

Р. В. ПОЛЬ

ОПТИКА
и
АТОМНАЯ ФИЗИКА

РОБЕРТ ВИХАРД ПОЛЬ

ОПТИКА И АТОМНАЯ ФИЗИКА

Перевод с немецкого
Н. М. ЛОЗИНСКОЙ

Под редакцией
Н. А. ТОЛСТОГО



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1966

535

П 53

УДК 535 (075.8)

OPTIK UND ATOMPHYSIK

VON

ROBERT WICHARD POHL

ELFTE VERBESSERTE
UND ERGÄNZTE AUFLAGE

SPRINGER-VERLAG
BERLIN — GÖTTINGEN — HEIDELBERG
1963

Роберт Вихард Поль

Оптика и атомная физика

М., 1966 г., 552 стр. с илл.

Редактор *Н. А. Райская*

Техн. редактор *И. Ш. Аксельрод*

Корректор *Э. В. Автонева*

Сдано в набор 28/IV 1966 г.

Подписано к печати 10/X 1966 г.

Бумага 60x90^{1/16}.

Физ. печ. л. 34,5. Условн. печ. л. 34,5. Уч.-изд. л. 35,06. Тираж 35000 экз. Цена книги 1 р. 43 к.

Заказ № 189.

Издательство «Наука».

Главная редакция физико-математической литературы.

Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Ленинградская типография № 2 имени Евгении Соколовой Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров, СССР. Измайловский проспект, 29.

2-3-4
57-66

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора перевода	10
Из предисловия автора к 11-му изданию	13
Из предисловия к первому немецкому изданию	14

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

КЛАССИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Глава I. Введение. Измерение мощности излучения	15
---	----

§ 1. Введение (15). § 2. Глаз как индикатор излучения. Полосы Маха (15). § 3. Физические индикаторы излучения. Прямое измерение мощности излучения (17). § 4. Косвенное измерение мощности излучения (19).

Глава II. Простейшие оптические наблюдения	21
--	----

§ 5. Световой пучок и световые лучи (21). § 6. Точечные и линейные источники света (24). § 7. Основные закономерности отражения и преломления (24). § 8. Закон отражения как предельный закон. Рассеянный свет (28). § 9. Полное отражение (28). § 10. Призмы (31). § 11. Линзы и вогнутые зеркала (33). § 12. Разделение параллельных световых пучков путем отображения (39). § 13. Распространение света в виде бегущих волн (40). § 14. Излучение с различными длинами волн. Дисперсия (43). § 15. Некоторые технические вспомогательные устройства. Угловые зеркала и отражательные призмы (47).

Глава III. Отображение и роль ограничения	50
---	----

§ 16. Точки изображения, даваемого линзой, как дифракционные картины краев линзы (50). § 17. Разрешающая сила линз и, в частности, глаза и телескопа (53). § 18. О возникновении дифракции. Различие между дифракцией Фраунгофера и Френеля (56).

Глава IV. Сведения (в том числе технические), касающиеся отображения и ограничения пучков	60
---	----

§ 19. Предварительное замечание (60).

I. Разъяснение действия линз и вогнутых зеркал

§ 20. Главные плоскости и узловые точки (60). § 21. Зрачки (64). § 22. Общие замечания о погрешностях отображений (69). § 23. Сферическая аберрация, или отверстиеная ошибка (71). § 24. Астигматизм

косых пучков и искривление плоскости изображения (72). § 25. Кома и условие синусов (74). § 26. Дисторсия (77). § 27. Хроматическая aberrация (77). § 28. Достижения инструментальной оптики. Зеркало Шмидта (80).

II. Оптические приборы

§ 29. Увеличение угла зрения лупой и телескопом (81). § 30. Увеличение угла зрения проекционным аппаратом и микроскопом (84). § 31. Разрешающая сила микроскопа. Числовая апертура (84). § 32. Телескопические системы (88). § 33. Поле зрения оптических приборов (91). § 34. Отображение пространственно протяженных предметов и перспектива (95).

