

Ю.И. Терентьев

## Особенности рассеяния света в области края тонкого непрозрачного экрана. Ч. II

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 26.10.2000 г.

Экспериментально установлено, что световые лучи, отклоненные в области края тонкого непрозрачного экрана в направлении от его тени, оказавшись у краев щели, удаленной от экрана на 3 мм, отклоняются только в направлении, противоположном тени ее экранов.

В статье [1] описаны эксперименты, показавшие, что световые лучи, отклоненные в области края тонкого непрозрачного экрана на экран или от него, оказавшись в области края второго экрана, удаленного от первого на расстояния меньше 4,5 мм, по-прежнему отклоняются только на экран или от него.

Успешное осуществление их стало возможным благодаря учету следующих, обнаруженных ранее, экспериментальных фактов и закономерностей.

1. Над поверхностью экранов существуют зоны отклонения световых лучей протяженностью во много раз больше длины волны видимого света, отклоняющие лучи в противоположные стороны относительно первоначального направления [2]. При этом углы отклонения (дифракции) характеризуются формулой [3]:

$$h_3 = (259,5 - 0,786 \varepsilon) / \varepsilon,$$

где  $h_3$  – расстояние до экрана, мкм, с которого отклоняется луч;  $\varepsilon$  – угол отклонения луча, мин.

2. Краевой свет от экрана состоит из отклоненных в зоне отклонения на экран и от него лучей, образующих основную компоненту, и лучей, отраженных от его края, отчасти также после их предварительного отклонения в зоне, образующих компоненту, названную зоммерфельдовской [2].

3. Фазы краевых компонент, отклоняемых от экрана и в область тени, испытывают начальный сдвиг на  $0,5\pi$  соответственно по направлению их распространения и против него относительно фазы падающей волны [4–6]. В результате между ними возникает сдвиг, равный  $\pi$  [4].

Испытав сдвиг фазы на  $-0,5\pi$  при отклонении на экран и на  $\pi$  в процессе отражения, зоммерфельдовская компонента, распространяющаяся на освещенной стороне, оказывается в фазе с основной, усиливая ее действие. Зоммерфельдовская компонента, распространяющаяся в область тени, после потери полуволны при отражении оказывается, наоборот, в противофазе с основной компонентой того же направления, ослабляя ее.

4. При нанесении на экран слоя сажи происходит значительное перераспределение энергии в краевой волне с освещенной стороны в область тени, обусловленное тем, что вследствие частичного поглощения сажей зоммерфельдовской компоненты уменьшаются ослабление основной компоненты в области тени и усиление ее на противоположной стороне [2].

5. Амплитуда краевого света от тонкого слабопоглощающего экрана с прямолинейным краем обратно пропорциональна тангенсу  $\varepsilon$  [4, 7].

Для дополнительного подтверждения установленных особенностей отклонения световых лучей вблизи экранов были поставлены эксперименты по приведенной на рис. 1 схеме, где  $S'$  – изображение щели  $S$  шириной 36 мкм, показанное в виде кривой распределения интенсивности света по его ширине;  $\mathcal{E}_1$  – тонкий экран (лезвие), расположенный в плоскости  $S'$  и перекрывающий половину светового пучка от объектива;  $\mathcal{H}_1$  – щель между лезвиями  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$  шириной  $t = 0,1$  мм, параллельная краю  $\mathcal{E}_1$ , удаленная на  $x = 3$  мм от плоскости  $S'$  и на  $L = 97,6$  мм от плоскости сканирования дифракционной картины щелью шириной 0,1 мм по оси  $H$ ; г.т. – границы геометрической тени  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ .

