

Ю.И. Терентьев

Ослабление дифракции света при близких к единице значениях относительного показателя преломления. Ч. I

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 16.08.2006 г.

Установлено значительное ослабление дифракции света на экране при близких к единице значениях относительного показателя преломления в случае использования в качестве экрана пластинок из оптических цветных стекол ИКСЗ, СС8, находящихся в кювете с диметилфталатом либо раствором диметилфталата в бензиловом спирте.

Как известно, в теориях дифракции, основанных на идее вторичных волн, экран играет пассивную роль: лишь прикрывает часть волнового фронта [1]. В действительности характер возникающей при этом дифракционной картины зависит от различных факторов, характеризующих экран.

В частности, в [2] осуществлены усиление в несколько раз интенсивности краевой волны и соответствующее изменение интенсивности света в полосах дифракционной картины при замене тонкого экрана (лезвия бритвы) толстым, имеющим плоскую грань (шириной в несколько мм), параллельную проходящему свету.

В работе [3] экспериментально установлены значительное ослабление интенсивности света в максимумах и ее усиление в минимумах дифракционной картины от практически непрозрачного экрана в случае уменьшения его толщины до $5,4 \cdot 10^{-2}$ мкм или плотности вещества экрана до малых значений.

В настоящей статье рассматриваются результаты экспериментов по значительному ослаблению дифракции на экранах, находящихся в жидкости.

Эксперименты проводились по схеме, показанной на рис. 1, где S' – изображение щели S ; \mathcal{E} – толстый экран, расположенный на расстояниях $l = 12,85 \div 14,1$ мм, $L = 110$ мм соответственно от S' и плоскости сканирования дифракционной картины; \mathcal{K} – сканирующая щель шириной 50 мкм; ФЭУ – фотоэлектронный умножитель; 1 – лучи падающего света; 2 – краевые лучи, возникающие вследствие отклонения падающих лучей по обе стороны первоначального направления в жидкости или воздухе в области у ребра a [4, 5]; $-H$ – расстояния до максимумов и минимумов дифракционной картины, возникающей вследствие интерференции падающих и краевых лучей, от границы геометрической тени (г.т.); H – расстояния от г.т. до точек падения краевых лучей в области тени; K – кювета шириной 12 мм с прозрачными окнами из оптического стекла толщиной 1,5 мм и установленным в ней экраном на расстоянии 4,4 мм от входного окна гранью ab перпендикулярно ему.

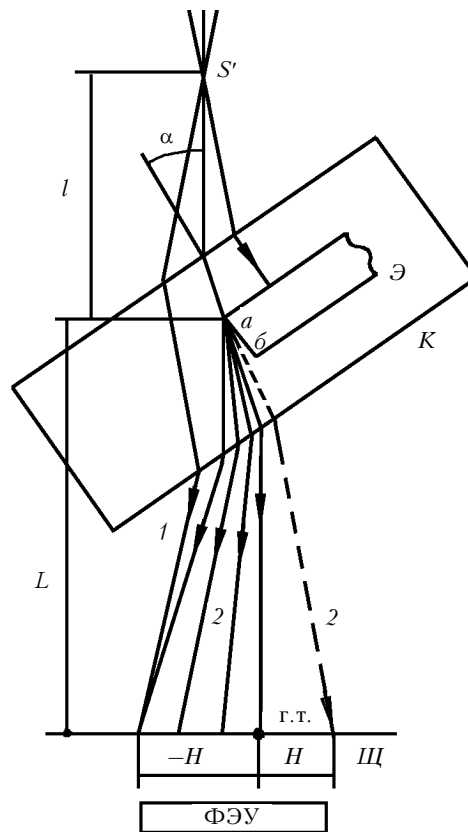


Рис. 1. Схема дифракции светового пучка на экране, находящемся в воздухе либо жидкости

Не показанная на рис. 1 щель S освещается параллельным пучком зеленого света ($\lambda = 0,53$ мкм), сформированным из излучения лампы накаливания. Изображение S' создается объективом «Юпитер-8», ширина S и S' равна 23 мкм. Световой пучок ограничен установленной перед объективом щелью шириной 5,6 мм по \min_2 дифракционной картины от S . Вследствие малой интенсивности света в \min_2 при выведенном из пучка экране распределение интенсивности по его ширине в плоскости щели \mathcal{K}

близко к ее распределению в дифракционной картине от S .

