

Ю.И. Терентьев

ЭФФЕКТ ОБРАЗОВАНИЯ АНОМАЛЬНОГО СВЕТОВОГО ПУЧКА В УСЛОВИЯХ ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА

В работе рассматривается эффект образования аномального светового пучка при падении света под предельным углом на границу стекла с воздухом вблизи оптического контакта двух плоскопараллельных, последовательно расположенных, пластинок из оптических стекол с различными показателями преломления.

В ранее выполненных работах [1, 2] по преломлению скользящего света было установлено существование в оптически менее плотных однородных средах зоны, отклоняющей световые лучи в сторону более плотной среды (дисперсионной зоны). На основе этого в работе [3] объяснены основные явления полного внутреннего отражения и обнаружен эффект образования аномального пучка при отражении света в области границы раздела жидкости и пластинок оптических стекол.

Вообще говоря, отклонение скользящих лучей в средах с большой плотностью можно объяснить возможным возникновением в менее плотной среде градиента показателя преломления. Поэтому представляет интерес повторение экспериментов работы [3] при отражении света в области контакта более плотной среды с воздухом.

Схема экспериментов приведена на рис. 1. Здесь на плоскую поверхность БС, образованную гранями пластинок из оптических стекол К8 и ПС14, падает пучок зеленого света с длиной волны $\lambda = 0,53$ мкм под предельным углом $\varphi_1 = 41^\circ 10'$ для осевых лучей. Пучок формируется на основании схемы, приведенной на рис. 2 в работе [1]. Изображение S' щели S шириной 30 мкм совмещено с ребром A , когда через него проходит ось пучка. Ширина S' , соответствующая 0,974 полного потока, равна 32 мкм. Угловая полуширина пучка равна $1,4^\circ$ в воздухе и $0,93^\circ$ в пластинке. Вертикальная ось S' параллельна ребру A . Ширина пластинок — 3 мм, высота — 4 мм. Срезы на них перпендикулярны осям падающего и отраженного пучков. Показатели преломления пластинок для зеленого света n_1 и n_2 равны соответственно 1,51927 и 1,4821, т.е. пластинка К8 — оптически более плотная среда в сравнении с ПС14. Пластины склеены пихтовым бальзамом ($n_D = 1,52$). Толщина шва — 2 мкм. Поверхность БС полировалась после склейки с предварительной шлифовкой. Вследствие ограничения падающего пучка интенсивность света по ширине S' характеризуется распределением типа гауссовского. При регистрации света, выходящего из левого среза, фотоумножитель удален на 128 мм от него и может перемещаться перпендикулярно отраженному пучку (ОП) по оси H . В случае измерения интенсивностей на вход ФЭУ устанавливалась щель шириной 0,5 мм. Из-за слабого поглощения пластинкой ПС14 световые лучи ослабляются в 1,7 раза на пути 3,9 мм от A до среза.

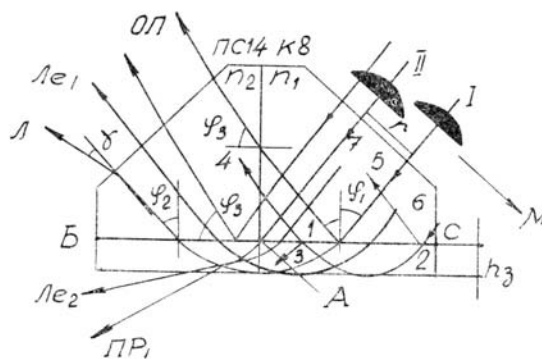


Рис. 1. Схема наблюдения аномального пучка в условиях полного внутреннего отражения