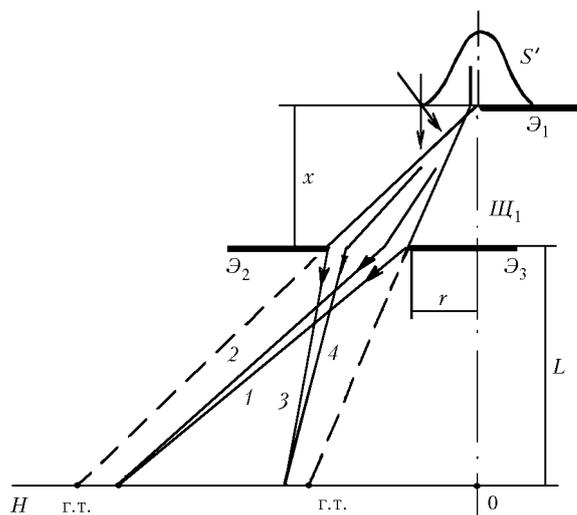


Рис. 1. Схема исследования дифракции краевого света, распространяющегося из области края тонкого непрозрачного экрана в направлении, противоположном его тени, на щели

Щель  $S$  освещается параллельным пучком зеленого света с  $\lambda = 0,53$  мкм. Ширина проекции щели  $\mathcal{H}_1$   $t(L+x)/x = 3,41$  мм. Щель  $\mathcal{H}_1$  находится в краевом потоке, распространяющемся на стороне противоположной тени от  $\mathcal{E}_1$  из области его края и состоящем почти полностью из лучей, отклоненных в направлении от экрана, благодаря

нанесенной на экран саже, ослабляющей отражение лучей, отклоненных в сторону экрана и падающих на его край.

Чтобы исключить наложение на краевой свет падающего света, правый край расположенной перед объективом апертурной щели  $u_0$  шириной 1,5 мм был установлен на ось пучка. При этом ее левый экран ограничивал пучок по  $\min_1$  от  $S$ . Щель  $Щ_1$  удалена от оси падающего пучка на  $r = 117$  мкм. Вследствие этого через ее зоны отклонения проходят краевые лучи, отклоняемые в узком слое зоны отклонения  $\mathcal{E}_1$  шириной около 1 мкм, позволяющем считать его точечным источником, расположенным у края  $\mathcal{E}_1$ , при определении границ геометрической тени экранов  $Щ_1$ . Кроме того, при таком  $r$  проходящие вблизи краев  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$  краевые лучи из зоны отклонения, расположенной у правого края  $u_0$ , имеют малую интенсивность в сравнении с интенсивностью  $J$  краевого света из зоны отклонения  $\mathcal{E}_1$ . Экраны  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$  также покрыты сажей. При данном значении угловой ширины щели  $t/x$  лучи, отклоняемые от  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ , имеют очень малую интенсивность за пределами проекции щели.

На рис. 2 кривые 1, 2 характеризуют распределение  $J$  в дифракционной картине от  $Щ_1$  и в красном свете от  $\mathcal{E}_1$  в плоскости сканирования, где  $H$  отсчитывается от оси  $S'$ .

Как показывает кривая 1 рис. 2,а, свет практически не проникает в область г.т.  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ . Следовательно, отклоненные в зоне  $\mathcal{E}_1$  в направлении от него лучи 1, 2, 3, 4, оказавшись в зонах отклонения  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ , после пути  $x$  попрежнему отклоняются только в направлении от экрана.

Небольшая освещенность (обозначена звездочками) в тени  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$  у г.т. создается в основном лучами, отразившимися от края  $\mathcal{E}_1$  в направлении  $Щ_1$  вследствие неполного поглощения их сажей после отклонения и падения на него, так как после отклонения и падения этих лучей на края  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$  часть их отражается (из-за неполного поглощения сажей) в тень экранов.

На данном рисунке площадь, ограниченная кривой 1 и пропорциональная световому потоку, образующему дифракционную картину, значительно меньше площади, ограниченной кривой 2 совместно с вертикалями, выходящими из г.т., пропорциональной краевому потоку, падающему на  $Щ_1$ .