Для получения наибольшей интенсивности краевых лучей экран ребром a установлен на ось пучка по ослаблению распространяющегося от S' светового потока до половины. В качестве экрана использовались пластинки ИКСЗ, СС8 из набора цветных оптических стекол с полированными гранями (ширина грани ab равна 3 мм), прямыми углами a, b , показателями поглощения K_λ , равными соответственно 6 и 0,711 для света вышеуказанной λ , и показателями преломления n_3 , равными у ИКСЗ 1,5437, СС8 – 1,5227.

Кювета развернута относительно ребра a на угол $\alpha = 19^\circ$ между нормалью к ней и осью пучка в сторону ухода грани ab от оси пучка для исследования дифракционных картин в классических условиях дифракции света на тонком экране, так как на основании [2] при повороте толстого экрана относительно переднего ребра в сторону ухода плоской грани ab от направления падающего света на углы больше 11° толстый экран становится практически эквивалентным тонкому (лезвию бритвы).

В процессе исследования сканировались дифракционные картины от пластинок ИКСЗ, СС8, находящихся в воздухе и диметилфталате, имеющем $n_3 = 1,5205$, от пластинки ИКСЗ, помещенной в раствор диметилфталата в бензиловом спирте ($n_3 = 1,5451$).

Непрозрачная при толщине 3 мм пластинка ИКСЗ частично прозрачна вблизи ребра a . (При данном α преломляющийся в пластинку из диметилфталата на расстоянии 53 мкм от ребра луч ослабляется всего в 31,6 раза). Чтобы исключить наложение преломленного света на дифракционные полосы, пластинки в рассматриваемых экспериментах являлись оптически более плотными средами по сравнению с жидкостью в кювете. В этом случае преломленный пластинкой свет распространялся вправо от оси падающего пучка, проходящей через ребро a , накладываясь на краевой свет в области геометрической тени экрана.

Результаты исследования представлены в таблице и на рис. 2, где I_n – интенсивность света в максимумах и минимумах дифракционной картины, а также на границе геометрической тени; I_c – соответствующая ей интенсивность без экрана в пучке; I – интенсивность света в относительных единицах в плоскости сканирования; кривые 1, 2 характеризуют распределение интенсивности соответственно с экраном и без экрана в пучке.

Как видно из таблицы, помещение пластинки ИКСЗ в диметилфталат вызывает уменьшение контрастности дифракционных полос, заключающееся в уменьшении относительной интенсивности света I_n/I_c в максимумах и ее увеличение в минимумах. В случае последующего уменьшения относительного показателя преломления $n_{отн}$ посредством растворения в диметилфталате бензилового спирта контрастность полос, постепенно снижаясь, становится наименьшей при $n_{отн} = 1,0054$, значительно отличаясь от контрастности картины, когда пластинка находится в воздухе, что наглядно демонстрируется рис. 2.

В связи со снижением контрастности дифракционной картины при уменьшении $n_{отн}$, казалось бы, следовало ожидать, что она будет наименьшей при $n_{отн} = 1$, но этого не происходит. При $n_{отн} = 1,0043$ дифракционная картина оказывается более контрастной, чем при $n_{отн} = 1,0054$, и контрастность продолжает улучшаться с последующим уменьшением $n_{отн}$.

Такая особенность, по-видимому, является следствием существования в пластинке у границы раздела сред переходного слоя с градиентом показателя преломления. Помимо рассмотренных в [6] причин, его возникновение можно объяснить на основании [7, 8] возможным изменением концентрации красителя у поверхности цветных стекол, очевидно, зависящим от подвижности молекул красителя.

