

П.М. Тиходеев

Световые измерения в светотехнике

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621.39
ББК 32
П11

П11 **П.М. Тиходеев**
Световые измерения в светотехнике / П.М. Тиходеев – М.: Книга по Требованию, 2024. – 520 с.

ISBN 978-5-458-60388-1

ISBN 978-5-458-60388-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

ГЛАВА I. СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ.

Стр.

1. Введение. Лучистая энергия и ее восприятие глазом	13
2. Надобность в световых величинах	15
3. Световой поток. Видность (лучистой мощности)	15
4. Качественная оценка светового потока	17
5. Световая энергия	18
6. Способы построения световых величин	18
7. Светность (светимость)	20
8. Освещенность	20
9. Количество освещения	21
10. Сила света	22
11. Удельная сила света	23
12. Яркость	24
13. Непосредственное восприятие яркости глазом	25
14. Величины лучистой энергии. Соотношение с ними световых величин. Сводка тех и других величин	27
15. Прочие световые величины и единицы	27
16. Световые величины, учитывающие объем, глубину и массу источников света	34
17. Световые технические характеристики	34
18. Природа световых измерений	35
19. Практическое преимущество применения световых величин	37

ГЛАВА II. НЕКОТОРЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ СВЕТОВЫХ ВЕЛИЧИН.

20. Закон сложения яркостей и других световых величин	38
21. Переход от световых величин к величинам лучистой энергии. Световой эквивалент лучистой мощности. Относительная видность	40
22. Закон квадратов расстояний	49
23. Закон косинусов	53
24. Идеальное рассеяние света поверхностью. Закон Ламберта (косинусов) для светящихся и отражающих свет поверхностей	55
25. Общее выражение для освещенности. Обратимость	58
26. Взаимозаменяемые светящиеся поверхности	63
27. Яркость цилиндра	64
28. Яркость шара	64
29. Освещенность от светящейся нити	65
30. Освещенность от светящегося круга	67
31. Освещенность от светящегося шара	68

	Стр.
32. Освещенность от светящегося полушара	69
33. Освещенность от светящегося прямоугольника	70
34. Добавочные замечания.	
а) Представление световых величин, как векторов	71
б) Сложение световых величин	71

ГЛАВА III. ОТРАЖЕНИЕ, ПРОПУСКАНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА.

35. Отражение света	74
36. Пропускание света	78
37. Поглощение света. Закон Бугера	79
38. Поглощение света раствором. Закон Бэра	81
39. Соотношение отражения, поглощения и пропускания света .	81
40. Спектральный состав света и явления отражения, поглощения и пропускания света	82
41. Вычисление общего коэффициента пропускания или отражения. Вычисление численного значения коэффициента яркости для однородного света	83

ГЛАВА IV. СВЕТОВЫЕ ЕДИНИЦЫ.

42. Стандарт „световые единицы“	83
43. Системы световых единиц	84
44. Объем системы световых единиц	93
45. Названия единиц	93
46. Основная световая единица	94
47-а. Общие соображения об определении единиц	95
47-б. Определение люмена. Решения Международной комиссии по освещению	96
48-а. Применение единицы светности	98
48-б. Кратные и дробные подразделения световых единиц . . .	99
49. Точные значения световых единиц	100
50. Размерность световых единиц	100
51. Иностранные световые единицы	101

ГЛАВА V-А. СВЕТОВЫЕ ЭТАЛОНЫ (СССР и других стран).

52. Определение эталонов и их подразделение	103
53. Основной световой эталон СССР	103
54. Производные эталоны	108
55. Абсолютно черное тело в качестве первичного эталона . . .	111
56. Черное тело Бюро стандартов	111
57. Желательные требования к первичному световому эталону .	113
58. Черное тело Ф. Гофмана	114
59. Разные предложения о применении черного тела	117
60. Пламенные эталоны	118
61. Эталонные способы измерений световых единиц	120

ГЛАВА V-Б. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЭТАЛОНЫ ДЛЯ СВЕТОВЫХ И ЦВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.