Глава V. Энергия излучения и ограничение пучков 101

§ 35. Предварительное замечание (101). § 36. Излучение и угол раскрытия. Определение. Закон Ламберта (101). § 37. Излучение поверхности Солнца (106). § 38. Плотность излучения S^* и облученность b при отображении (107). § 39. Источники с силой излучения, не зависящей от направления (109). § 40. Параллельный пучок света как недостижимый предельный случай (111).

Дополнение. К вопросу о действии телескопа

§ 41. Облученность и телескоп (111).

Глава VI. Интерференция 114

I. Общие замечания

§ 42. Предварительные замечания (114). § 43. Интерференция волновых групп, исходящих из точечных источников (114). § 44. Замена точечных волновых центров протяженными. Условие когерентности (116).

II. Интерференция световых волн

§ 45. Общие замечания об интерференции световых волн (117). § 46. Пространственное интерференционное поле с двумя отверстиями в качестве волновых центров. Наблюдение поперек пучка (118). § 47. Пространственное интерференционное поле с двумя зеркальными изображениями в качестве волновых центров. Наблюдение вдоль пучка (120). § 48. Интерференционные полосы в фокальной плоскости линзы (122). § 49. Увеличение резкости интерференционных полос. Интерференционная микроскопия. Полосы Мюллера (124). § 50. Демонстрационный опыт, иллюстрирующий условие когерентности (127). § 51. Интерференционный опыт А. Френеля (1816 г.) (128). § 52. Длина волновых групп (128). § 53. Перераспределение мощности излучения при интерференции (130).

III. Некоторые частные случаи интерференции

§ 54. Интерференционные полосы, наблюдаемые с помощью клина и линзы (131). § 55. Стоячие световые волны (134). § 56. Интерференция, возникающая при участии частиц, отклоняющих свет (135).

IV. Применение интерференционного опыта Юнга. Интерферометр

§ 57. Интерференционный опыт Юнга при фраунгоферовском способе наблюдения (138). § 57а. Оптические интерферометры (140).

Глава VII. Дифракция 141

I. Дифракция на непрозрачных структурах

§ 58. Тень (143). § 59. Дальнейшие сведения о роли дифракции при отображении (146). § 60. Теорема Бабине (147). § 61. Дифракция на многих беспорядочно расположенных отверстиях или частицах (149).

II. Дифракция на прозрачных структурах

§ 62. Радуга (151). § 63. Дифракция на ступеньке. Ступенчатая решетка (153). § 64. Размытая решетка. Синусоидальная амплитудная решетка и экспериментальное определение неизвестных параметров решетчатых структур (155). § 64а. Решетки с фазовой структурой (156). § 65. Видимое изображение невидимых предметов. Теневые методы (157). § 66. Образование изображения в микроскопе по Аббе (160). § 67. Превращение невидимых структур в видимые под микроскопом (162). § 67а. Отображение как передача информации (164).

Глава VIII. Спектральные приборы 166

§ 68. Общие замечания (166). § 69. Призмённые спектральные приборы и их разрешающая сила (166). § 70. Интерференционные спектральные приборы со щелями в виде совокупности волновых центров, образующих решетку (169). § 71. Разрешающая способность решетки и дисперсионная область. Предварительное разложение (172). § 72. Разновидности дифракционных решеток (173). § 73. Интерференционные спектральные приборы, в которых зеркальные изображения служат волновыми центрами, расположенными в виде правильной решетки (176). § 74. Интерференционные светофильтры (182). § 75. Спектральные приборы и белый свет (182). § 76. Интерференционные полосы Тальбота (184).

Глава IX. Скорость света. Свет в движущихся системах отсчета 187

§ 77. Первое измерение скорости света, сделанное Олафом Рёмером (187). § 78. Измерения скорости света в земных условиях (188). § 79. Групповая скорость света (190). § 80. Частота света (191). § 81. Измерение скорости света при наблюдениях в системах отсчета, движущихся с ускорением (192). § 82. Явление Доплера для света (196). § 83. Явление Доплера при больших скоростях (199).

