

С. Г. КАЛАШНИКОВ

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

# ОБЩИЙ КУРС ФИЗИКИ

---

С. Г. КАЛАШНИКОВ

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,  
ПЕРЕРАБОТАННОЕ

*Допущено Министерством  
высшего и среднего специального образования РСФСР  
в качестве учебного пособия  
для университетов*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
МОСКВА 1964

537

К 17

УДК 537.0 (075.8)

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие ко второму изданию . . . . .	9
Предисловие к первому изданию . . . . .	11

### РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

#### ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Глава I. Электрические заряды . . . . .	13
---	----

§ 1. Введение (13).— § 2. Электризация посредством влияния (14).— § 3. Электростатическая машина (16).— § 4. Закон взаимодействия электрических зарядов (18).— § 5. Абсолютная электростатическая система единиц (21).— § 6. Международная система единиц СИ (22).— § 7. Гальванические элементы (25).— § 8. Электризация как разделение зарядов (25).— § 9. Электроны (26).

Глава II. Электрическое поле . . . . .	28
--	----

§ 10. Понятие об электрическом поле (28).— § 11. Напряженность электрического поля (29).— § 12. Сложение электрических полей (31).— § 13. Объемная и поверхностная плотности заряда (31).— § 14. Силовые линии (33).— § 15. Теорема Остроградского—Гаусса (36).— § 16. Уравнение Пуассона (44).— § 17. Диполь в электрическом поле (45).

Глава III. Разность потенциалов . . . . .	48
---	----

§ 18. Работа в электростатическом поле (48).— § 19. Разность потенциалов (49).— § 20. Условия равновесия зарядов в проводниках (51).— § 21. Разность потенциалов и напряженность поля (52).— § 22. Соединение с землей (54).— § 23. Поверхности равного потенциала (55).— § 24. Измерение напряжения между проводниками (56).— § 25. Нормальные элементы (57).— § 26. Различные типы электрометров (58).— § 27. Электрический зонд (61).— § 28. Потенциал в простейших электрических полях (63).— § 29. Вычисление потенциала в поле заданных зарядов (65).— § 30. Общая задача электростатики (67).— § 31. Проводники в электрическом поле (69).— § 32. Точная проверка закона Кулона (72).— § 33. Острия (73).— § 34. Электростатический генератор (75).

Глава IV. Емкость. Энергия электрического поля . . . . .	77
--	----

§ 35. Емкость простого конденсатора (77).— § 36. Диэлектрическая проницаемость (78).— § 37. Примеры вычисления емкости (80).— § 38. Метод зеркальных изображений (83).—

§ 39. Энергия заряженного конденсатора (85). — § 40. Технические конденсаторы (86). — § 41. Соединение конденсаторов (87). — § 42. Сложные конденсаторы (89). — § 43. Энергия электрического поля (91).

#### Глава V. Диэлектрики . . . . . 92

§ 44. Поляризация диэлектриков (92). — § 45. Вектор поляризации (93). — § 46. Напряженность электрического поля внутри диэлектрика (98). — § 47. Вектор электростатического смещения (101). — § 48. Изотропные и анизотропные диэлектрики (103). — § 49. Преломление силовых линий и линий смещения (104). — § 50. Законы электрического поля в диэлектриках (106). — § 51. Механические силы при наличии диэлектриков (108). — § 52. Электронная теория поляризации диэлектриков (109). — § 53. Диэлектрическая проницаемость неполярных диэлектриков (111). — § 54. Диэлектрическая проницаемость полярных диэлектриков (114). — § 55. Определение дипольных моментов молекул (115). — § 56. Сегнетоэлектрики (116). — § 57. Пьезоэлектрический эффект (119). — § 58. Обратный пьезоэлектрический эффект (121).

#### Глава VI. Постоянный электрический ток . . . . . 124

§ 59. Характеристики электрического тока (124). — § 60. Действия электрического тока (126). — § 61. Измерение силы тока (129). — § 62. Измерение величины заряда (130). — § 63. Электрическое поле проводника с током (133). — § 64. Закон Ома (134). — § 65. Измерение сопротивлений (136). — § 66. Сопротивление проволок (137). — § 67. Зависимость сопротивления от температуры (138). — § 68. Закон Ома в дифференциальной форме (140). — § 69. Электролитическая ванна (143). — § 70. Заземление в линиях связи (144).

