

Ю.И. Терентьев

## Зависимость углов отклонения лучей краевого света от длины волны

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 30.04.2004 г.

Установлена зависимость углов отклонения краевых лучей света от расстояния между их первоначальными траекториями и краем дифрагирующего экрана при различных длинах волн видимого диапазона.

Как известно, с появлением работ Магги, Зоммерфельда [1], Рабиновича [2], Малюженца [3] и других исследователей объяснение дифракции света интерференцией краевой и первичной волн оказалось более соответствующим физической сущности явления по сравнению с ее объяснением на основе интерференции вторичных волн от фиктивных [4] источников Гюйгенса—Френеля.

Возникновение дифракции света вследствие интерференции краевой (граничной) волны с падающей подтверждается также результатами экспериментальных исследований автора данной статьи.

В частности, в работах [5, 6] обнаружено существование в воздухе над поверхностью экранов, а также по обе стороны границы раздела твердой и жидкой сред с различной оптической плотностью зоны толщиной порядка 80 мкм [7] (зоны отклонения), в которой лучи падающего света отклоняются в направлении от экрана и в сторону его тени, становясь краевыми лучами.

Возникновение граничной волны не на крае экрана [2], а в области над ним показывает, что в видимом диапазоне поверхностные токи Пуанкаре [8], рассматриваемые в теории Зоммерфельда в качестве реальных источников вторичных волн, либо не индуцируются падающей на экран волной, либо излучаемые ими волны вносят незначительный вклад в результирующий поток краевого света. Это заключение согласуется с утверждением Малюженца [8] относительно ошибочности представления о поверхностных токах как первопричине дифракционного поля.

Данное обстоятельство и отсутствие условий для возбуждения токов в находящейся вне экрана зоне образования краевой волны, противоречие диффузионной гипотезы Юнга—Малюженца экспериментальным фактам [5], отклонение краевых лучей на расстояниях от экрана во много раз больше  $\lambda$ , по-видимому, свидетельствуют о наличии истины в гипотезе Ньютона относительно существования взаимодействия световых частиц (фотонов) с телами на расстоянии [9], приводящего к их отклонению от первоначального направления.

В случае реальности данного взаимодействия становится ясной причина отклонения световых лучей в рассматриваемых условиях, если понимать под лучом света траекторию, по которой распространяется фотон совместно со связанной с ним [10] элементарной световой волной.

Принадлежит к единому целому, волновые и корпускулярные свойства света не могут быть изолированными друг от друга. Поэтому любое вызываемое им явление должно быть результатом совместного проявления этих свойств, каждое из которых ответственно за разные стороны явления. Так, в дифракционных явлениях волновые свойства обуславливают возникновение дифракционных полос. Существование же света в виде корпускулофотонов, способных взаимодействовать с телами на расстоянии, приводит к отклонению световых лучей, т.е. к собственно дифракции света.

На основании приведенных в [11] результатов экспериментальных исследований отклонение лучей света с  $\lambda = 0,53$  мкм в зоне у прямолинейного края тонкого экрана (лезвия бритвы) описывается формулой, установленной при значениях  $h_3 \geq 0,9$  мкм:

$$\varepsilon = 259,5 / (h_3 + 0,786), \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  — угол отклонения, мин;  $h_3$  — расстояние между первоначальной траекторией луча и краем экрана, мкм.

В [12] получена формула, определяющая расстояния  $H$  от центров дифракционных полос до границы тени (г.т.) в случае дифракции светового пучка от линейного источника света  $S$  (рисунок) на тонком экране с прямолинейным краем, имеющая вид

$$H = (r + h) = [h_3(L + l) / l + \sqrt{(k_0 + k)\lambda L(L + l) / l}]. \quad (2)$$

Здесь  $(k_0 + k)$  — число полуволн в геометрической разности хода между интерферирующими лучами 1, 2;  $k = 0, 2, 4, \dots$ , соответствует max, а  $k = 1, 3, 5, \dots$ , — min;  $k_0 = 0,5$  представляет собой начальный сдвиг между лучами падающего и краевого света на четверть волны [12] по направлению распространения краевых лучей [13], происходящий при их от-

клонении в зоне в направлении от экрана. Данное выражение позволяет рассчитывать  $H$  после предварительного нахождения  $h = \sqrt{(k_0 + k)\lambda L(L + l)}/l$ ,  $\epsilon$  по формуле  $\epsilon = (h/L)57,3^\circ \cdot 60' = 3438h/L$ , мин, и  $h_3$  по (1).

