

Ю.И. Терентьев

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЛОС ДИФРАКЦИОННОЙ КАРТИНЫ СВЕТА ОТ ЭКРАНА

Рассмотрены эксперименты, в которых осуществлено изменение интенсивности полос в дифракционной картине от экрана при постоянных параметрах дифракционной схемы, интенсивности падающего света и ширине открытой части волнового фронта.

Установлено, что одновременно с усилением максимумов происходит ослабление освещенности в области геометрической тени экрана и наоборот.

В работах [1, 2] дано количественное описание дифракционной картины от экрана на основании интерференции краевых лучей с прямопроходящим светом, согласующееся с экспериментом. Как известно, положение и интенсивность полос, найденные на основании представлений Френеля в условиях постоянной интенсивности света по ширине волнового фронта, также близки к их действительным значениям. В связи с установлением в [2] причины данного соответствия становится очевидным, что представления Френеля имеют формальный характер. Действительно, если бы принцип Гюйгенса – Френеля был справедлив по существу, тогда при постоянных параметрах дифракционной схемы, интенсивности падающего света и ширине открытой части волнового фронта было бы невозможно изменять интенсивность дифракционных полос. Но опыт показывает обратное. Причем способы изменения интенсивности являются органическим следствием из представлений Юнга о природе дифракции света. Один из способов описан в работе по установлению действительной причины колебания интенсивности света на оси пучка с изменением ширины ограничивающей его щели. Его суть состоит в усилении интенсивности краевых лучей, интерферирующих с прямопроходящими лучами, путем наложения на них краевых лучей, распространяющихся первоначально в область тени [3].

Рассмотрим влияние данного способа на дифракционную картину от экрана. Соответствующая схема приведена на рис. 1, где $щ_1$ – щель шириной 30 мкм, освещаемая параллельным пучком зеленого света с $\lambda = 0,53$ мкм; h – расстояние от границы геометрической тени (г. т.) до полос дифракционной картины в плоскости сканирующей щели $щ_2$. В отличие от схемы, показанной на рис. 4 в [1], в данной схеме вместо тонкого экрана (лезвия) использован толстый экран – стеклянная прямоугольная призма с длиной катетных граней, равной 10,6 мм. Для исключения попадания прямых лучей от $щ_1$ на грань AB призма установлена под углом $i = 0,076^\circ$ к оси пучка при нахождении на ней ребра A ($l = 12$ мм; $L = 99,5$ мм).