#### Глава VII. Электродвижущая сила . . . . . 146

§ 71. Источники тока (146). — § 72. Работа и мощность постоянного тока. Закон Ленца и Джоуля (147). — § 73. Энергия, освобождаемая в гальваническом элементе (148). — § 74. Электродвижущая сила гальванического элемента (149). — § 75. Напряжение на зажимах источника (152). — § 76. Электродвижущая сила и работа источника (155). — § 77. Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа (157). — § 78. Мощность во внешней цепи и коэффициент полезного действия источника тока (163). — § 79. Закон сохранения энергии для электрического поля (165). — § 80. Квазистационарные токи (170).

### РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

### МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

#### Глава VIII. Магнитное поле токов в вакууме . . . . . 173

§ 81. Магнитное взаимодействие токов (173). — § 82. Закон магнитного взаимодействия токов (175). — § 83. Абсолютная электромагнитная система единиц (179). — § 84. Магнитная постоянная (181). — § 85. Магнитное поле (181). — § 86. Напряженность магнитного поля (182). — § 87. Силовые линии магнитного поля (186). — § 88. Вихревой характер магнитного поля (187). — § 89. Магнитный момент тока (192). — § 90. Действие магнитного поля на ток (194). — § 91. Два параллельных провода с током (196). — § 92. Определение ампера (197). — § 93. Контур с током в магнитном поле (198). — § 94. Механическая работа

в магнитном поле (201). — § 95. Магнитный поток (202). — § 96. Магнитное поле движущегося заряда (203). — § 97. Опыты Роуланда и Эйхенвальда (205). — § 98. Сила Лорентца (207).

### Глава IX. Электромагнитная индукция . . . . . 208

§ 99. Электромагнитная индукция (208). — § 100. Закон Ленца (210). — § 101. Основной закон электромагнитной индукции (212). — § 102. Примеры применения (214). — § 103. Измерение магнитной индукции (216). — § 104. Измерение магнитного напряжения (217). — § 105. Самоиндукция (219). — § 106. Магнитная проницаемость вещества (222). — § 107. Исчезновение и установление тока (223).

### Глава X. Энергия магнитного поля . . . . . 226

§ 108. Собственная энергия тока (226). — § 109. Энергия магнитного поля (228). — § 110. Взаимная индукция (230). — § 111. Взаимная энергия двух токов (231). — § 112. Закон сохранения энергии при наличии магнитного поля (233). — § 113. Механические силы в магнитном поле (236). — § 114. Давления и натяжения Фарадея — Максвелла (239).

### Глава XI. Магнетика . . . . . 240

§ 115. Намагничивание сред (240). — § 116. Напряженность магнитного поля внутри магнетика (242). — § 117. Вектор магнитной индукции (243). — § 118. Законы магнитного поля в магнетиках (246). — § 119. Влияние формы тела на намагничивание (248). — § 120. Преломление линий магнитной индукции (251). — § 121. Магнитные свойства веществ. Диамагнетизм и парамагнетизм (255). — § 122. Ферромагнетизм (257). — § 123. Работа при намагничивании (263). — § 124. Магнитные материалы. Ферриты (266). — § 125. Магнитные заряды. Формальная теория магнетизма (268). — § 126. Влияние среды на магнитное взаимодействие (271). — § 127. Природа молекулярных токов (273). — § 128. Магнитомеханическое и механомагнитное явления (275). — § 129. Магнитный и механический моменты электрона (278). — § 130. Электронный парамагнитный резонанс (279). — § 131. Объяснение пара- и диамагнетизма (281). — § 132. Объяснение ферромагнетизма (284).

### Глава XII. Техническое использование магнитного потока. Генераторы и двигатели . . . . . 290

§ 133. Магнитные цепи (290). — § 134. Электромагниты (293). — § 135. Разветвление магнитного потока (295). — § 136. Генераторы переменного тока (298). — § 137. Генераторы постоянного тока (299). — § 138. Электродвигатель постоянного тока (302). — § 139. Синхронные двигатели (304). — § 140. Двухфазный ток (305). — § 141. Трехфазный ток (307). — § 142. Векторные диаграммы (310). — § 143. Вращающееся магнитное поле (313). — § 144. Асинхронный двигатель переменного тока (317).

