

Р. В. ПОЛЬ

УЧЕНИЕ
ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

ФИЗМАТГИЗ • 1962

РОБЕРТ ВИХАРД ПОЛЬ

УЧЕНИЕ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

Перевод с немецкого
Л. А. ТУМЕРМАНА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1962

ELEKTRIZITÄTSLEHRE
VON
ROBERT WICHARD
POHL

SIEBZEHNTE VERÄNDERTE
UND ERGÄNZTE AUFLAGE

SPRINGER — VERLAG
BERLIN — GOTTINGEN — HEIDELBERG
1960

Роберт Вихард Польш.

Учение об электричестве.

М., Физматгиз, 1962 г., 516 стр. с илл.

Редактор *Е. Б. Кузнецова.*

Техн. редактор *В. Н. Крючкова.*

Корректор *Г. Г. Желтова.*

Сдано в набор 16/1 1962 г. Подписано к печати 15.VI 1962 г. Бумага 60 × 90^{1/16}.
Физ. печ. л. 32,25+1 вкл. Условн. печ. л. 32,5. Уч.-изд. л. 34,12 Тираж 35 000 экз.
Цена книги 1 р. 17 к. Заказ № 2634.

Государственное издательство физико-математической литературы.
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Отпечатано с матриц в гос. тип. «Вайедас», Вильнюс, ул. Страздялю 1.
Заказ № 2305.

СОДЕРЖАНИЕ

От переводчика	11
Предисловие автора к 16-му немецкому изданию	13
Предисловие автора к 17-му немецкому изданию	14
О принятых в книге обозначениях и пользовании формулами	15

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ЗАРЯДЫ И ПОЛЯ

I. Приборы для измерения тока и напряжения	17
--	----

§ 1. Предварительное замечание (17). § 2. Электрический ток (17). § 3. Техническое осуществление измерителей тока, или амперметров (23). § 4. Калибровка измерителей тока, или амперметров (25). § 5. Электрическое напряжение (26). § 6. Техническое устройство статических измерителей напряжения, или вольтметров (27). § 7. Калибровка измерителей напряжения, или вольтметров (28). § 8. Измерители напряжения, потребляющие ток, или вольтметры (28). § 9. Несколько примеров токов и напряжений разной величины (31). § 10. Импульс тока и его измерение (33). § 11. Измерители тока и напряжения с малым временем установки. Осциллографическая («брауновская») трубка (36). § 12. Электрическое измерение энергии (37).

II. Электрическое поле	39
----------------------------------	----

§ 13. Предварительное замечание (39). § 14. Основные наблюдения. Электрические поля разного вида (39). § 15. Электрическое поле в вакууме (44). § 16. Электрические заряды, или субстанции (44). § 17. Разрушение поля веществом (46). § 18. Подвижность атомов электричества в проводниках и их неподвижность в изоляторах (46). § 19. Индукция и ее объяснение (48). § 20. Расположение покоящихся зарядов на поверхности проводников (50). § 21. Ток при распаде поля (53). § 22. Измерение электрических зарядов по импульсу тока. Связь между зарядом и током (54). § 23. Количественное изучение электростатической индукции (56). § 24. Напряженность электрического поля \mathcal{E} и плотность смещения \mathcal{D} (57). § 25. Закон Кулона (59). § 26. Электрическое поле Земли. Объемный заряд и градиент поля (60). § 27. Емкость конденсатора и ее вычисление (61). § 28. Конденсаторы различной конструкции. Диэлектрики и их электризация (64).