Глава X. Поляризованный свет 201

§ 84. Различие между поперечными и продольными волнами (201). § 85. Свет как поперечная волна (202). § 86. Различные типы поляризаторов (205). § 87. Двойное преломление, в частности в исландском шпате и кварце (206). § 88. Эллиптически поляризованный свет (211). § 89. Общие сведения об интерференции поляризованного света. Интерференция в параллельном пучке поляризованного света (217).

§ 90. Интерференционные явления в расходящемся пучке поляризованного света (219). § 91. Анализ эллиптически поляризованного света (222). § 92. Оптически активные вещества (225). § 92а. Явления Фарадея (226). § 93. Двойное преломление при напряжениях (227). § 94. Заключительное замечание (228).

Глава XI. Связь между поглощением, отражением и преломлением света 229

§ 95. Предварительное замечание (229). § 96. Коэффициент экстинкции и коэффициент поглощения (229). § 97. Средняя глубина проникновения излучения w . Показатель экстинкции или поглощения k (231). § 98. Закон Бера. Удельный коэффициент экстинкции. Эффективное сечение отдельной молекулы (232). § 99. Различие между слабо и сильно поглощающими веществами (233). § 100. Отражение света плоскими поверхностями (235). § 101. Изменение фазы при отражении (238). § 102. Формулы Френеля для слабо поглощающих веществ. Применения (239). § 103. Вывод формул Френеля (243). § 104. Дальнейшие сведения о полном отражении (245). § 105. Математическое представление затухающих бегущих волн (246). § 106. Формула Бера для нормального отражения от сильно поглощающих веществ (249). § 106а. Применение формулы Бера при измерении оптических констант n и k (251). § 107. Поглощение света в сильно поглощающих веществах при наклонном падении (252). § 108. Формулы Коши для определения оптических постоянных сильно поглощающих веществ (253). § 109. Заключительное замечание (256).

Глава XII. Рассеяние 258

§ 110. Обзор содержания главы (258). § 111. Когерентное и некогерентное рассеяние (258). § 112. Рэлеевское рассеяние (258). § 113. Рассеяние видимого света крупными слабо поглощающими частицами (260). § 114. Рассеянное отражение от матовых поверхностей (262). § 115. Основные предпосылки количественного подхода к рассеянию (264). § 116. Излучение колеблющихся диполей. Опыт Перселла (265). § 117. Количественные характеристики дипольного излучения (267). § 118. Создание диполей электрическими полями (268). § 119. Количественная трактовка вынужденных колебаний (268). § 120. Зависимость рэлеевского рассеяния от длины волны (271). § 121. Рэлеевское рассеяние на молекулах и измерение удельного числа молекул N (274). § 122. Экстинкция рентгеновского света и его рассеяние (276). § 123. Число рассеивающих электронов Z в атомах с атомным весом (A) (277). § 124. Рассеяние как способ получения поляризованного рентгеновского света и доказательства того, что он поляризован (279). § 125. Заключительное замечание (280).

Глава XIII. Дисперсия и поглощение 283

§ 126. Обзор содержания главы (283). § 127. Зависимость преломления и экстинкции от длины волны. Экспериментальные данные (283). § 128. Особые свойства металлов (287). § 129. Так называемое металлическое отражение (288). § 130. Глубина проникновения рентгеновского света (290). § 131. Сведение преломления к рассеянию (291). § 132. Качественное объяснение дисперсии (293). § 133. Количественное рассмотрение дисперсии (295). § 134. Показатели преломления для рентгеновского света (297). § 135. Показатель преломления

и плотность вещества. Удельная рефракция. Увлечение света (298). § 136. Искривленные световые лучи (300). § 137. Качественное объяснение поглощения (303). § 138. Количественное рассмотрение поглощения (304). § 139. Форма полос поглощения (306). § 140. Количественный абсорбционный спектральный анализ (307). § 141. Свойства оптически активных резонаторов (309). § 142. Механизм поглощения света в металлах (312). § 143. Полное отражение электрических волн свободными электронами в атмосфере (314). § 143а. Свободные электроны и колебания плазмы (315). § 144. Экстинкция, вызываемая малыми частицами сильно поглощающих веществ (316). § 145. Вывод уравнения (223) (320). § 146. Экстинкция, вызванная крупными металлическими коллоидными частицами. Наведенный дихроизм и наведенное двойное преломление (323).

