. Электронный осциллограф (433).

### Глава XVIII. Электрический ток в электролитах . . . . . 435

§ 189. Законы электролиза Фарадея (435). § 190. Электролитическая диссоциация (438). § 191. Движение ионов в электролитах (441). § 192. Проводимость электролитов (443). § 193. Числа переноса. Подвижности ионов в электролитах (444). § 194. Электродные потенциалы (447). § 195. Химические источники тока (451). § 196. Напряжение разложения электролита (455). § 197. Аккумуляторы (457).

### Глава XIX. Электрические явления в контактах . . . . . 459

§ 198. Контактная разность потенциалов (459). § 199. Термоэлектричество (463). § 200. Эффект Пельтье (467). § 201. Эффект Томсона (470). § 202. Применения термоэлектричества (472). § 203. Электронно-дырочные переходы в полупроводниках (473). § 204. Полупроводниковые диоды (478). § 205. Неравновесные электроны и дырки в полупроводниках (479). § 206. Полупроводниковые усилители (482).

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

### Глава XX. Собственные электрические колебания . . . . . 485

§ 207. Собственные электрические колебания (485). § 208. Затухание колебаний (488). § 209. Уравнение собственных электрических колебаний. Колебания в отсутствие затухания (490). § 210. Колебания при наличии затухания (493). § 211. Поддержание колебаний. Искровой контур (496). § 212. Автоколебательные системы (497). § 213. Использование отрицательных сопротивлений (498). § 214. Ламповые генераторы. Обратная связь (500). § 215. Условие самовозбуждения (503). § 216. Релаксационные колебания (505).

### Глава XXI. Вынужденные электрические колебания. Переменные токи . . . . . 506

§ 217. Сопротивление в цепи переменного тока (507). § 218. Емкость в цепи переменного тока (508). § 219. Индуктивность в цепи переменного тока (511). § 220. Закон Ома для переменных токов (514). § 221. Резонанс напряжений (516). § 222. Установление колебаний (520). § 223. Работа и мощность переменного тока (522).

§ 224. Разветвление переменных токов (525). § 225. Резонанс токов (527). § 226. Параметрический резонанс (530). § 227. Комплексные величины (532). § 228. Комплексные сопротивления (536).

## Глава XXII. Электромагнитные волны вдоль проводов . . . 541

§ 229. Распределенные системы (541). § 230. Электромагнитный импульс вдоль проводов (542). § 231. Электромагнитные волны (545). § 232. Стоячие электромагнитные волны (547). § 233. Собственные колебания двухпроводной линии (551). § 234. Экспериментальное исследование стоячих электромагнитных волн (553). § 235. Открытый вибратор (555). § 236. Стоячие волны в катушках (556).

## Глава XXIII. Свободные электромагнитные волны . . . . . 557

§ 237. Образование свободных электромагнитных волн (557). § 238. Волновое уравнение (558). § 239. Плоские электромагнитные волны (560). § 240. Свойства электромагнитных волн (562). § 241. Экспериментальное исследование электромагнитных волн (563). § 242. Энергия электромагнитных волн (567). § 243. Элементарный диполь (571). § 244. Давление электромагнитных волн (574). § 245. Импульс и масса электромагнитного поля (575). § 246. Электромагнитная масса движущегося заряда (579).

## Глава XXIV. Применение электромагнитных волн для целей связи . . . . . 582

§ 247. Принцип радиосвязи (582). § 248. Модуляция колебаний (583). § 249. Радиопередатчик (586). § 250. Демодуляция колебаний. Радиоприемник (588). § 251. Гетеродинный прием (591). § 252. Супергетеродинный приемник (591). § 253. Полусвободные электромагнитные волны (593).

## Добавления . . . . . 595

1. Теория опытов Кавендиша и Максвелла (к § 28) . . . . . 595
2. Ориентировка полярных молекул в электрическом поле (к § 48) . 598
3. Лилии напряженности и тока (к § 61) . . . . . 599
4. Метод контурных токов (к § 70) . . . . . 600
5. Максвелловское время релаксации (к § 73) . . . . . 601
6. Взаимная энергия двух токов (произвольные контуры) (к § 90) . 602
7. Теорема Лармора (к § 115) . . . . . 603
8. Закон Богуславского–Лэнгмюра . . . . . 604
9. Устойчивость электрических разрядов (к § 176, 213) . . . . . 605
10. К объяснению циклотронного резонанса (к § 185) . . . . . 608
11. Электромагнитное поле диполя (к § 243) . . . . . 610
12. Давление электромагнитных волн (к § 244) . . . . . 612
13. Система единиц Гаусса . . . . . 614
14. Таблица электрических и магнитных единиц . . . . . 619

## Предметный указатель . . . . . 621

## ОТ РЕДАКЦИИ

Предлагаемая вниманию читателей книга профессора С.Г. Калашникова «Электричество» написана на основе лекций, которые автор читал в течение ряда лет на физическом факультете Московского государственного университета. Лекции С.Г. Калашникова по курсу общей физики и созданный им курс по физике полупроводников всегда отличались глубиной содержания, точностью и прозрачной ясностью изложения и неизменно современным уровнем. Эта особенность лекций привлекала к ним не только студентов, на которых они прежде всего были рассчитаны, но и аспирантов, преподавателей и научных сотрудников всех рангов.

Книга впервые увидела свет в 1956 году, быстро получила широкое признание и стала одним из основных учебных пособий для студентов физических специальностей высших учебных заведений. При подготовке переизданий автор постоянно совершенствовал курс, дополняя его новым материалом и расширяя содержание. За несколько дней до своей кончины, последовавшей 23 апреля 1984 года, Сергей Григорьевич Калашников завершил работу над основным текстом настоящего, пятого, издания «Электричества»; не написанным осталось только предисловие.

Как и в предыдущих изданиях, автор внес в книгу некоторые улучшения и изменения, сохраняя при этом общий замысел, структуру курса и стиль изложения. Так, расширены и переработаны § 113 (Магнитные заряды. Формальная теория магнетизма), § 117 (Магнитный и механический моменты электрона), § 246 (Электромагнитная масса движущегося заряда). Добавлены важные сведения об изотропных и анизотропных диэлектриках (§ 42), прямом и обратном пьезоэлектрических эффектах (§ 42, 51), энергии заряженного конденсатора (§ 34) и энергии магнитного поля (§ 47), а также о термоэлектричестве (§ 199). Включен вопрос об ориентировке полярных молекул в электрическом поле (Добавление 2). Кроме того, сделано значительное число более мелких вставок и замен в других местах книги.

В процессе редактирования и окончательной подготовки рукописи к публикации проведено уточнение терминологии; обозначения единиц физических величин приведены в соответствии с действующим ГОСТ 8.417–81 (СТ СЭВ 1052–78).