Нарушение баланса между падающим на щель и выходящим из нее потоками световых лучей свидетельствует о неполном поглощении сажей лучей, отклоненных на  $\mathcal{E}_1$ , и их последующем поглощении сажей экранов  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$  после отклонения и падения на края этих экранов.

На рис. 2,б кривая 1 характеризует распределение  $J$  в дифракционной картине от  $Щ_1$  после удаления сажи с  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ . Согласно ей с прекращением поглощения остаточных лучей, сначала отклоненных на  $\mathcal{E}_1$  и отраженных от его края из-за неполного поглощения сажей, а затем отклоненных на  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$  и отраженных от их краев, в области тени  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$  появился значительный свет и усилилась  $J$  в дифракционной картине в пределах проекции щели.

После удаления сажи и с  $\mathcal{E}_1$  в распространяющемся от него в направлении щели краевом потоке значительно увеличилась интенсивность лучей, отклоняемых на экран и отражающихся от его края, что видно по увеличению общей величины  $J$  краевого света (рис. 2,в).

В результате этого увеличилась интенсивность лучей, отклоняющихся на  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$  и отражающихся от них, вызвав еще более значительное увеличение освещенности в области тени экранов (см. рис. 2,в). Одновременно увеличилась интенсивность света в пределах проекции щели, дифракционные полосы стали упорядоченными.

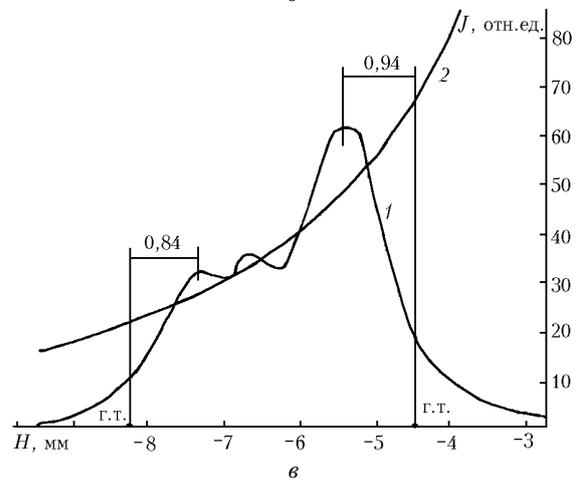
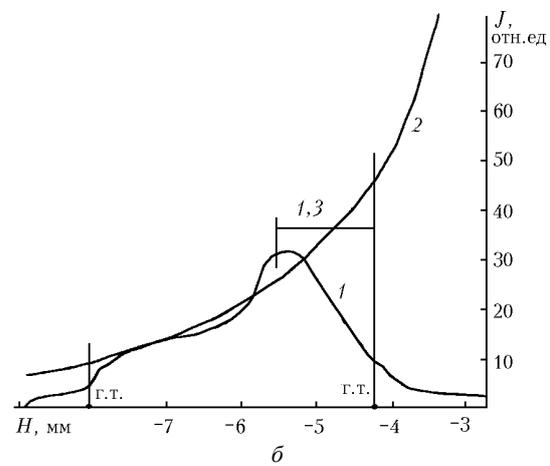
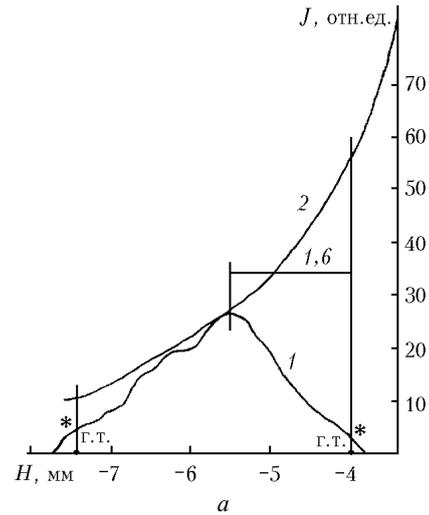