### Глава XIII. Взаимные превращения электрических и магнитных полей. Теория Максвелла . . . . . 318

§ 145. Вихревое электрическое поле (318). — § 146. Вихревые токи (321). — § 147. Трансформатор (323). — § 148. Вытеснение переменного тока (скин-эффект) (325). — § 149. Индукционный ускоритель (327). — § 150. Ток смещения (329). — § 151. Уравнения Максвелла (333). — § 152. Уравнения Максвелла в дифферен-

циальной форме (335). — § 153. Значение теории Максвелла (337). — § 154. Электромагнитное поле в движущихся телах (339). — § 155. Для электромагнитных явлений важно относительное движение (341). — § 156. Электромагнитная индукция в движущихся проводниках (344). — § 157. Преобразования Лорентца (346).

## РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

## ЭЛЕКТРОННЫЕ И ИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ

- Глава XIV. Природа электрического тока в металлах и полупроводниках . . . . . 349
- § 158. Измерение величины элементарного заряда (349). — § 159. Природа носителей заряда в металлах (352). — § 160. Причина электрического сопротивления (355). — § 161. Классическая электронная теория металлов (357). — § 162. Сверхпроводимость (361). — § 163. Пределы применимости классической электронной теории металлов (364). — § 164. Явление Холла (366). — § 165. Концентрация и подвижность электронов в металлах (368). — § 166. Полупроводники и изоляторы (369). — § 167. Собственная электропроводность полупроводников (371). — § 168. Примесная электропроводность полупроводников (373).
- Глава XV. Электрические токи в вакууме . . . . . 375
- § 169. Работа выхода (375). — § 170. Термоэлектронная эмиссия (378). — § 171. Зависимость тока насыщения от температуры (380). — § 172. Сложные катоды (383). — § 173. Электронная лампа как выпрямитель (384). — § 174. Трехэлектродные электронные лампы (триоды) (385). — § 175. Усиление электрических сигналов (389). — § 176. Электрические флуктуации (392). — § 177. Вторичная электронная эмиссия (394). — § 178. Многосеточные лампы (396). — § 179. Автоэлектронная эмиссия (397).
- Глава XVI. Разряды в газах . . . . . 398
- § 180. Ионизация газов (398). — § 181. Ионизация электронными ударами (399). — § 182. Рекомбинация ионов в газах (401). — § 183. Движение ионов в газах (402). — § 184. Несамостоятельные и самостоятельные разряды (404). — § 185. Электронные разряды (406). — § 186. Возникновение самостоятельных разрядов (408). — § 187. Тлеющий разряд (410). — § 188. Катодные лучи (414). — § 189. Рентгеновские трубки (414). — § 190. Каналовые лучи (416). — § 191. Искровой разряд (417). — § 192. Коронный разряд (419). — § 193. Молния (421). — § 194. Дуговой разряд (424). — § 195. Устойчивость электрических разрядов (427). — § 196. Плазма (431). — § 197. Газотрон и тиратрон (433).
- Глава XVII. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях . . . . . 435
- § 198. Движение заряженных частиц в однородном электрическом поле (435). — § 199. Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле (437). — § 200. Циклотрон (439). — § 201. Определение удельного заряда электронов по методу магнитной фокусировки (441). — § 202. Магнетрон (443). — § 203. Определение удельного заряда катодных лучей (446). — § 204. Определение удельного заряда  $\beta$ -лучей (447). — § 205. Результаты измерений удельного заряда электронов (450). — § 206. Циклотрон-

ный (диаманитный) резонанс (451). — § 207. Эффективная масса (453). — § 208. Отражение и преломление электронных пучков. Электронная и ионная оптика (455). — § 209. Электрические линзы (457). — § 210. Магнитные линзы (460). — § 211. Электронный осциллограф (462).

#### Глава XVIII. Электрический ток в электролитах . . . . . 464

§ 212. Законы электролиза Фарадея (464). — § 213. Объяснение законов Фарадея (466). — § 214. Электролитическая диссоциация (467). — § 215. Движение ионов в электролитах (471). — § 216. Электропроводность электролитов (474). — § 217. Числа переноса. Подвижности электролитических ионов (476). — § 218. Проводимость неметаллических твердых тел (478). — § 219. Технические применения электролиза (480). — § 220. Электрохимические потенциалы (482). — § 221. Гальванические элементы (485). — § 222. Поляризация гальванических элементов. Деполяризация (487). — § 223. Напряжения разложения электролита (489). — § 224. Аккумуляторы (491).