Если перемещать пластинки вправо по оси μ , перпендикулярной падающему пучку, с расстояния от S' до ребра A , большего ширины S' , то через некоторое время начинает ослабляться отраженный пучок и из ПС14 появляется второй пучок света L , распространяющийся под углом $\alpha = 4,5^\circ$ относительно отраженного пучка и под углом $\varphi_2 = 42,5^\circ$ относительно нормали к грани AB . Последний равен углу преломления скользящих лучей из воздуха в ПС14 в условиях, когда пластинка К8 отсутствует, а пластинка ПС14 развернута относительно ребра A до параллельности грани AB оси пучка. Эти факты свидетельствуют в пользу существования в воздухе дисперсионной зоны и показывают, что лучи падающего пучка частично проникают из К8 в воздух под углами, меньшими 90° , где откло-

няются зоной в скользящее положение, а из него — на грань AC либо AB . Как легко понять, падению лучей под предельным углом соответствует их отклонение в скользящее положение на границе (вершине) зоны. Свет, падающий под меньшими углами, не успевает стать скользящим за время отклонения в зоне и покидает ее под углами преломления. При углах, больших предельного, из-за уменьшения нормальной составляющей скорости, световые лучи переходят в скользящее положение на расстояниях, меньших глубины зоны, т.е. с ростом угла падения уменьшается глубина проникновения света в воздух. Лучи, ставшие скользящими на уровне склейки вблизи вершины зоны, где небольшой градиент эффективности отклонения, отклоняются в зоне ПС14 на ее грань при небольшом разбросе углов падения и после преломления образуют L . Значение a определяется формулой $\sin \alpha = n_2 \sin(\varphi_2 + \varphi_3 - 90^\circ)$. В процессе дальнейшего перемещения пластинок преломленный пучок постепенно усиливается, затем ослабляется до нуля. Очевидно, поток преломленных лучей достигает максимального значения $\Phi_{л.макс}$ в тот момент, когда наиболее интенсивные осевые лучи после перехода в воздух становятся скользящими па входе в зону ПС14 (положение 1).

Как показали опыты по преломлению скользящих лучей из воздуха, $\Phi_{л}$ и интенсивность $I_{л}$ имеют наибольшую величину при удалении оси скользящего пучка на $h_3 = 4,7$ мкм от преломляющей грани. Следовательно, в момент максимальной интенсивности L осевые лучи из К8 становятся скользящими на расстоянии h_3 от БС.

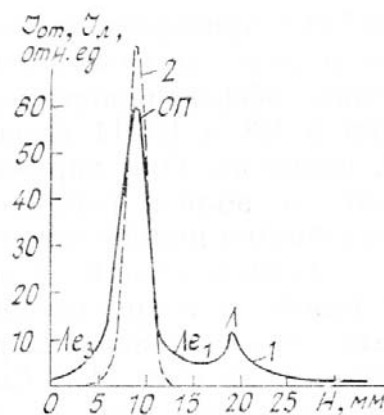


Рис.2. Распределение интенсивности света по ширине отраженного и аномального пучков

Преломленный и отраженный пучки во время $\Phi_{л.макс}$ характеризуются рис. 2. Где кривая 1 описывает распределение интенсивности по их ширине в плоскости ФЭУ. Для сравнения приведено распределение интенсивности (уменьшенной в 2 раза) в невозмущенном отраженном пучке, когда лучи падают на грань AC вдали от ребра A (кривая 2).

Лучи, не перешедшие в воздух, (1) отражаются в пределах пластинки. Лучи, входящие в зону далеко от ребра A , (2) отклоняются в ней обратно на грань AC , частично возвращаясь в пластинку под углами отражения (4). В результате нарушения полного внутреннего отражения на грани AB , из-за меньшего значения n_2 в сравнении с n_1 , с началом входа пучка в пластинку ПС14 появляется преломленный пучок ПР₁. Его поток увеличивается до половины максимальной величины в положении II, когда ось пучка проходит через ребро A . Поскольку в положении I осевой луч переходит в воздух, расстояние между первым и вторым положениями падающего пучка r равно половине смещения R лучей, отражаемых благодаря их отклонению зоной (4). Согласно измерениям, $r = 8$ мкм. Тогда длина пути предельного луча в зоне до места возврата в К8 $l_0 \approx 2r/\cos \varphi_1 = 21$ мкм.