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ОПТИКА И АТОМНАЯ ФИЗИКА

Глава XIV. Квантовая природа поглощения и испускания света атомами и ее связь со строением атома 326

§ 147. Предварительное замечание (326). § 148. Основные опыты по фотоэлектрическому эффекту (326). § 149. Уравнение фотоэффекта и постоянная Планка h (327). § 150. Спектральные линии атомов (332). § 151. Спектральные серии. Комбинационный принцип (335). § 152. Схема уровней атома водорода (337). § 153. Схема уровней для атомов Na и Hg (339). § 154. Обозначения энергетических уровней (340). § 155. О величинах, используемых спектроскопистами (341). § 156. Обзор (342). § 157. Полуширина спектральных линий (342). § 158. Время жизни возбужденных состояний и концентрация возбужденных атомов (345). § 159. Спектральные серии в спектрах поглощения. Главные серии (346). § 160. Резонансная флуоресценция (347). § 161. Линейчатая флуоресценция (349). § 162. Удары второго рода (350). § 163. Сенсibilизированная флуоресценция (351). § 164. Метастабильные состояния (351). § 164а. Самоуправляемые источники света (лазеры) (353). § 165. Соударения медленных электронов с атомами (358). § 166. Ионизация атомов электронным ударом (359). § 167. Возбуждение атомов электронным ударом (360). § 168. Сплошной спектр за границей серии. Рекомбинационное свечение. Двойные и тройные столкновения (361). § 169. Размеры атомов и их строение (363). § 170. Боровская модель атома водорода (366). § 171. Спектры водородоподобных ионов (369). § 172. Удаление последнего электрона из водородоподобного иона (371). § 173. Уточненные значения ридберговской частоты (371). § 174. Модель атома водорода и принцип относительности (372). § 175. Границы применимости модели атома водорода (373). § 176. Периодическая система элементов (374). § 177. Закон чередования Ридберга (376). § 178. Спектроскопический закон смещения (378). § 179. Оболочечное строение атома (379). § 180. Оболочечное строение атомов и их работы ионизации (380). § 181. Назначение следующих параграфов (381). § 182. Тормозное рентгеновское излучение и постоянная Планка h (381). § 183. Спектральное распределение энергии в тормозном излучении (383). § 184. Спектральные линии и схема уровней в спектре рентгеновского света (387). § 185. Рентгеновские спектры и атомный номер (391). § 186. Фотоэффект, в частности внутриатомный, в рентгеновской области (395). § 187. Общая схема уровней для всего

спектра (399). § 188. Момент количества движения (спин) и магнитный момент электрона (400). § 189. О систематике спектральных серий (401). § 190. Лесенки S, P, D, \dots схемы уровней (402). § 191. Расщепление лесенок S, P, D, F, \dots в схеме уровней (405). § 192. Пространственное квантование (409). § 193. Расщепление спектральных линий в магнитном поле. Нормальное явление Зеемана (410). § 193а. Гироманитный, или электронный, спиновый резонанс (413). § 194. Аномальное явление Зеемана и явление Пашена — Бака (414). § 195. Расщепление спектральных линий в электрическом поле. Явление Штарка (415). § 195. Сверхтонкая структура спектральных линий. Момент количества движения атомного ядра (416). § 197. Принцип Паули (418).