III. Силы и энергия в электрическом поле	69
§ 29. Три предварительных замечания (69). § 30. Основной опыт (70). § 30а. Общее определение напряженности электрического поля (§ (72). § 31. Первое применение равенства $\oint \mathbf{E} = q\mathcal{E}$ (73). § 32. Давление на поверхность заряженного тела. Уменьшение поверхностного натяжения (76). § 33. Опыт Герике с парением заряженных тел (1672 г.). Элементарный электрический заряд $e=1,60 \cdot 10^{-19}$ амперсекунды (77). § 34. Энергия электрического поля (79). § 35. Электрическая поверхность уровня и потенциал (80). § 36. Электрический диполь, электрический момент (81). § 37. Индуцированные и постоянные электрические моменты. Пьроэлектрические и пьезоэлектрические кристаллы (83).	
IV. Емкостные источники тока и некоторые применения электрических полей	86
§ 38. Предварительное замечание. Общие сведения об источниках тока (86). § 39. Индукционные, или электростатические, машины (87). § 40. Индукционная машина как электродвигатель (91). § 41. Емкостные источники тока с очень высоким напряжением (92). § 42. Экранирование от электрических полей. Защитные ящики (92). § 43. Количественные данные о распаде поля (94). § 44. Статические вольтметры с вспомогательным полем (94).	
V. Магнитное поле	96
§ 45. Создание магнитных полей различного вида при помощи электрических токов (96). § 46. Движение электрических зарядов создает магнитное поле. Опыты Роуланда (1876 г.) (100). § 47. Магнитные поля постоянных магнитов также создаются движением электрических зарядов (102). § 48. Резюме (104).	
VI. Явления электромагнитной индукции	105
§ 49. Предварительное замечание (105). § 50. Явления электромагнитной индукции (105). § 51. Количественное изучение индукции в покоящихся катушках (107). § 52. Плотность магнитного потока \mathcal{H} и напряженность магнитного поля \mathcal{H} (109). § 53. Закон индукции и его применения (110). § 54. Индукция в движущихся проводниках (113). § 55. Слишком узкие формулировки закона индукции (115). § 56. Наиболее общая форма закона индукции (116).	
VII. Связь между электрическим и магнитным полем	117
§ 57. Углубленное истолкование процесса индукции. Второе уравнение Максвелла (117). § 58. Измеритель магнитного напряжения (119). § 59. Магнитное напряжение токов проводимости. Примеры применения (121). § 60. Ток смещения и первое уравнение Максвелла (124).	
VIII. Зависимость полей от системы отсчета	127
§ 61. Количественная обработка опытов Роуланда (127). § 62. Истолкование явления индукции в движущихся проводниках (128). § 63. Заключительное замечание (130).	
IX. Силы в магнитных полях	132
§ 64. Обнаружение сил, действующих на движущиеся заряды (132). § 65. Силы, действующие между двумя параллельными токами. Скорость света $c=3 \cdot 10^8$ м/сек (133). § 66. Правило Ленца. Вихревые токи (135). § 67. «Ползущий гальванометр». Магнитный	

поток при различном железном замыкании (138). § 68. Магнитный момент M (140). § 69. Локализация магнитного потока и магнетостатика (144). § 70. Заключение (150).

X. Применения электромагнитной индукции, в частности индуктивные генераторы тока и электродвигатели 151

§ 71. Предварительное замечание (151). § 72. Индуктивные источники тока (151). § 73. Электродвигатели. Общие основы (157). § 74. Конструкция электродвигателей (162). § 75. Двигатели переменного тока с вращающимся полем (162).

XI. Инерция магнитного поля и переменные токи 166

§ 76. Самоиндукция и индуктивность L (166). § 77. Инерция магнитного поля как следствие явления самоиндукции (169). § 78. Количественные данные относительно переменных токов (173). § 79. Катушка в цепи переменного тока (174). § 80. Конденсатор в цепи переменного тока (176). § 81. Последовательное включение катушки и конденсатора в цепь переменного тока (177). § 82. Параллельное включение катушки и конденсатора в цепь переменного тока (180). § 83. Мощность переменного тока (181). § 84. Трансформаторы и индукторы (182). § 85. Свободные электрические колебания (185). § 86. Вынужденные электрические колебания (190). § 87. Количественная трактовка вынужденных колебаний при последовательном включении (193). § 88. Общее замечание о применении электрических колебаний (195). § 89. Механические колебания как вспомогательное средство в технике переменных токов (195). § 90. Переменные токи постоянной амплитуды и переменной частоты (196). § 91. Принцип спектральных аппаратов (196). § 91а. Положительная и отрицательная обратная связь. Управление и регулирование (198). § 92. Высокочастотные переменные токи как вспомогательное средство для демонстрационных экспериментов (200).

XII. Электрические волны 205

§ 93. Предварительное замечание (205). § 94. Простой электрический колебательный контур (206). § 95. Прямолинейный электрический диполь (207). § 96. Стоячие волны между двумя проводниками. Система Лехера (211). § 97. Бегущие электрические волны между двумя параллельными проводниками. Их скорость (214). § 98. Ток смещения диполя. Излучение свободных электрических волн (216). § 99. Скорость света (222). § 100. Волновое сопротивление (224). § 101. Тожественность электрических и световых волн (225). § 102. Техническое значение электрических волн (226). § 103. Получение незатухающих волн сантиметрового диапазона. Демонстрационные опыты, относящиеся к волновой оптике (226). § 104. Полые проводники (волноводы) для электрических волн (229). § 105. Чувствительность приемника волн (233). § 106. Историческое замечание (235).