Отраженные лучи (3) отклоняются зоной повторно на грань, где снова частично преломляются и отражаются. В результате повторных падений и отражений свет, постепенно слабея, распространяется по арочным траекториям к пластинке ПС14 и там преломляется в нее.

Так как лучи (4), возвратившиеся в К8 при первом падении на грань из воздуха, смещены влево на R относительно соответствующих им лучей (5), отражающихся в пластинке, происходит сдвиг центра отраженного пучка, принимаемый за его смещение относительно падающего. Свет, возвращающийся в К8 при последующих падениях лучей на грань, образует так называемую *lateral* волну [4]. Благодаря движению лучей по арочным траекториям, L появляется при удалении правого края S' от A на расстояние, в несколько раз большее ширины S' .

Наибольшее значение $I_{л.макс}$ в 2, 3 раза меньше ее величины в упомянутых выше опытах без К8. Следовательно, поток лучей, проникающих в пределы дисперсионной зоны из К8, равен примерно $1/2$, $3 = 0,44$ падающего потока. Как показали эксперименты, эффективность отклонения лучей зоной падает не только от грани к ее вершине, но и от ребер вдоль грани, т.е. наиболее сильная часть зоны локализована в области ребра пластинки. Установлено также, что зона отклонения лучей существует и в оптически более плотной среде. Ее глубина примерно равна глубине дисперсионной зоны, по в отличие от последней она отклоняет лучи от границы раздела. Вследствие увеличения эффек-

тивности отклонения лучей в области ребра A в зонах шва в К8 и ПС14 происходит рассеяние отраженных лучей па углы, большие φ_3 . Оно характеризуется крылом Le_3 на рис. 2. По этой же причине вблизи ребра A усиливается преломление лучей из ПС14, и нарушается полное внутреннее отражение в К8.

Лучи, входящие в зону ПС14 близко к ребру A , (6) отклоняются в условиях возрастающей эффективности зоны по мере уменьшения расстояния до него. В результате этого между L и OP наблюдается рассеянный свет Le_1 . Согласно рис. 2 $\Phi_{ле1}$ меньше $\Phi_л$. Следовательно, представления об экспоненциальном затухании световой энергии во второй среде в направлении от границы раздела противоречат опыту. Лучи (7), не успевающие отклониться до скользящего положения в зонах К8 и ПС14, рассеиваются в области, заключенной между гранью AB и $PP_1(Le_2)$.

Как видно, непротиворечивое объяснение данных эксперимента указывает на существование дисперсионной зоны и в воздухе. Вследствие отклонения проходящих в ней лучей данная зона должна являться источником дополнительного ослабления света аэрозолем.

1. Терентьев Ю.И. — Известия вузов СССР, Физика, 1977, № 8, с. 49.
2. Терентьев Ю.И. — Тез. докл. VII Всесоюзного симпозиума по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. Томск: ИОА СО АН СССР. 1982, ч. II, с. 103.
3. Терентьев Ю.И. — Матер. VIII Всесоюзного симпозиума по распространению лазерного излучения в атмосфере. Томск: ТФ СО АН СССР. 1986, ч. 1, с. 230.
4. Osterberg H., Smith L.W. — J. Opt. Soc. Amer., 1964, v. 54, № 9, p. 1073.

Институт оптики атмосферы
СО АН СССР, г. Томск

Поступило в редакцию
2 октября 1987 г

Yu. I. Terent'ev. The effect of anomalous light beam formation under conditions of total internal light scattering.

The paper considers the effect of anomalous light beam formation with the light incident at critical angle on the glass-air boundary near the optical contact of two plane-parallel successively located plates of optical glasses with different refractive indices.