62. Черное тело, как эталон распределения лучистой мощности по спектру	121
63. Определение температуры черного тела	123

	Стр.
64. Рабочие эталоны для распределения лучистой мощности по спектру	125
65-а. Ацетиленовая горелка	125
65-б. Электрическая лампа накаливания в качестве первичного эталона для относительного распределения лучистой мощности по спектру. Эталоны цветовой температуры	126
66. Эталон белого света. Эталоны искусственного солнечного и искусственного дневного света	127

ГЛАВА VI. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛАМПЫ: ОБРАЗЦОВЫЕ И РАБОЧИЕ.

67. Источники света для измерительных целей	132
68. Обычные осветительные и образцовые лампы	134
69. Вещество нити накаливания	135
70. Стекло колбы	136
71. Разрежение или наполнение газом	136
72. Расположение нити	136
73. Очертание колбы	137
74. Световые размеры ламп	140
75. Отбор и подготовка образцовых ламп	143
76. Хранение ламп	150
77. Число одновременно применяемых образцовых ламп	151
78. Применение при измерениях	152
79. Применение промышленных осветительных ламп	157
80. Закон квадратов расстояний при расположении нити по поверхности цилиндра	157
81. Выбор направления для измерения освещенности	159
82. Дополнительные сведения о вольфрамовых лампах	159
83. Электрические лампы накаливания, как образцовые лампы температуры и распределения лучистой мощности	160
84. Иностранные эталонные лампы	168
85. Перевозка ламп	170

ГЛАВА VII-А. ГЛАЗ, КАК УЧАСТНИК СВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.

86. Чувствительность к отсутствию и наличию разницы в яркостях.	171
87. Чувствительность глаза к спектральным цветам. Средний глаз. Личные отклонения от среднего	173
88. Адаптация. Явление Пуркинье	176
89. Неодинаковость свойств разных мест сетчатки глаза. Значение способа замещения	180
90. Размеры полей сравнения	181
91. Пороговая чувствительность к изменению яркости	182
92. Способ нахождения границ светового равенства	190
93. Остаточные зрительные впечатления сетчатки и последующие зрительные образы	192
94. Размеры зрачка глаза	195
95. Замечание о влиянии размеров отверстия на восприятие яркости полей сравнения	196
96. Наблюдения двумя глазами	198
97. Основное уравнение для световых измерений помощью глаза.	199
98. Восприятие глазом светящихся точек	200

ГЛАВА VII-Б. СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗНО ОКРАШЕННЫХ ПОЛЕЙ СРАВНЕНИЯ.

99. Особенности сравнений разноцветных яркостей	201
100. Непосредственное сличение. Контрастные поля сравнения	203
101. Способ промежуточных ступеней по цвету	203
102. Способ наложения выравнивающей цвета яркости	205
103. Смещение во времени разноцветных яркостей	206
104. Способ Айвса	208
105. Цветные поглотители	210
106. Сравнения по спектру	211
107. Сравнение по отношению яркостей в красном и зеленом (или синем) цвете	213
108. Дополнительные замечания	215
109. Отбор наблюдателей для измерений разно окрашенных полей сравнения	215
110. Устойчивость наблюдений помощью глаза	217
111. Надежность световых измерений помощью глаза	218

ГЛАВА VIII. КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СВЕТА ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЕЙ.

112. Применение закона квадратов расстояний	220
113. Применение закона косинусов	221
114. Закон прерывистого освещения	222
115. Применение поляризации света	225
116. Изменение площади светящихся поверхностей	226
117. Поглощающие среды	227
118. Применение отражения света	229
119. Линзы	229
120. Изменение яркости	230
121. Способ полутеней	230
122. Сравнение различных способов изменения освещенности	232

ГЛАВА IX. ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛЕЙ СРАВНЕНИЯ. ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ПЛАСТИНКИ. СЕТОМЕРНЫЕ ГОЛОВКИ.