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ВЕЩЕСТВО В ПОЛЯХ И МЕХАНИЗМ ТОКОВ ПРОВОДИМОСТИ

XIII. Вещество в электрическом поле 237

§ 107. Введение. Диэлектрическая постоянная ϵ (237). § 108. Измерение диэлектрической постоянной ϵ (237). § 109. Три величины, производные от диэлектрической постоянной ϵ (238).

§ 110. Различие между диэлектрическими, параэлектрическими и ферроэлектрическими веществами (239). § 111. Определение напряженности электрического поля и плотности смещения внутри вещества (241). § 112. Деполяризация (243). § 113. Величины поля в полом пространстве эллипсоидальной формы (244). § 114. Параэлектрические и диэлектрические вещества в неоднородном электрическом поле (245). § 115. Молекулярная электрическая поляризуемость (246). § 116. Объем v' отдельной молекулы и заполнение пространства v'/v (249). § 117. Постоянный электрический момент полярных молекул (250). § 118. Зависимость диэлектрической постоянной от частоты (252). § 119. Электрострикция (254).

XIV. Вещество в магнитном поле 255

§ 120. Введение. Проницаемость μ (255). § 121. Измерение проницаемости μ (256). § 122. Три величины, производные от проницаемости (257). § 123. Различие между диамагнитными, парамагнитными и ферромагнитными веществами (258). § 124. Определение напряженности магнитного поля и плотности магнитного потока (магнитной индукции) внутри вещества (262). § 125. Размагничивание (264). § 126. Молекулярная магнитная поляризуемость (265). § 127. Постоянный магнитный момент m_p парамагнитных молекул (267). § 128. Магнетон (268). § 129. Измерение постоянных магнитных моментов с помощью вынужденных колебаний (269). § 129а. Вставка: частота как вспомогательная величина при косвенных измерениях (273). § 130. Вращательный импульс (спин) электрона и его постоянный магнитный момент (274). § 130а. К атомистическому истолкованию диамагнитной поляризации. Лармовское вращение (276). § 131. Магнитоотрицательность (277).

XV. Механизм несамостоятельной проводимости в газах при нормальной плотности 278

§ 132. Предварительное замечание (278). § 133. Механизм проводимости в модельных опытах (278). § 134. Два основных факта, касающихся процесса проводимости (281). § 135. Несамостоятельная проводимость в комнатном воздухе с видимыми носителями. Объяснение закона Ома (282). § 136. Несамостоятельная проводимость в воздухе. Ионы как носители электричества (286). § 137. Несамостоятельная ионная проводимость в комнатном воздухе. Подвижность ионов. Ток насыщения (289).

XVI. Механизм тока проводимости в жидкостях 292

§ 138. Предварительное замечание (292). § 139. Ионная проводимость в водных растворах (292). § 140. Заряд ионов. Закон эквивалентов Фарадея. Удельное число молекул N (294). § 141. Закон Ома при электролитической проводимости (296). § 142. Выделение тепла в электролитическом проводнике (299). § 143. Подвижность ионов (300). § 144. Явления переноса (302). § 145. Технические применения электролиза водных растворов (304). § 146. Ионная проводимость в расплавленных солях и стеклах (305). § 147. Проводимость в жидкостях с высоким удельным сопротивлением (306).

XVII. Механизм токов проводимости в высоком вакууме 309

§ 148. Предварительное замечание (309). § 149. Несамостоятельная проводимость в высоком вакууме (309). § 150. Атомный вес электрона по наблюдениям катодных лучей (311). § 151. Электрон-

ная оптика (313). § 152. Некоторые применения электронных процессов в высоком вакууме (315). § 153. Количественные данные о термической электронной эмиссии (320).