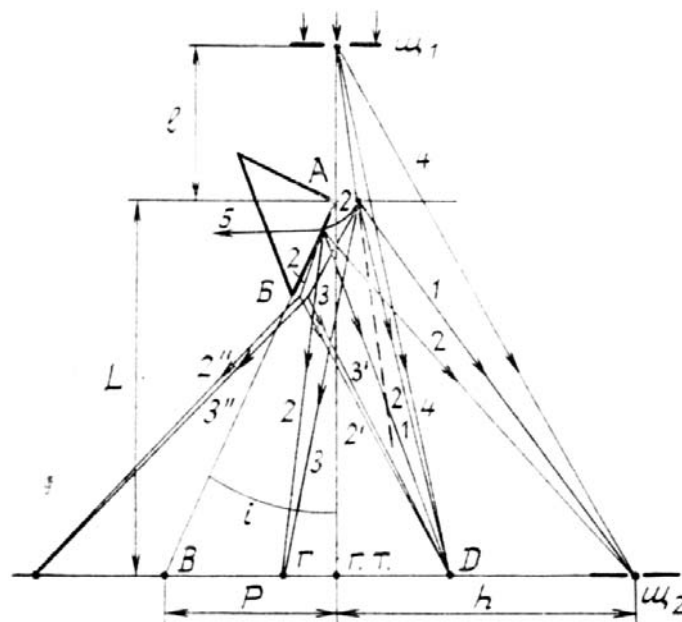


Рис. 1. Схема дифракции света на толстом экране

Краевые лучи, отклоняемые в области ребра A в направлении тени от призмы, частично падают на грань AB (2), частично проходят мимо нее (3). После отражения от грани лучи 2 накладываются на краевые лучи 1, распространяющиеся из области ребра A вправо от г. т. Благодаря потере полуволны при отражении, лучи 1 и 2, находившиеся в противофазе в начальный момент [1], оказываются согласованными по фазе и поэтому взаимно усиливают друг друга. Вследствие возросшей интенсивности краевых лучей, интерферирующих с прямопроходящими лучами 4, интенсивность максимумов дифракционной картины становится больше, а минимумов — меньше в сравнении с ее значениями в картине от тонкого экрана. В этом можно убедиться по данным табл. 1, где h_s, h_p — соответственно экспериментальные и рассчитанные по формуле (3) [1] значения h ; $\Delta h = (h_s - h_p)$; J_n — интенсивность полос, когда экраном является призма; J_c — интенсивность падающего света в плоскости u_2 ; $J_{г.п}, J_{г.л}$ — интенсивности краевых лучей, образующихся соответственно у ребра A призмы и края тонкого экрана (лезвия); $\Delta J_n = (J_n - J_c)$; $\Delta J_l = (J_l - J_c)$; J_l — интенсивность полос в дифракционной картине от лезвия.

Приведенные в таблице значения $\Delta J_n, J_n/J_c, J_{г.п}/J_{г.л}$ несколько занижены из-за частичного преломления лучей 2 в призму, приводящего к образованию преломленного пучка 5 [4]. Судя по величине $J_{г.п}/J_{г.л}$, в отсутствие данного преломления $J_{г.п}$ превосходила бы примерно в 4 раза $J_{г.л}$ на всех углах отклонения дифрагированных лучей. В этом случае потоки $\Phi_{г1}, \Phi_{г2}$ интерферирующих между собой лучей 1 и 2, имели бы приблизительно одинаковую величину, а их сложение привело бы к образованию результирующего потока $\Phi_{г12}$, превышающего в 2 раза арифметическую сумму $\Phi_{г1}$ и $\Phi_{г2}$. Следовательно, интерференция лучей 1, 2 в рассматриваемых условиях происходит действительно без разности хода между ними.

С увеличением i из-за сильной зависимости интенсивности краевых лучей от угла их отклонения от первоначального направления распространения происходит быстрое уменьшение количества падающих на грань призмы и отражающихся от нее лучей 2, вызывающее ослабление $J_{г.п}$. В результате $\Delta J_n, J_n/J_c, J_{г.п}/J_{г.л}$ стремятся к значениям для тонкого экрана. Характер данного уменьшения демонстрируется табл. 2–4. Согласно их данным, уже при $i = 1,8^\circ$ возмущение светового поля толстым экраном из стекла близко к его возмущению тонким экраном, а при $i = 10,8^\circ$ толстый экран практически эквивалентен тонкому.

Правильность приведенного объяснения усиления интенсивности света в максимумах дифракционной картины от толстого экрана и ее ослабления в минимумах подтверждается экспериментами, в которых грань AB призмы покрыта слоем сажи толщиной 26 мкм. В данном случае из-за поглощения сажей падающих на нее лучей 2 уменьшается интенсивность отраженных лучей 2 и, следовательно, падает суммарный поток краевых лучей, интерферирующих с прямопроходящими лучами. В результате этого дифракционные полосы станут менее контрастными, что видно из сравнения данных табл. 5, 6, характеризующих дифракционные картины в опытах соответственно с чистой и черненной гранью AB ($l = 12, L = 136$ мм; $i = 0,1^\circ$).

Когда грань призмы покрыта сажей, тогда с ростом порядка полос, начиная с \min_2 , наблюдается увеличение Δh . Его причина понятна, если принять во внимание, что при отражении света от поглощающих сред изменение фазы у отраженных лучей отлично от π . В рассматриваемых условиях это отличие тем больше, чем выше порядок полос, т. е. чем на большее h отклоняются отраженные лучи. Указанное изменение сдвига фазы приводит к рассогласованию фаз лучей 1, 2. По этой причине отраженные лучи 2 в \min_2 и последующих полосах вместо усиления, наоборот, ослабляют лучи 1, отчего $J_{г.п}/J_{г.л}$ становится меньше единицы. Вследствие рассогласования фаз лучей 1, 2 уменьшение разности хода между производными от них лучами и лучами 4 будет происходить не на $0,69\lambda/2$, а на $k_0\lambda/2$. Заменим в (3) [1] $0,69$ на k_0 и преобразуем выражение относительно его. Тогда $k_0 = \left[\frac{h^2 l}{\lambda l(L+l)} - k \right]$, если $h = h_s$; $k = 0, 2, 4 \dots$ соответствует максимумам; $k = 1, 3, 5, \dots$ — минимумам дифракционной картины.