123. Общая схема световых измерений помощью глаза	232
124. Испытательные пластинки	233
125. Вещества для испытательных пластинок	233
126. Изготовление испытательных пластинок. „Белый цвет для цветовых измерений“	237
127. Способы получения полей сравнения	240
128. Сетомерные головки	243
129. Головка Люммера-Бродгуна	244
130. Головка Вехштейна	245
131. Головка, изготовляемая мастерским ВНИИМ	247
132. Сравнительная оценка сетомерных головок	248

ГЛАВА X. ИЗМЕРЕНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ ПЕРЕНОСНЫМИ ПРИБОРАМИ (ЛЮКСМЕТРЫ).

133. Фотометр Вебера. Универсальный трубочный фотометр по Веберу фирмы Шмидт и Генш	251
---	-----

	Стр.
134. Люксметр Шарпа-Миллера	254
135. Люксметр Макбета	255
136. Люксметр ВНИИМ	257
137. Люксметр Троттера-Эверетт-Эчкомба	260
138. Люксметр Ковалева	262
139. Люксметр Мазда	263
140. Люксметр Осрам	263
141. Люксметр Бехштейна	265
142. Люксметр Блонделя	266
143. Сравнительная оценка	266
144. Требования, предъявляемые к люксметрам	269
145. Некоторые условия применения	269

ГЛАВА XI. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ СВЕТА. СВЕТОМЕРНЫЕ СКАМЬИ. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ФОТОМЕТРЫ. ВЫЧИСЛЕНИЕ СВЕТОВОГО ПОТОКА. ИЗМЕРЕНИЕ СВЕТИЛЬНИКОВ.

146. Определение силы света через освещенность. Способы определения точки схода лучей	273
147. Светомерная скамья	275
148. Способы измерений на двухсторонней светомерной скамье	280
149. Правила измерений на светомерной скамье	285
150. Расширение пределов измерений на скамье	289
151. Распределительные фотометры. Зеркальные распределительные фотометры	290
152. Влияние свойств зеркала	293
153. Распределительный фотометр с поворотной пластинкой	296
154. Вращающийся штатив для светильников к распределительному фотометру	297
155. Распределительные поворотные подставки	298
156. Светоизмерительные приборы к распределительному фотометру	299
157. Проверка распределительного фотометра	300
158. Измерение силы света люксметрами и другими переносными приборами	303
159. Определение светового потока источника света по измерениям силы света	305
160. Способ угловых коэффициентов	309
161. Способ равных телесных углов	321
162. Применение способа Чебышева	322
163. Определение средней освещенности пояса	324
164. Сокращение числа наблюдений для определения светового потока	326
165. Способ Руссо, графический	327
166. Распределение света светильников	329

ГЛАВА XII. ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА. СВЕТОМЕРНЫЙ ШАР.

167. Светомерный шар	338
168. Теория светомерного шара	339
169. Способы измерений в шаре	341
170. Окраска шара	345

	Стр.
171. Проверка белизны окраски	349
172. Проверка правильности действия шара	352
173. Основное правило применения светомерных шаров	353
174. Дополнительные замечания об измерении светильников	353
175. Об измерении светности	354

ГЛАВА XIII. ИЗМЕРЕНИЕ ЯРКОСТИ.

176. Некоторые общие способы измерения яркости	354
177. Измерение яркости по освещенности	355
178. Измерение яркости по освещенности оптического изображения	357
179. Сличение измеряемой яркости с образцовым прибором стильба. Яркомеры. Стильбметры	358
180. Определение яркости освещаемых поверхностей по освещенности и коэффициенту яркости. Определение яркости люксметром	359
181. Восприятие яркости глазом сквозь оптическую систему	360
182. Способ Максвелла для измерения яркости очень малых или удаленных поверхностей	362

ГЛАВА XIV. ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ, ПРОПУСКАНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ.