Относительная интенсивность света в дифракционных картинах от пластинок ИКСЗ, СС8 при различных значениях относительного показателя преломления

Полоса	ИКСЗ				СС8	
	в диметилфталате; $n_{отн} = 1,0152$; $l = 13,1$ мм	в воздухе; $l = 14,1$ мм	в растворе диметилфт. в бензил. спирте; $n_{отн} = 1,0054$; $l = 13,1$ мм	в растворе диметилфт. в бензил. спирте; $n_{отн} = 1,0048$; $l = 13,1$ мм	в воздухе; $l = 14,1$ мм	в диметилфт.; $n_{отн} = 1,0047$; $l = 12,85$ мм
I_n/I_c						
max ₁	1,333	1,37	1,219	1,272	1,349	1,283
min ₁	0,783	0,742	0,881	0,829	0,745	0,807
max ₂	1,238	1,324	1,136	1,128	1,336	1,161
min ₂	0,764	0,783	0,919	0,912	0,769	0,864
max ₃	1,202	1,218	1,088	1,066	1,254	1,155
min ₃	0,809	0,773	0,931	0,917	0,749	0,864
max ₄	1,218	1,311	1,051	1,056	1,347	1,112
min ₄	0,698	0,718	0,947	0,908	0,735	0,852
max ₅	1,216	1,25	1,094	1,103	1,404	1,197
min ₅	0,882	0,819	–	–	0,83	0,824
г.т.	0,235	0,235	0,497	0,312	0,275	0,344

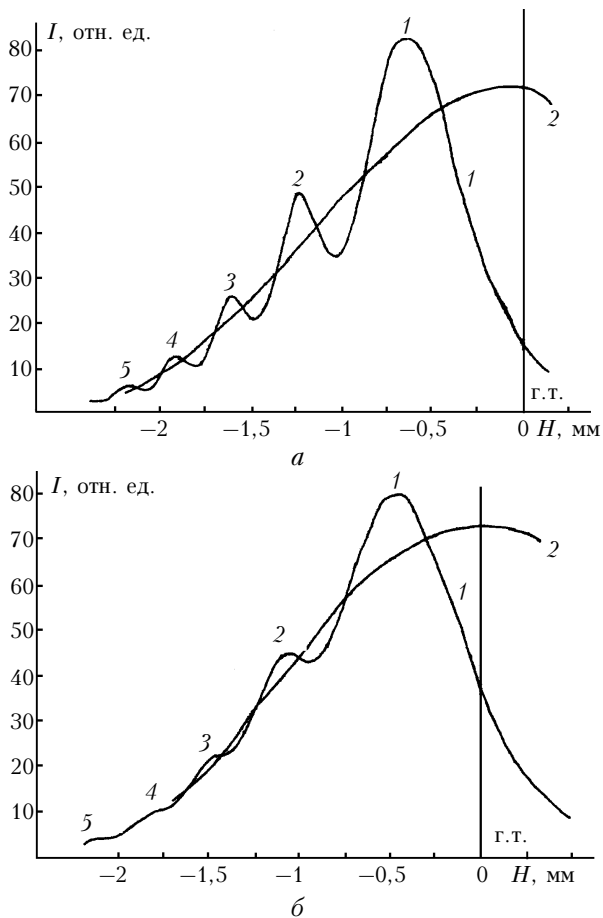


Рис. 2. Дифракционные картины от пластинки ИКСЗ: а – пластинка в воздухе; б – в растворе диметилфталата в бензиловом спирте при $n_{\text{отн}} = 1,0054$

Исходя из реальности существования переходного слоя, можно сделать вывод, что наименьшая контрастность дифракционных полос, имеющая место при $n_{\text{отн}} = 1,0054$, соответствует понижению показателя преломления n в нем от значения n пластинки в толще до значения n раствора. В результате относительный показатель преломления на границе раздела $n_{\text{отн.г}}$ становится равным единице.

Данное понижение n и его небольшая величина подтверждаются усилением света на начальном участке области тени экрана в отсутствие преломления на границе раздела, являющегося следствием слабого отклонения лучей в переходном слое в сторону большего n .

Ухудшение контрастности дифракционных полос свидетельствует об уменьшении эффективности отклонения крайних лучей 2 при $n_{\text{отн}} \rightarrow 1$, так как это уменьшение вызывает сужение ширины зоны, в которой происходит отклонение лучей 2 в прежнем диапазоне углов, и соответствующее ему уменьшение светового потока отклоненных лучей.

Неполное исчезновение дифракции света при $n_{\text{отн}} = 1$ непосредственно на границе раздела, по-видимому, является следствием воздействия на отклоняемые лучи атомов вещества экрана, находящихся не только на границе раздела, но и в слое некото-

рой толщины, для которых $n_{\text{отн}}$ не равен единице из-за существования переходного слоя. Исходя из этого, экраны с наименьшим Δn в переходном слое должны вызывать наибольшее ослабление дифракции при $n_{\text{отн.г}} = 1$.