Таблица 1

$i = 0,076^\circ$											
Полоса	h_s , мм	h_p , мм	Δh , мкм	J_n	J_c	$J_{г.п}$	ΔJ_n	ΔJ_l	J_n/J_c	J_l/J_c	$J_{г.п}/J_{г.л}$
\max_1	0,564	0,582	—18	52,1	28	3,712	24,1	11,94	1,861	1,426	3,512
\min_1	0,901	0,910	—9	10,2	19	1,36	—8,8	—5,32	0,536	0,72	3,123
\max_2	1,141	1,148	—7	21,79	13,2	1,071	8,6	4,04	1,651	1,306	3,976
\min_2	1,336	1,345	—9	4,63	8,2	0,507	—3,6	—2,4	0,564	0,712	3,27
\max_3	1,511	1,516	—5	9,66	5,7	0,519	4	2	1,695	1,354	3,624
\max_4	1,811	1,811	0	4,12	1,9	0,423	2,2	1	2,167	1,535	4,013
Г. т.	0	0	—	4,33	36	4,33	—	—	0,12	0,308	0,39

Таблица 2

$i=0,45^\circ$										
Полоса	$h_{\text{э}},$ мм	$\Delta h,$ мкм	$J_{\text{п}}$	$J_{\text{с}}$	$J_{\text{г.п}}$	$\Delta J_{\text{п}}$	$\Delta J_{\text{л}}$	$J_{\text{п}}/J_{\text{с}}$	$J_{\text{л}}/J_{\text{с}}$	$J_{\text{г.п}}/J_{\text{г.л}}$
max ₁	0,564	-18	41,74	28	1,368	13,74	11,94	1,491	1,426	1,294
min ₁	0,907	-3	12,31	19	0,724	-6,69	-5,32	0,648	0,72	1,662
max ₂	1,145	-3	18,28	13,2	0,413	5,08	4,04	1,385	1,306	1,533
min ₂	1,345	0	4,61	8,2	0,515	-3,59	-2,4	0,561	0,712	2,567
max ₃	1,522	6	8,21	5,7	0,228	2,51	2	1,44	1,354	1,494
max ₄	1,832	21	3,13	1,9	0,152	1,23	1	1,647	1,535	1,403
Г. т.	0	-	10,39	36	10,39	-	-	0,288	0,308	0,935

Таблица 3

$i=1,8$										
Полоса	$h_{\text{э}},$ мм	$\Delta h,$ мкм	$J_{\text{п}}$	$J_{\text{с}}$	$J_{\text{г.п}}$	$\Delta J_{\text{п}}$	$\Delta J_{\text{л}}$	$J_{\text{п}}/J_{\text{с}}$	$J_{\text{л}}/J_{\text{с}}$	$J_{\text{г.п}}/J_{\text{г.л}}$
max ₁	0,564	-18	40,26	28	1,109	12,26	11,94	1,438	1,426	1,05
min ₁	0,919	9	13,32	19	0,504	-5,68	-5,32	0,701	0,72	1,158
max ₂	1,159	1	17,28	13,2	0,275	4,08	4,04	1,309	1,306	1,02
min ₂	1,359	14	6,27	8,2	0,129	-1,93	-2,4	0,765	0,712	0,645
max ₃	1,524	8	7,79	5,7	0,163	2,09	2	1,367	1,354	1,07
max ₄	1,824	13	2,88	1,9	0,102	0,98	0,98	1,516	1,535	0,94
Г. т.	0	-	10,68	36	10,68	-	-	0,296	0,308	0,961