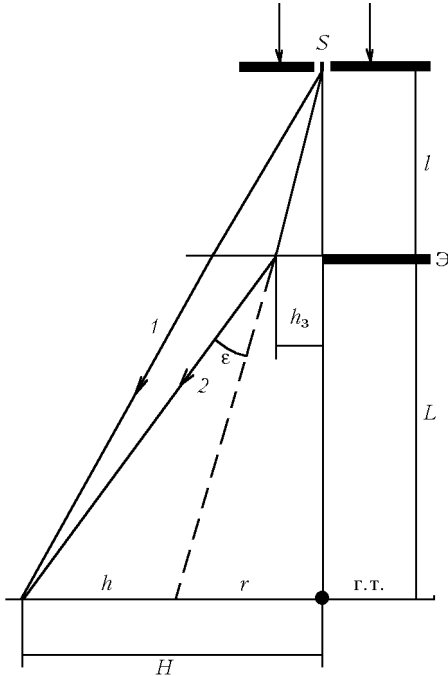


Схема дифракции на тонком экране с прямолинейным краем светового пучка от линейного источника света

В табл. 1–3 проведено сравнение значений  $H$ , рассчитанных таким образом, с их значениями, найденными по формуле Френеля [14]:  $H_{\Phi} = \vartheta\sqrt{\lambda(L + l)L}/2l$  с использованием приведенных в [14] значений параметра  $\vartheta$ . Как видно по  $\Delta H = (H - H_{\Phi})$  и  $H$ , значения  $H$  для всех полос, кроме  $\max_1$ , практически совпадают с соответствующими значениями  $H_{\Phi}$ .

Таблица 1  
Расстояния от центров полос до г.т. в дифракционной картине от экрана, рассчитанные на основании (1), (2) и формулы Френеля при  $l = 12$  мм;  $L = 99,5$  мм;  $\lambda = 0,53$  мкм

Полоса	$k$	$H$ , мм	$\epsilon$ , мин	$h_3$ , мкм	$H_{\Phi}$ , мм	$\Delta H$ , мкм
$\max_1$	0	0,629	17,1	14,39	0,6025	26,5
$\min_1$	1	0,9313	29,62	7,975	0,927	4,3
$\max_2$	2	1,1625	38,24	6	1,1617	0,8
$\min_2$	3	1,3555	45,25	4,949	1,356	-0,5
$\max_3$	4	1,5246	51,307	4,2717	1,5255	-0,9
$\min_3$	5	1,6768	56,72	3,789	1,6786	-1,8
$\max_4$	6	1,8164	61,67	3,422	1,8187	-2,3
$\min_4$	7	1,9461	66,24	3,1316	1,949	-2,9
$\max_5$	8	2,0676	70,51	2,894	2,0706	-3
$\min_5$	9	2,1825	74,55	2,645	2,1859	-3,4
$\max_6$	10	2,2917	78,37	2,525	2,2952	-3,5
$\min_6$	11	2,3958	82,02	2,378	2,3997	-3,9
$\max_7$	12	2,4957	85,51	2,2486	2,4997	-4
$\min_7$	13	2,5917	88,866	2,1341	2,5958	-4,1

$I_{г.т.} = 0,2604$ ;  $I_{г.т.Ф} = 0,2855$

Зависимость углов отклонения лучей краевого света от длины волны

Таблица 2

Расстояния от центров полос до г.т. в дифракционной картине от экрана, рассчитанные на основании (1), (2) и формулы Френеля при  $l = 35,5$  мм;  $L = 99,5$  мм;  $\lambda = 0,53$  мкм