Рис. 2. Распределение интенсивности света в краевой волне, распространяющейся в направлении, противоположном тени экрана, и в образуемой ею дифракционной картине от щели: а – при покрытых сажей дифрагирующем экране и экранах щели; б – при удалении сажи с экранов щели; в – в случае чистых  $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$

Как видно, отклонение в зонах  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$  световых лучей, отклоненных от  $\mathcal{E}_1$ , только в сторону центра щели и отклонение в тень экранов  $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$  только лучей, отклоненных на  $\mathcal{E}_1$ , подтверждает сделанный в первой части

работы вывод об отклонении световых лучей в зонах отклонения последующих экранов после пути  $x < 4,5$  мм в том же направлении, в каком они были отклонены в зоне отклонения первого экрана.

В случае, соответствующем рис. 2,а, сильно отклоненные в зоне  $\mathcal{E}_3$  лучи 1 интерферируют с лучами 2, отклоняемыми в слабой части зоны отклонения  $\mathcal{E}_3$ , создавая дифракционную картину от  $\mathcal{E}_3$ . Сильно отклоненные в зоне  $\mathcal{E}_2$  лучи 3 интерферируют с лучами 4, отклоненными в слабой части зоны отклонения  $\mathcal{E}_2$ , создавая дифракционную картину от  $\mathcal{E}_2$ .

Так как интенсивность падающего на  $\mathcal{I}_1$  света сильно увеличивается в направлении от  $\mathcal{E}_2$  к  $\mathcal{E}_3$ , то  $J$  света в дифракционной картине от  $\mathcal{E}_3$  значительно больше ее значения в картине от  $\mathcal{E}_2$ . Вследствие наложения данных картин возникает результирующая дифракционная картина, описываемая кривой 1.

Очевидно, что степень согласованности обеих картин (совмещения  $\max$  с  $\max$ ,  $\min$  с  $\min$ ) зависит от  $x$ ,  $L$ ,  $t$ .

С появлением в интерферирующих потоках, распространяющихся из зон отклонения  $\mathcal{E}_2$ ,  $\mathcal{E}_3$ , лучей, отклоняемых в сторону экранов, и увеличением их доли главный  $\max$  (первый  $\max$  в дифракционной картине от  $\mathcal{E}_3$ ) постепенно смещается к г.т. Это свидетельствует об изменении фазовых соотношений в образующем дифракционную картину световом потоке.

Когда все экраны без сажи, расстояние от главного  $\max$  до г.т. (0,94 мм) равно расстоянию, рассчитанному по [4, формула (3)] при начальной разности хода между интерферирующими лучами  $0,5\lambda/2$ .

Из-за отклонения почти всех лучей в зонах  $\mathcal{E}_2$ ,  $\mathcal{E}_3$  в направлении от экранов интенсивность света на рис. 2,а у г.т. на начальных участках проекций зон отклонения имеет малую величину. При появлении в световом потоке от  $\mathcal{I}_1$  (после удаления с экранов сажи) лучей, отклоняемых на экраны, она увеличивается до значений, сравнимых с  $J$  краевого света в соответствующих точках без  $\mathcal{I}_1$ .

1. Терентьев Ю.И. // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. № 12. С. 1093–1097.
2. Терентьев Ю.И. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. № 4. С. 510–520.
3. Терентьев Ю.И. // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. № 12. С. 1269–1273.
4. Терентьев Ю.И. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 11. С. 1141–1146.
5. Терентьев Ю.И. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 3. С. 314–323.
6. Терентьев Ю.И. // Оптика атмосферы и океана. 1999. Т. 12. № 5. С. 411–413.
7. Терентьев Ю.И. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 11. С. 1147–1153.

*Yu.I. Terent'ev. Peculiarities of light scattering in the region of edge of thin nontransparent screen. Part II.*

It is found experimentally that light rays reflected from the edge of thin nontransparent screen in the direction opposite to its shadow, when passing a slit located at 3 mm distance from the screen, are reflected in the region of the slit's edges (screens) only in the direction opposite to the screens' shadow.