Таблица 4

$i=10,8^\circ$										
Полоса	$h_{\text{э}},$ мм	$\Delta h,$ мкм	$J_{\text{п}}$	$J_{\text{с}}$	$J_{\text{г.п}}$	$\Delta J_{\text{п}}$	$\Delta J_{\text{л}}$	$J_{\text{п}}/J_{\text{с}}$	$J_{\text{л}}/J_{\text{с}}$	$J_{\text{г.п}}/J_{\text{г.л}}$
max ₁	0,564	-18	39,7	28	1,019	11,7	11,94	1,418	1,426	0,964
min ₁	0,891	-19	13,7	19	0,432	-5,3	-5,32	0,721	0,72	0,993
max ₂	1,127	-21	17,3	13,2	0,277	4,1	4,04	1,311	1,309	1,027
min ₂	1,332	-13	6,1	8,2	0,155	-2,1	-2,4	0,744	0,712	0,774
max ₃	1,522	6	7,65	5,7	0,143	1,95	2	1,342	1,354	0,94
max ₄	1,812	1	2,9	1,9	0,105	1	1	1,526	1,535	0,971
Г. т.	0	-	11,1	36	11,1	-	-	0,308	0,308	1

Таблица 5

Полоса	$h_{\text{э}},$ мм	$\Delta h,$ мкм	$J_{\text{п}}$	$J_{\text{с}}$	$\Delta J_{\text{п}}$	$J_{\text{п}}/J_{\text{с}}$	$J_{\text{г.п}}$	$J_{\text{г.п}}/J_{\text{г.л}}$
max ₁	0,765	-18	52,53	30,71	21,82	1,711	2,911	2,9
min ₁	1,237	11	15,73	23,16	-7,43	0,679	0,715	1,72
max ₂	1,539	-7	25,29	17,89	7,41	1,414	0,640	2,37
min ₂	1,808	-3	8,67	12,85	-4,18	0,674	0,411	2,69
max ₃	2,039	-3	14	9,59	4,41	1,46	0,414	2,86
min ₃	2,249	0	4,28	6,29	-2,01	0,681	0,192	1,54
max ₄	2,432	-7	6,84	4,28	2,56	1,597	0,297	2,801
max ₅	2,782	2	3,16	1,82	1,34	1,737	0,184	-
Г. т.	0	-	3,95	36	-	0,1096	-	-

Полоса	h_n , мм	Δh , мкм	k_0	J_n	J_c	ΔJ_n	J_n/J_c	$J_{г.п}$	$J_{г.п}/J_{г.л}$
max ₁	0,765	—18	—	44,74	30,69	14,1	1,458	1,321	1,314
min ₁	1,252	26	—	16,2	22,36	—6,2	0,725	0,496	1,248
max ₂	1,552	6	0,709	21,45	16,92	4,53	1,268	0,268	1,01
min ₂	1,832	21	0,775	9,74	12,06	—2,32	0,808	0,124	0,835
max ₃	2,078	36	0,857	10,57	8,62	1,95	1,227	0,099	0,712
min ₃	2,289	40	0,894	4,1	5,28	—1,18	0,776	0,075	—
max ₄	2,482	43	0,930	4,31	3,24	1,07	1,329	0,076	0,743
max ₅	2,842	62	1,08	1,64	1,03	0,62	1,6	0,072	—
Г. т.	0	—	—	6,58	35,9	—	0,183	—	—

В отличие от усиления интенсивности краевых лучей на освещенной стороне, при толстом экране, расположенном под малыми углами i , происходит значительное падение интенсивности краевых лучей, распространяющихся в области тени, характеризуемое рис. 2, где 1, 2, 3 — графики зависимости интенсивности J_r дифрагировавшего за экран света от h соответственно при i , равном 0,076; 0,45; 10,8°. Данная интенсивность несколько увеличивается с нанесением на грань АБ слоя сажи в противовес ослаблению интенсивности краевых лучей, распространяющихся в освещенной области, что видно из рис. 3. Здесь 1, 2 — кривые зависимости J_r от h при $i = 0,1^\circ$ соответственно в случае чистой и черненной грани АБ; 3 — кривая аналогичной зависимости для тонкого экрана.

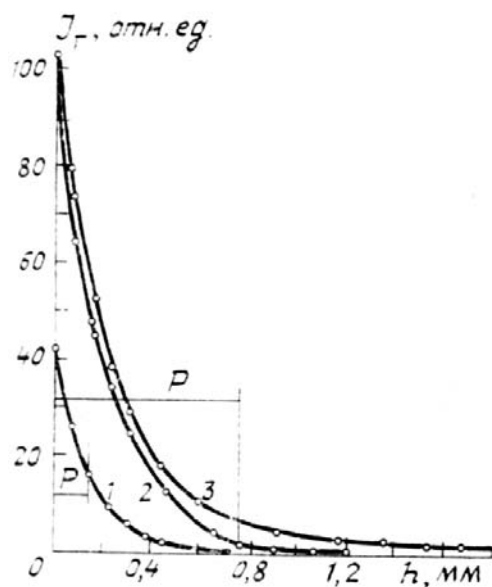


Рис. 2. Графики, демонстрирующие ослабление интенсивности света в области геометрической тени при замене тонкого экрана толстым