В случае уменьшения $n_{\text{отн}}$ от 1,0054 до величины 1,0009, соответствующей наличию в кювете чистого бензилового спирта, пластинка на границе раздела становится все менее оптически плотной средой. Вследствие увеличения разницы ($n_{\text{отн.г}} - 1$), ослабление эффективности отклонения крайних лучей 2 сменяется ее усилением, приводящим уже при $n_{\text{отн}} = 1,0048$ к усилению контрастности дифракционной картины. Возникающее при этом преломление уменьшает результат отклонения лучей в переходном слое, вызывая уменьшение интенсивности света в области тени экрана. Следовательно, наибольшая интенсивность света на границе геометрической тени является признаком отсутствия преломления на границе раздела и равенства на ней $n_{\text{отн}}$ единице.

При дальнейшем увеличении n жидкости путем растворения в бензиловом спирте α -бромнафталина ($n_D = 1,6582$) усиливающееся преломление преодолевает влияние переходного слоя, вынуждая преломляемые лучи распространяться в пределы дифракционной картины.

В случае небольшого значения $n_{\text{отн}}$ часть этих лучей имеет относительно лучей 2 разность хода $\Delta \ll 0,5\lambda$ и, следовательно, интерферируя с лучами 1, резко усиливает контрастность дифракционной картины. При последующем увеличении n жидкости из-за роста углов преломления преломляемые лучи постепенно выходят за пределы распространения лучей 1 и перестают влиять на контрастность образуемой лучами 1, 2 дифракционной картины. Как следствие, она уменьшается, но остается высокой из-за $n_{\text{отн.г}}$, ставшего больше единицы.

Обнаруженное ослабление дифракции света не связано каким-либо образом с частичной прозрачностью пластинки ИКСЗ в окрестностях ребра а, так как оно происходит в условиях распространения преломленных из оптически более плотной пластинки лучей в противоположном от дифракционной картины направлении и наиболее сильно в отсутствие преломления.

На это указывает также значительное ослабление дифракционной картины от находящейся в диметилфталате пластинки из стекла СС8, имеющей небольшой K_λ по сравнению с его значением у пластинки ИКСЗ.

Приведенные факты ослабления дифракции света являются еще одним свидетельством фиктивности вторичных волн Френеля и указывают путь повышения разрешающей способности оптических приборов.

1. Френель О. Избранные труды по оптике / Пер. с фр. Г.С. Ландсберга. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1955. 500 с.
2. Терентьев Ю.И. О возможности изменения относительной интенсивности полос дифракционной картины

- света от экрана // Оптика атмосф. 1991. Т. 4. № 5. С. 462–467.
3. Терентьев Ю.И. Особенности дифракции света на экране с прямолинейным краем при малых значениях толщины, плотности вещества экрана // Оптика атмосф. и океана. 2003. Т. 16. № 4. С. 311–315.
 4. 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. № 4. С. 510–520.
 5. Терентьев Ю.И. Характер зависимости углов дифракции краевого света от расстояния между их первоначальными траекториями и прямолинейным краем тонкого экрана // Оптика атмосф. и океана. 1998. Т. 11. № 12. С. 1269–1273.
 6. Кизель В.А. Отражение света. М.: Наука, 1973. 351 с.
 7. Терентьев Ю.И. О нарушении справедливости формул Френеля в случае преломления света из оптически менее плотных слабо поглощающих сред // Изв. вузов СССР. Сер. Физ. 1982. № 3. С. 103–104.
 8. Терентьев Ю.И. О некоторых особенностях отражения света в оптически менее плотных средах на границе раздела однородных сред // III Всесоюз. совещ. по атмосф. оптике и актинометрии: Тезисы докл. Томск: ИОА СО АН СССР, 1983. Ч. II. С. 128–130.

Yu.I. Terentyev. Attenuation of light diffraction at the relative index of refraction close to unit.
Part I.

A significant attenuation of light diffraction at a screen at the relative index of refraction close to unit has been found in the case of the use of IKS3 and SS8 colored glass plates as the screen, when the plates are located in a cell filled with dimethyl phthalate or solution of the benzyl alcohol.