XVIII. Самостоятельная электропроводимость газов 323

§ 154. Предварительное замечание (323). § 155. Несамостоятельный тлеющий разряд в газах. Положительный разряд, или плазма (323). § 156. Самостоятельный тлеющий разряд в газах и «жесткий» разряд в газах (327). § 157. Применения самостоятельной проводимости газов при низких давлениях (332). § 158. Дуговой разряд (334). § 159. Процессы зажигания и возникновение самостоятельных разрядов (337). § 159а. Атмосферное электричество, грозы (339). § 159б. Связь между током и напряжением при самостоятельном разряде в газах (339).

XIX. Каналовые лучи и масс-спектрографы 341

§ 160. Предварительное замечание (341). § 161. Значение масс-спектрографов (341). § 162. Основы конструкции масс-спектрографов (342). § 163. Масс-спектрографы с изображением (фокусировкой) (345). § 164. Заключение (348).

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

АТОМНЫЕ ЯДРА. ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

XX. Естественная радиоактивность 349

§ 165. Предварительное замечание (349). § 166. Открытие естественной радиоактивности (349). § 167. Лучи, испускаемые естественными радиоактивными элементами (350). § 168. Наблюдение отдельных корпускулярных лучей и γ -фотонов (350). § 169. Определение основных атомных величин путем счета молекул (355). § 170. Превращения естественных радиоактивных атомов (356). § 171. Атомное ядро как средоточие радиоактивных процессов (360). § 172. Зависимость массы от скорости (361). § 173. Масса и энергия (363).

XXI. Принцип относительности как опытный факт 365

§ 174. Предварительное замечание (365). § 175. Распространение звуковых волн в равномерно движущейся системе отсчета (365). § 176. Распространение электрических волн в равномерно движущихся системах отсчета (367). § 177. Преобразования Лорентца (369). § 177а. Преобразования Лорентца и наибольшая скорость сигнала (371). § 177б. Векторы электрического и магнитного полей в системах отсчета S и S' (376). § 178. Преобразования Лорентца в механике (377). § 178а. Заключительное замечание (378).

XXII. Ядерные реакции и искусственная радиоактивность 379

§ 179. Предварительное замечание (379). § 180. Превращения ядер при ударах α -частиц (380). § 181. Получение, обнаружение и свойства нейтронов (381). § 182. Искусственная радиоактивность (383). § 183. Расщепление ядер (384). § 184. Энергетический баланс ядерных реакций (385). § 185. Технические средства

для осуществления ядерных реакций (386). § 185а. Применение искусственно-радиоактивных веществ (387).

XXIII. Свойства атомных ядер 389

§ 186. Массовые числа и состав ядер (389). § 187. Дефект массы и энергия связи ядер (390). § 188. Масса и атомный вес нейтрона (392). § 189. Величина и плотность ядра. Капельная модель (392). § 190. Поперечное сечение захвата, или поперечное сечение действия ядра (393). § 191. Парамагнетизм атомных ядер (394).

XXIV. Космическое излучение и элементарные частицы 397

§ 192. Введение (397). § 193. Обработка наблюдений (398). § 194. γ -фотоны (400). § 195. Сцинтилляционные спектрографы (401). § 196. Позитроны (402). § 197. Взаимопревращения элементарных частиц (403). § 198. Реакция: γ -фотон \rightarrow электрон + позитрон (403). § 199. Поглощение фотонов (405). § 200. Заряженные мезоны (406). § 201. Процессы распада и нейтрино (408). § 202. Нейтрино в излучении Солнца (409). § 203. Нейтральные π -мезоны (π^0) (409). § 204. Λ^0 -частицы (410). § 205. Антипротон (410). § 205а. Влияние направления вращательного импульса на эмиссию элементарных частиц (411). § 206. Взаимодействие высокоэнергетических частиц с нуклонами и атомными ядрами (412). § 207. Состав космического излучения (414). § 207а. Заключение (414).

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

XXV. Электропроводность твердых тел 415

§ 208. Предварительное замечание (415). § 209. Общие сведения о твердых телах (415). § 210. Расположение материала и полезное указание (417).

А. Электронная проводимость в телах с металлической связью

§ 211. Металлическая связь (418). § 212. Электропроводность металлов. Основные факты (419). § 213. Закон Ома при проводимости в металлах (419). § 213а. Эффект отщуровывания тока (пинч-эффект) (421). § 214. Влияние температуры на проводимость чистых металлов (422). § 215. Остаточное сопротивление (423). § 216. Удельное сопротивление сплавов (423). § 217. Связь между удельной электропроводностью и удельной теплопроводностью (424). § 218. Обнаружение электронов проводимости с помощью сил инерции (425). § 219. Атомистическая картина электропроводности металлов (426). § 220. Эффект Холла (428). § 221. Истолкование эффекта Холла. Электронные вакансии (недостающие электроны) (431). § 222. Схема уровней (зон) для металлической проводимости (432).