183. Измерение коэффициента правильного отражения	364
184. Определение коэффициента рассеянного и полурассеянного отражения	367
185. Коэффициент отражения при рассеянном освещении	370
186. Измерение коэффициента яркости	372
187. Измерение коэффициента пропускания для данного направления	373
188. Измерение общего коэффициента пропускания	375
189. Измерение коэффициента поглощения	376
190. Общие замечания об измерениях	377

ГЛАВА XV. СВЕТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ОДНОРОДНОМ СВЕТЕ.

191. Спектрофотометры	378
192. Спектрометр	378
193. Получение полей сравнения для световых измерений	381
194. Количественное изменение света	382
195. Проверка на длины волн	382
196. Определение ширины щелей и ширины спектра. Чистота спектра	383
197. Рассеянный свет	385
198. Описание спектрофотометров	386
199. Сравнения спектров источников света. Измерение температуры	392
200. Измерение пропускания света	395
201. Измерение коэффициента пропускания в поляризационных спектрофотометрах	396
202. Измерение отражения	400

203. Учет видности лучистой мощности и ширины щелей спектро- фотометра	401
204. Указания к выполнению спектрофотометрических измерений .	404

ГЛАВА XVI-A. РАЗНЫЕ СВЕТОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ.

205. Перечисление некоторых светоизмерительных приборов и их назначение	408
206. Вращающиеся поглотители	410
207. Яркоммер	418
208. Поляризационный фотометр Мартенса	419

ГЛАВА XVI-B. ИСПЫТАНИЕ И ПОВЕРКА ЛЮКСМЕТРОВ И ДРУГИХ ПЕРЕНОСНЫХ ПРИБОРОВ.

209. Наружный осмотр	420
210. Чистка	421
211. Испытание лампочки	421
212. Испытательная пластинка	422
213. Поверка основной шкалы	425
214. Наружные поглотители	429
215. Внутренние поглотители	436
216. Электрические измерения	437
217. Точность поверки	438
218. Повторная поверка	438

ГЛАВА XVII. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ЦВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ.

219. Природа цветовых измерений	439
220. Признаки для сравнения и измерения цветов	441
221. Световые величины и цвет	448
222. Спектральный состав цвета	443
223. Твехцветный состав цвета. Пропорции смешения. Светлотные коэффициенты	444
224. Способы числовых выражений цвета по трехцветному составу. Треугольник цветов	450
225. Переход от первичных цветов к основным цветам	454
226. Сложение цветов	465
227. Светлота (или относительная яркость) цвета	466
228. Изменение светлотных коэффициентов при переходе от одного трехцветного состава к другому	467
229. Вычисление трехцветного состава цвета по его спектраль- ному составу	468
230. Международные обозначения трехцветного состава	469
231. Двухцветный состав	473
232. Переход от трехцветного состава к двухцветному и обратно .	482
233. Колориметры	483
234. Наборы (атласы) цветов	488
235. Определение цветовой температуры по цвету	488

ГЛАВА XVIII. ОБЪЕКТИВНАЯ ФОТОМЕТРИЯ.

236. Поглотитель, заменяющий глаз	491
237. Термопары	491

	Стр.
238. Вакуумные термонары	493
239. Фотоэлементы	495
240. Фотоэлементы с внешним фотоэффектом	497
241. Свойства полупроводников фотоэлементов	501
242. Способы применения фотоэлементов	506
243. (Добавочный). Определение чувствительности глаза к одно- родному свету	512
Библиография	517

ГЛАВА I.

СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ.

1. Введение. Лучистая энергия и ее восприятие глазом. Некоторая лучистая энергия, именно, обладающая определенными свойствами, о которых частью речь ниже, попадая в глаз, производит в нем ощущение света. Световое ощущение есть, таким образом, психо-физиологическое явление, вызываемое лучистой энергией определенного вида¹⁾.