Полоса	$k$	$H$ , мм	$\epsilon$ , мин	$h_3$ , мкм	$H_{\Phi}$ , мм	$\Delta H$ , мкм
$\max_1$	0	0,4038	10,94	22,936	0,3854	18,6
$\min_1$	1	0,598	18,95	12,909	0,593	5
$\max_2$	2	0,7454	24,46	9,822	0,7426	2,8
$\min_2$	3	0,8688	28,95	8,178	0,8675	1,3
$\max_3$	4	0,977	32,82	7,12	0,976	1
$\min_3$	5	1,0743	36,28	6,366	1,074	0,0003
$\max_4$	6	1,1636	39,445	5,793	1,1636	0
$\min_4$	7	1,2466	42,37	5,338	1,2469	-0,0003
$\max_5$	8	1,3244	45,109	4,967	1,3248	-0,0004
$\min_5$	9	1,3979	47,69	4,6653	1,3985	-0,0006
$\max_6$	10	1,4677	50,14	4,39	1,4685	-0,0008
$\min_6$	11	1,5343	52,47	4,16	1,5353	-1
$\max_7$	12	1,5982	54,7	3,96	1,5993	-1,1

$I_{г.т.} = 0,244$ ;  $I_{г.т.Ф} = 0,2845$

Таблица 3

Расстояния от центров полос до г.т. в дифракционной картине от экрана, рассчитанные на основании (1), (2) и формулы Френеля при  $l = 90$  мм;  $L = 99,5$  мм;  $\lambda = 0,53$  мкм

Полоса	$k$	$H$ , мм	$\epsilon$ , мин	$h_3$ , мкм	$H_{\Phi}$ , мм	$\Delta H$ , мкм
$\max_1$	0	0,3011	8,14	31,09	0,2867	14,4
$\min_1$	1	0,4451	14,1	17,62	0,4411	4
$\max_2$	2	0,5552	18,2	13,47	0,5524	2,8
$\min_2$	3	0,647	21,537	11,263	0,6453	1,7
$\max_3$	4	0,7275	24,42	9,84	0,7261	1,4
$\min_3$	5	0,8	27	8,825	0,7989	1,1
$\max_4$	6	0,8664	29,35	8,06	0,8656	0,8

$I_{г.т.} = 0,2453$ ;  $I_{г.т.Ф} = 0,2768$

В случае перестановки экрана в зеркально противоположное положение расстояние между центрами  $\max_1$  в обеих дифракционных картинах равно двойному расстоянию от них до г.т. На найденной по его половинному значению г.т. в эксперименте с  $l = 117$  мм,  $L = 376,5$  мм относительная интенсивность света  $I_{г.т.}$  (равная отношению интенсивностей с экраном и без экрана в пучке) оказалась приблизительно равной 0,25.

Согласно содержащимся в табл. 1–3 значениям  $I_{г.т.}$  и  $I_{г.т.Ф}$ , измеренным на расстояниях  $H$  и  $H_{\Phi}$  от центров  $\max_1$  в экспериментах (при указанных значениях  $l$ ,  $L$ ,  $\lambda$ ),  $I_{г.т.}$  более близки к 0,25, чем  $I_{г.т.Ф}$ . Следовательно, значительная величина  $\Delta H$  для  $\max_1$  вызвана неточным определением расстояния от центра  $\max_1$  до г.т. в методе Френеля.

Как показал анализ, в случае  $\lambda$ , отличных от 0,53 мкм, формула (1) становится неверной. Вместо нее зависимость  $h_3$  от  $\epsilon$  определяется выражением

$$\epsilon = 259,5\lambda/0,53(h_3 + 0,786) = 489,623\lambda/(h_3 + 0,786), \quad (3)$$

где  $\lambda$  и  $h_3$  – в мкм;  $\epsilon$  – в мин.

В этом нетрудно убедиться (на основе данных табл. 4, 5) по сохранению прежнего незначительного

различия между  $H$  и  $H_{\Phi}$  при красном и фиолетовом свете с использованием в (2) значений  $h_3$ , определяемых (3).