Глава XV. Квантовая природа поглощения и испускания света молекулами 421

§ 198. Предварительное замечание (421). § 199. Молекулярные спектры. Обзор (421). § 200. Группы линий в молекулярных спектрах, называемые полосами (423). § 201. Схема уровней молекулярного спектра для простой модели (426). § 202. Схема уровней молекулы, основанная на более точной модели (428). § 203. Полосатые спектры и форма молекул (431). § 204. Полосатые спектры растворенных и адсорбированных молекул, а также молекул в молекулярных кристаллических решетках (433). § 205. Комбинационное рассеяние (435). § 206. Флуоресценция молекул (438). § 207. Время жизни возбужденных состояний молекул (439). § 208. Процессы, сопутствующие возбуждению молекул (440). § 209. Поляризованная флуоресценция (441). § 210. Оптическая диссоциация (441). § 210а. Принцип Франка — Кондона (443). § 211. Преддиссоциация (446). § 212. Химическое действие оптически возбужденных молекул (446). § 213. Получение света химическим путем (448). § 214. Общие замечания о молекулярной фосфоресценции (448). § 215. Молекулярная фосфоресценция в твердых органических растворах (448). § 216. Молекулярная фосфоресценция в кристаллических растворах. Галоидные фосфоры (449).

Глава XVI. Тепловое излучение 451

§ 217. Предварительное замечание (451). § 218. Основные опытные факты (451). § 219. Закон Кирхгофа (452). § 220. Черное тело и законы черного излучения (454). § 221. Селективное тепловое излучение (457). § 222. Термические источники света (458). § 223. Оптический метод измерения температуры. Черная и цветовая температуры (460).

Глава XVII. Дуализм волна — корпускула 464

§ 224. Обзор (464). § 225. Локализация энергии излучения. Фотон (465). § 226. Локализация импульса излучения. Явление Комптона (466). § 226а. Распределение рентгеновского тормозного излучения по направлениям (468). § 227. Импульс фотона и явление Доплера (469). § 228. Давление света (470). § 229. Поляризация света и момент количества движения фотона (471). § 230. Волны материи (473). § 231. Фазовая скорость v волн материи и скорость перемещения частицы u (476). § 232. Волномеханическая статистика (477). § 233. Электронный микроскоп (480). § 234. Электронный микроскоп с холодной эмиссией (481).

Глава XVIII. Квантовая оптика твердых тел 483

§ 235. Предварительное замечание (483). § 236. Классификация твердых тел по типу связи в решетке (483). § 237. Спектры поглощения кристаллов (485). § 238. Общие сведения о схеме энергетических уровней идеального кристалла (488). § 239. Схема уровней неидеального кристалла (490). § 240. Кристаллы с металлической связью (491). § 241. Беспримесные кристаллы с гомеоплярной связью (492). § 242. Беспримесные кристаллы с гетероплярной связью (493). § 243. Обзор (494). § 244. Общие замечания о влиянии дефектов решетки и чужеродных примесей (495). § 245. Центры окраски щелочно-галлоидных кристаллов (496). § 246. Оптическое возбуждение центров окраски приводит к флуоресценции (498). § 247. Оптическая диссоциация центров окраски. Реакция $F \gtrsim F'$ (499). § 248. Движение электронов при реакции $F \gtrsim F'$ (501). § 249. Оптическая диссоциация КН в бромистом калии (503). § 250. Фотохимическая сенсibilизация (507). § 251. Фотография (508). § 252. Люминесценция кристаллофосфоров. Оптические явления (509). § 253. Объяснение люминесценции кристаллофосфоров через сопровождающие ее электрические и фотохимические процессы (511). § 254. Применение модели кристаллофосфора (512). § 255. Излучение света кристаллофосфорами в электрических полях (514). § 256. Внешний и, в частности, селективный фотоэффект (514).

Глава XIX. Зрительное ощущение и фотометрия 518

§ 257. Предварительные замечания (518). § 258. Методы изменения облученности (518). § 259. Необходимость фотометрии (519). § 260. Принцип фотометрии (519). § 261. Определение равенства двух освещенностей. Гетерохромная фотометрия (522). § 262. Спектральное распределение чувствительности глаза, или светового выхода. Объективная фотометрия (525). § 263. Время нарастания и время суммирования зрительного ощущения (527). § 264. Яркость (528). § 265. Нецветные окраски. Условия их возникновения (531). § 266. Цветные окраски, их тона и оттенки (533). § 267. Цветные светофильтры для получения чистых цветов (535). § 268. Красители (пигменты) (538). § 269. Возникновение блеска (539).

Приложение 541

I. О дипольном излучении (541). II. Вывод уравнения (208), § 142 (541).

Важные постоянные 543

Предметный указатель 544