В. Ионная проводимость в кристаллах с гетерополярной связью

§ 223. Гетерополярная, или ионная, связь (432). § 224. Электропроводность в ионных кристаллах. Собственная и при-
месная проводимость (433). § 225. Защищенные электроды (436). § 226. Объяснение влияния температуры на ионную проводимость (436).

С. Электронная проводимость в кристаллах без металлической связи

§ 227. Электронная проводимость в прозрачных твердых телах (437). § 228. Электронная проводимость, создаваемая термически в ионных кристаллах (438). § 229. Гомеополярная, или валентная, связь (440). § 230. Собственная и примесная проводимость в валентных кристаллах. Полупроводники (440). § 230а. Возникновение *n*- и *p*-проводимости в кристаллах (442). § 231. Оптический путь создания электрических токов в кристаллах без металлической связи (внутренний фотоэлектрический эффект) (445). § 232. Нестационарные первичные фотоэлектрические токи (447). § 233. Стационарные фотоэлектрические токи при ионной темновой проводимости (448). § 234. Стационарные фотоэлектрические токи при электронной темновой проводимости (450). § 235. Схема энергетических уровней для описания электронной проводимости в кристаллах без металлической связи (451). § 235а. Заключение (452).

XXVI. Электрические поля в пограничном слое двух веществ 454

§ 236. Предварительное замечание (454). § 237. Электризация трением двух твердых тел. Двойной слой. Контактное напряжение (454). § 238. Контактное напряжение между твердым телом и жидкостью (456). § 239. Контактное напряжение между твердым телом и смачивающей его жидкостью (456). § 240. Контактное напряжение между двумя металлами, или напряжение Гальвани (459). § 241. Работа выхода электронов из металлов (459). § 242. Изменение работы выхода под влиянием внешнего электрического поля (462). § 243. Изменение работы выхода при приближении другого металла (463). § 244. Измерение напряжения Вольты (464). § 245. Напряжение Гальвани, термоэлектрическое напряжение и эффект Пельтье (465). § 246. Химические источники тока (467). § 247. Поляризующиеся и неполяризующиеся электроды (468).

XXVII. Технические применения неметаллических электронных проводников 470

§ 248. Предварительное замечание (470). § 249. Кристаллические диоды (470). § 250. Кристаллические триоды (472). § 251. Полупроводниковые диоды (473). § 252. Полупроводниковые триоды (475). § 253. Кристаллические диоды как фотоэлементы (475). § 254. К объяснению термотока и эффекта Пельтье (§ 245) (477).

XXVIII. Ферромагнетизм и родственные ему явления 479

§ 255. Свойства диа-, пара- и ферромагнитных тел (479). § 256. Микроскопическое наблюдение спонтанно намагниченных областей кристалла (481). § 256а. Магнитострикция (482). § 257. Процесс намагничивания (483). § 258. Антиферромагнетизм (486). § 259. Метамагнетизм (488). § 260. Ферромагнетизм, ферриты (488). § 261. Диэлектрические свойства твердых тел. Ферроэлектрические вещества (490). § 262. Заключение (490).

XXIX. Сверхпроводимость 491

§ 263. Основные факты (491). § 264. Точка скачка и известные в настоящее время сверхпроводники (491). § 265. Точка скачка для изотопов (493). § 266. Зависимость точки скачка от строения

решетки и побочных условий (493). § 267. Сверхпроводимость и магнитное поле (495). § 268. Критический ток и критическое магнитное поле (496). § 269. Возникновение новой фазы в точке скачка (498). § 270. Заключительное замечание (499).

ПРИЛОЖЕНИЕ

XXX. Определение электрических величин и их единиц 500

§ 271. Предварительное замечание (500). § 272. Механическое определение электрических величин (501). § 273. Электрическое определение электрических величин (503). § 274. Определение величин, характеризующих поле, по Леблю (504). § 275. Определение единиц ампер и вольт (505). Единицы энергии (507). Периодическая система элементов (508). Важные постоянные (509).

Предметный указатель 510