Опыт показывает, что с изменением мощности лучистой энергии меняется и сила светового ощущения. Установлено также, что и при одинаковой мощности лучистой энергии, но при изменении ее состава (спектрального), сила ощущения может быть разной. Вообще, на опыте обнаружено, что между лучистой энергией и ощущением света существует количественная и качественная связь, притом вполне своеобразная. Простой и прямой зависимости, иначе говоря, прямой пропорциональности между лучистой энергией и светом не имеется.

Описав и измерив лучистую энергию обычными физическими способами еще нельзя предопределить, не зная свойств глаза, каким окажется вызываемое ею световое ощущение.

¹⁾ Понятие—свет—не является вполне строго установленным и употребляется часто в неодинаковых смыслах. С одной стороны, оно обозначает ощущение, вызываемое лучистой энергией. Но такое психо-логическое определение света не является единственно применяемым. С давних пор в физике, технике и повседневном обиходе под светом чаще всего понимают лучистую энергию видимых длин волн или, короче, видимую лучистую энергию. При этом очень часто не делается различия между лучистой энергией, как чисто оптическим явлением, не связанным с восприятием глазом, и между световой энергией, как тем же явлением, но сопровождаемым воздействием на глаз (созданием света) и рассматриваемым, именно, применительно к свойству этого явления производить ощущение света. В настоящей книге данное различие проводится, и слово свет применяется в смысле общего названия для всех световых величин вместе или порознь взятых, т. е. как если бы оно было родовым понятием для последних. При этом там, где дело идет о строгом и точном описании явлений или о выражении определенных положений и т. п., слово свет избегалось употреблять.

Глаз воспринимает как свет лучистую энергию, имеющую число колебаний в секунду лишь в пределах — кругло — от 4×10^{14} до 7×10^{14} , что отвечает длинам волн, лежащим в границах — кругло — от 0,4 до 0,75 μ^1); такую энергию называют световой, если имеют в виду ее световое действие. Однородная (монокроматическая) энергия разных длин волн воспринимается глазом как свет различного цвета. Если сравнивать по силе ощущения, полученные от однородного света разных цветов, по одной и той же мощности лучистой энергии, то оказывается, что глаз отличается весьма резко выраженной различной восприимчивостью к разным цветам. Это свойство, как и многие его другие, а равно, как и вообще органов человеческого тела, не является строго определенным и постоянным. Оно видоизменяется от одного наблюдателя к другому. У одного наблюдателя оно также непостоянно и зависит от возраста, от различных физиологических и психических колебаний в состоянии организма (усталость, предшествующие световые восприятия и пр.), от условий, при которых цвета сравниваются (различные места сетчатки глаза, свойства световых ощущений по всей площади сетчатки глаза) и других причин. Чувствительность глаза к цветам неоднократно измерялась различными исследователями и результаты не всегда получались совпадающими, в особенности, в обоих крайних участках спектра. Наибольшего внимания заслуживают опыты Бюро стандартов²⁾ в Вашингтоне, которое промерило чувствительность у 52 наблюдателей. Средние значения из этих данных Международная комиссия по освещению³⁾ приняла в 1924 г., как самые достоверные. Они приводятся далее в табл. IV. Глаз оказывается наиболее чувствительным к желтовато-зеленому цвету с длиной волны около 0,555 μ (чувствительность глаза к нему условно принимается за единицу, к которой и относятся чувствительности к другим цветам). Чувствительность отдельного наблюдателя может отличаться на несколько процентов от средних данных.

Смешение лучистых энергий разных цветов создает ощущение новых сложных цветов. При этом зависимость цветового суммарного ощущения от составляющих цветов весьма сложна, тем не менее и для нее найдены некоторые численные соотношения, так что можно предопределять цвет, получающийся от смешения нескольких цветов.

На основании соответственных опытных данных обыкновенно считают, что световое ощущение при одновременном наложении действия света разных цветов усиливается так же, как и при сложении одноцветного света.

¹⁾ μ — сокращенное обозначение микрона.

²⁾ Метрологический институт США. Он ведает, приблизительно, теми же делами, что и Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии (в Ленинграде).

³⁾ Международная организация, занимающаяся вопросами светотехники.