

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]:

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

где h_3 – расстояние до экрана, мкм, с которого отклоняется луч; ϵ – 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 π [4].

Испытав сдвиг фазы на $-0,5\pi$ при отклонении на экран и на π 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 ϵ [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 $\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$.

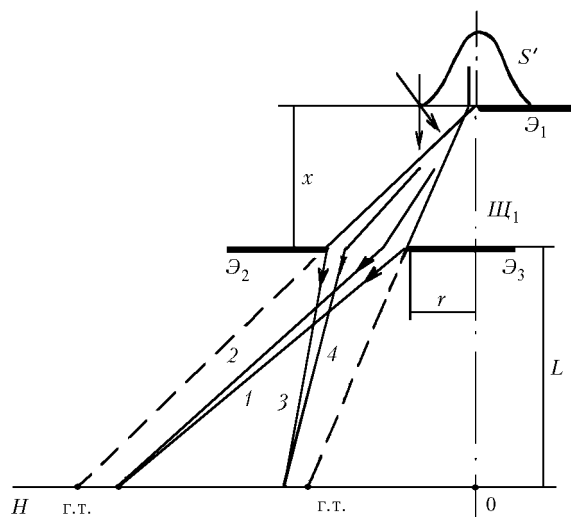


Рис. 1. Схема исследования дифракции краевого света, распространяющегося из области края тонкого непрозрачного экрана в направлении, противоположном его тени, на щели

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.

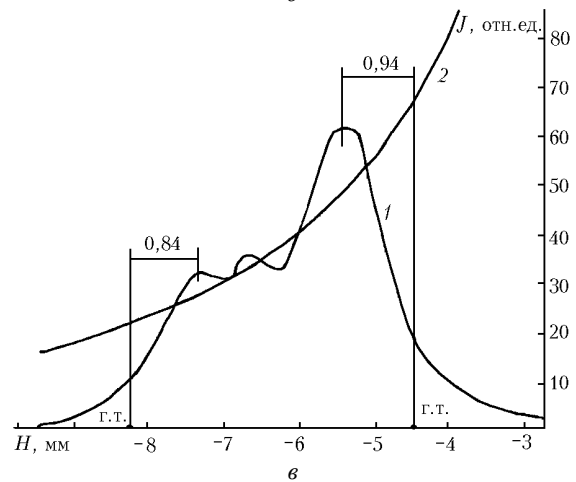
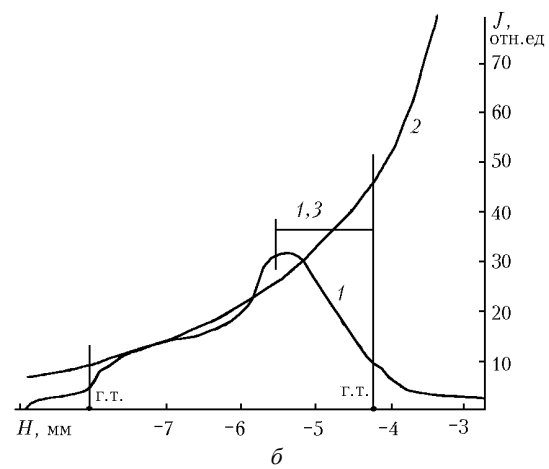
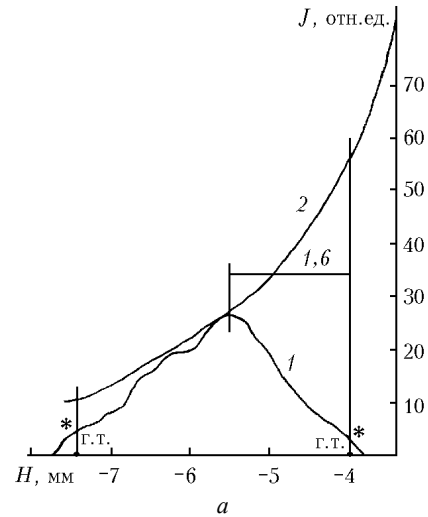


Рис. 2. Распределение интенсивности света в краевой волне, распространяющейся в направлении, противоположном тени экрана, и в образуемой ею дифракционной картине от щели: а – при покрытых сажей дифрагирующем экране и экранах щели; б – при удалении сажи с экранов щели; в – в случае чистых $\mathcal{E}_1,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

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{C}_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{C}_1 (после удаления с экранов сажи) лучей, отклоняемых на экраны, она увеличивается до значений, сравнимых с J краевого света в соответствующих точках без \mathcal{C}_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.