Таблица 4

Расстояния от центров полос до г.т. в дифракционной картине от экрана, рассчитанные на основании (2), (3) и формулы Френеля при  $l = 12$  мм;  $L = 99,5$  мм;  $\lambda = 0,6328$  мкм

Полоса	$k$	$H$ , мм	$\epsilon$ , мин	$h_3$ , мкм	$H_{\Phi}$ , мм	$\Delta H$ , мкм
max <sub>1</sub>	0	0,6876	18,686	15,795	0,6583	29,3
min <sub>1</sub>	1	1,0183	32,366	8,787	1,0128	5,5
max <sub>2</sub>	2	1,2709	41,785	6,629	1,2683	2,6
min <sub>2</sub>	3	1,4818	49,442	5,481	1,4816	0,0002
max <sub>3</sub>	4	1,6666	56,062	4,741	1,667	-0,0004
min <sub>3</sub>	5	1,8329	61,981	4,213	1,8343	-1,4
max <sub>4</sub>	6	1,9855	67,38	3,812	1,9873	-1,8
min <sub>4</sub>	7	2,127	72,378	3,495	2,1296	-2,6

$$I_{г.т.} = 0,2474$$

Таблица 5

Расстояния от центров полос до г.т. в дифракционной картине от экрана, рассчитанные на основании (2), (3) и формулы Френеля при  $l = 12$  мм;  $L = 99,5$  мм;  $\lambda = 0,428$  мкм

Полоса	$k$	$H$ , мм	$\epsilon$ , мин	$h_3$ , мкм	$H_{\Phi}$ , мм	$\Delta H$ , мкм
max <sub>1</sub>	0	0,564	15,37	12,847	0,5414	22,6
min <sub>1</sub>	1	0,8362	26,616	7,0874	0,8329	3,3
max <sub>2</sub>	2	1,0439	34,3627	5,3124	1,043	0,9
min <sub>2</sub>	3	1,2173	40,658	4,3681	1,2183	-1
max <sub>3</sub>	4	1,3691	46,1	3,76	1,3708	-1,8

$$I_{г.т.} = 0,2695$$

На основании (3) углы отклонения краевых лучей с одинаковых расстояний от экрана пропорциональны  $\lambda$ . Поэтому при уменьшении  $\lambda$  отклонение лучей на прежние углы происходит с меньшего участка зоны отклонения. В результате уменьшается количество света, падающего на данный участок и, следовательно, уменьшается краевой поток.

*Yu.I. Terent'ev. Wavelength dependence of ray deflection angles of edge light.*

The dependence of the angles of deflection of the edge light rays on the distance between their initial trajectories and the edge of the diffracting screen is established at different wavelengths of the visible spectral region.

Таким образом, установленная зависимость  $\epsilon$  от  $\lambda$  естественно объясняет ослабление дифракции света с уменьшением  $\lambda$ .

Подобная связь  $\epsilon$  с  $\lambda$ , возможно, имеет место и при рассеянии света на аэрозольных частицах.

1. Зоммерфельд А. Оптика. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1953. 403 с.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 533 с.
3. Физико-энциклопедический словарь Т. 1. М.: ГНИ, 1960.
4. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. 928 с.
5. Терентьев Ю.И. О причинах возникновения краевой волны, влиянии на нее поглощающей способности, толщины и формы дифрагирующего экрана // Оптика атмосф. и океана. 1995. Т. 8. N 4. С. 510–520.
6. Терентьев Ю.И. Исследование причин и особенностей образования краевого света в оптически более и менее плотных средах // Оптика атмосф. и океана. 1995. Т. 8. N 6. С. 811–818.
7. Терентьев Ю.И. Об экспериментальной оценке глубины области отклонения краевых лучей света // Оптика атмосф. и океана. 1993. Т. 6. N 4. С. 345–348.
8. Хёнль Х., Мауэ А., Вестфаль К. Теория дифракции. М.: Мир, 1964. 428 с.
9. Франкфурт У.И. Творцы физической оптики. М.: Наука, 1973. 351 с.
10. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: ГИТ-ТЛ, 1957. 759 с.
11. Терентьев Ю.И. Характер зависимости углов дифракции лучей краевого света от расстояния между их первоначальными траекториями и прямолинейным краем тонкого экрана // Оптика атмосф. и океана. 1998. Т. 11. N 12. С. 1269–1273.
12. Терентьев Ю.И. Экспериментальное исследование дифракции света на тонком экране с прямолинейным краем // Оптика атмосф. и океана 1999. Т. 12. N 5. С. 411–413.
13. Терентьев Ю.И. К вопросу дифракции света на плоском тонком экране с прямолинейным краем // Оптика атмосф. 1989. Т. 2. N 11. С. 1141–1147.
14. Френель О. Избранные труды по оптике / Пер. с фр. Г.С. Ландсберга. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1955. 500 с.