#### Глава XIX. Электрические явления в контактах . . . . . 492

§ 225. Явление Пельтье (492). — § 226. Внутренняя контактная разность потенциалов (494). — § 227. Внешняя контактная разность потенциалов (496). — § 228. Явление Томсона (500). — § 229. Термоэлектричество (502). — § 230. Применения термоэлектричества (504). — § 231. Контакт двух полупроводников (506). — § 232. Полупроводниковые диоды (510). — § 233. Неравновесные электроны и дырки в полупроводниках (512). — § 234. Полупроводниковые усилители (514).

### РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

#### ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

#### Глава XX. Собственные электрические колебания . . . . . 517

§ 235. Собственные электрические колебания (517). — § 236. Затухание колебаний (520). — § 237. Уравнение собственных электрических колебаний. Колебания в отсутствие затухания (523). — § 238. Колебания при наличии затухания (525). — § 239. Поддержание колебаний. Искровой контур (529). — § 240. Автоколебательные системы (530). — § 241. Использование отрицательных сопротивлений (531). — § 242. Ламповые генераторы. Обратная связь (533). — § 243. Условие самовозбуждения (536). — § 244. Релаксационные колебания (538).

#### Глава XXI. Вынужденные электрические колебания. Переменные токи . . . . . 540

§ 245. Предварительные замечания (540). — § 246. Сопротивление в цепи переменного тока (541). — § 247. Емкость в цепи переменного тока (542). — § 248. Индуктивность в цепи переменного тока (545). — § 249. Закон Ома для переменных токов (547). — § 250. Резонанс напряжений (550). — § 251. Установление колебаний (555). — § 252. Работа и мощность переменного тока (557). — § 253. Разветвление переменных токов (561). — § 254. Резонанс токов (563). — § 255. Параметрический резонанс (567). — § 256. Комплексные величины (568). — § 257. Комплексные сопротивления (572).



Глава XXII. Электромагнитные волны вдоль проводов . . . . .	577
§ 258. Распределенные системы (577). — § 259. Электромагнитный импульс вдоль проводов (578). — § 260. Электромагнитные волны (581). — § 261. Стоячие электромагнитные волны (583). — § 262. Собственные колебания двухпроводной линии (587). — § 263. Экспериментальное исследование стоячих электромагнитных волн (590). — § 264. Открытый вибратор (593). — § 265. Стоячие волны в катушках (594).	
Глава XXIII. Свободные электромагнитные волны . . . . .	595
§ 266. Образование свободных электромагнитных волн (595). — § 267. Волновое уравнение (597). — § 268. Плоские электромагнитные волны (598). — § 269. Свойства электромагнитных волн (600). — § 270. Экспериментальное исследование электромагнитных волн (602). — § 271. Энергия электромагнитных волн (607). — § 272. Элементарный диполь (612). — § 273. Давление электромагнитных волн (615). — § 274. Импульс и масса электромагнитного поля (616). — § 275. Электромагнитная масса движущегося заряда (620).	
Глава XXIV. Применение электромагнитных волн для целей связи . . . . .	621
§ 276. Принцип радиосвязи (621). — § 277. Модуляция колебаний (622). — § 278. Радиопередатчик (625). — § 279. Демодуляция колебаний. Радиоприемник (627). — § 280. Гетеродинный прием (630). — § 281. Супергетеродинный приемник (630). — § 282. Полусвободные электромагнитные волны (631). — § 283. Понятие о радиолокации (633).	

## ДОБАВЛЕНИЯ

1. Теория опытов Кавендиша и Максвелла (к § 32) . . . . .	637
2. Силовые линии и линии тока (к § 68) . . . . .	640
3. Метод контурных токов (к § 77) . . . . .	641
4. Время релаксации (к § 80) . . . . .	642
5. Взаимная энергия двух токов (произвольные контуры) (к § 111) . . . . .	644
6. Теорема Лармора (к § 127) . . . . .	645
7. Закон Богуславского — Лэнгмюра (к § 170) . . . . .	646
8. Устойчивость электрических разрядов (к §§ 195, 241) . . . . .	647
9. К объяснению циклотронного резонанса (к § 206) . . . . .	650
10. Электромагнитное поле диполя (к § 272) . . . . .	651
11. Давление электромагнитных волн (к § 273) . . . . .	654
12. Система единиц Гаусса . . . . .	655
13. Таблица электрических и магнитных единиц . . . . .	657
Предметный указатель . . . . .	660