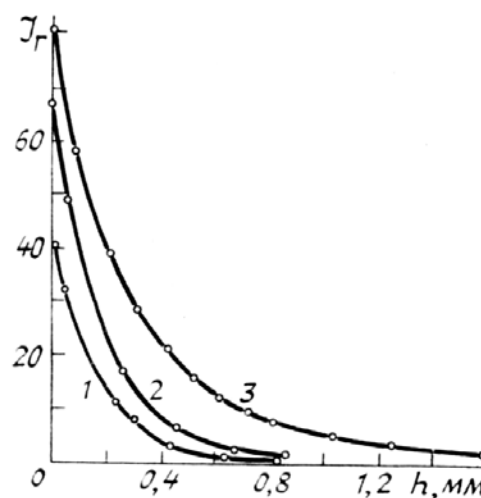


Рис. 3. Кривые, характеризующие усиление интенсивности света в области геометрической тени призмы при нанесении на грань АБ слоя сажи

В пределах интервала P геометрической тени, например, в т. г, освещенность обусловлена совместным действием слабоотклоненных лучей 3 и пологоотраженных лучей 2. Грань АБ препятствует этим лучам распространяться на $h > P$. Тем не менее согласно кривой 1 (рис. 2), при повороте призмы на $i = 0,076^\circ$ свет заметной интенсивности проникает в тень примерно на $h = 0,74$ мм, тогда как P равно всего лишь 0,132 мм. Следовательно, в области ребра Б происходит повторное отклонение близкопроходящих от него лучей 2 и 3 по обе стороны предыдущего направления их распространения, сопровождающееся, по-видимому, дополнительным сдвигом фаз, подобным начальному сдвигу фаз во время отклонения лучей у ребра А. Вторичноотклоненные лучи 2, 3 обозначены на рисунке символами 2', 3', 2'', 3''.

В связи с потерей полуволны отраженными лучами 2, лучи 2, 3, приходящие в интервал P , и 2'', 3'', распространяющиеся на $h > P$, взаимно ослабляют друг друга, поэтому освещенность в области тени становится меньше ее значения за тонким экраном. При чернении грани уменьшается интенсивность отраженных лучей 2, следовательно, они в меньшей степени гасят лучи 3 и 3'', что и приводит к отмеченному выше усилению освещенности.

С поворотом призмы на $i = 0,45^\circ$ и больше, из-за падения интенсивности лучей 2, 3 в области ребра B , интенсивность лучей 3'' и 2'' становится малой. В результате этого основная часть освещенной области тени оказывается ограниченной интервалом P .

Вблизи границы тени, вправо от нее, например в т. D сходятся лучи 1, 2, 4, 2', 3'. Вследствие незнания их интенсивности и начальных сдвигов фаз, которые, как показано в [3], на малых углах отклонения лучей отличаются от значений, установленных в [1], сколько-нибудь объективная оценка интенсивности света в данной области невозможна. Судя же по опыту, она имеет меньшую величину в сравнении с ее значением в картине от тонкого экрана.

1. Терентьев Ю. И. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 11. С. 1141–1146.
2. Терентьев Ю. И. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 11. С. 1147–1153.
3. Терентьев Ю. И. // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. № 4. С. 353–362.
4. Терентьев Ю. И. // Изв. вузов СССР. Сер. Физика. 1987. № 12. С. 55–58.

Институт оптики атмосферы СО АН СССР,
Томск

Поступила в редакцию
24 января 1991 г.

Yu. I. Terent'ev. On the Possibility of Varying the Relative Intensity of Maximums in the Diffraction Pattern from a Screen.

Some experiments on changing the intensity of fringes in the diffraction pattern from a screen at constant parameters of the diffraction experiment intensity of incident light and constant width of the open part of the wave front are considered.

It was found that along with the increase of the diffraction maxima there is observed a decrease of the illumination in the region of geometric shadow of the screen and vice versa.