

## САМОФОКУСИРОВКА СВЕТА ПРИ ЭФФЕКТЕ КЕРРА

*А.А. Чабан*

Самофокусировка света в жидкости может происходить через механизм эффекта Керра [1]. Мощность светового потока для порога самофокусировки различна для света поляризованного линейно и по кругу (в световом канале); во втором случае она в четыре раза выше [2]. Ниже будет обсужден вопрос о самофокусировке эллиптически поляризованного света (в частности, и случай круговой поляризации). При определенных условиях для такого света будут образовываться световые каналы не с эллиптической, а с линейной поляризацией. Это, в частности, снижает порог самофокусировки для случая круговой поляризации в два раза по сравнению с полученным в [2]. Рассмотренный вопрос имеет прямое отношение к проблеме расслоения лазерного пучка [3] при эллиптической поляризации света как в жидкости, так и в твердом теле, где более сильным механизмом самофокусировки является электрострикция.

Тензор диэлектрической проницаемости в электрическом поле имеет вид [2, 4]:

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_0 + 3a E_i E_j - a \delta_{ij} \cdot \sum_k E_k^2. \quad (1)$$

Пусть вдоль оси  $x$  распространяется эллиптически поляризованный свет:

$$E_y = E_1 \cos(\omega t - kx); \quad E_z = E_2 \cos\left(\omega t - kx \pm \frac{\pi}{2}\right).$$

Тогда вклад в  $\epsilon_{ij}$  дадут лишь усредненные по времени члены  $E_i E_j$ . Получаем

$$\epsilon_{xx} = \epsilon_0 - \frac{a}{2} (E_1^2 + E_2^2), \quad \epsilon_{yy} = \epsilon_0 + aE_1^2 - \frac{a}{2} E_2^2, \quad (2)$$

$$\epsilon_{zz} = \epsilon_0 - \frac{a}{2} E_1^2 + aE_2^2.$$

Все остальные компоненты  $\epsilon_{ij}$  равны нулю.

Покажем, что при выполнении условия:

$$E_2 > \sqrt{2} E_1 \quad (3)$$

возможно образование канала только с линейной поляризацией света в нем. Для этого рассмотрим динамику прорезания канала. Пусть интен-

сивность пучка в некоторой области превышает среднюю. Тогда величина  $\epsilon_{zz}$  в этой области больше, чем в остальном пространстве, а величина  $\epsilon_{yy}$  — меньше. Это приведет к захвату лучей, поляризованных вдоль оси  $z$  ( $z$ -лучей), и уходу части лучей, поляризованных вдоль оси  $y$  ( $y$ -лучей), из рассматриваемой области. Но как увеличение  $E_2$ , так и уменьшение  $E_1$  ведут к дальнейшему росту  $\epsilon_{zz}$  и убыванию  $\epsilon_{yy}$  (см. (2)). Таким образом, при выполнении условия (3) будет образовываться канал для  $z$ -лучей, из которого  $y$ -лучи будут выводиться. В свою очередь  $y$ -лучи, если их мощность достаточна для образования канала, самофокусируются в геометрически независимый канал с  $y$ -поляризацией. (Образование двухслойной цилиндрической области, содержащей внутри самофокусированные  $z$ -лучи, а в наружном слое самофокусированные  $y$ -лучи в этом случае даже при очень большой интенсивности света кажется нам маловероятным. По-видимому, некоторая флуктуация приведет к образованию геометрически независимого канала для  $y$ -лучей). Отметим, что в действительности условие (3) для падающего света является слишком жестким. Если даже вначале  $y$ - и  $z$ -лучи могут фокусироваться вместе, то различие в диаметре каналов самофокусировки из-за различия величин  $\epsilon_{yy}$  и  $\epsilon_{zz}$  приведет к тому, что внутри канала для  $z$ -лучей с некоторого момента может выполняться условие (3) и  $y$ -лучи будут выводиться из канала  $z$ -лучей. Некоторая флуктуация приведет к образованию геометрически независимого канала и для  $y$ -лучей, если их интенсивность достаточно велика. (Вообще говоря, при большой мощности светового пучка вполне вероятно возникновение двухслойной цилиндрической области, содержащей внутри  $z$ -лучи, а в наружном слое  $y$ -лучи, если вначале  $y$ - и  $z$ -лучи фокусируются вместе).

Рассмотрим теперь случай круговой поляризации падающего света. Пусть мощность светового потока меньше, чем пороговая для образования канала с круговой поляризацией; но амплитуду  $E_1 = E_2$  предполагаем достаточно большой для того, чтобы линейно поляризованный свет с амплитудой  $E_1$  мог самофокусироваться. Покажем, что в этом случае образуются два геометрически независимых канала с линейной поляриза-

цией, т.е. порог самофокусировки уменьшается вдвое по сравнению с определенным в [2]. Действительно, хотя  $y$ - и  $z$ -лучи вместе самофокусироваться и не могут, но присутствие равномерно распределенных  $z$ -лучей никоим образом не мешает началу самофокусировки  $y$ -лучей. Наоборот, уменьшение интенсивности  $z$ -лучей в области самофокусировки  $y$ -лучей (вследствие того, что с увеличением  $E_1$  по (2) уменьшается  $\epsilon_{yz}$ ) будет, согласно (2), способствовать последней, увеличивая  $\epsilon_{yy}$  (вследствие уменьшения  $E_2$ ). Сразу отметим, что для рассматриваемого случая при возникновении световых каналов не существенно непостоянство плотности падающего светового потока по сечению пучка, если поляризация остается круговой, поскольку порог для образования канала с круговой поляризацией не достигнут. Только при нарушении равенства  $E_1 = E_2$  в некоторой части лазерного пучка может возникнуть центр самофокусировки. Если такого нарушения нет, то центром самофокусировки могут служить тепловые флуктуации в величине  $\epsilon_{ij}$ . Пусть в некоторой области имеет место флуктуация величины  $\epsilon_{yy}$ , так что  $d\epsilon_{yy} > 0$  (но  $d\epsilon_{zz} \leq 0$ ). Тогда в ней увеличится число  $y$ -лучей, что приведет к закреплению и увеличению флуктуации  $d\epsilon_{yy}$ , поскольку мощность  $y$ -лучей превышает пороговую для самофокусировки линейно поляризованного света. Через некоторое время в этой области уменьшится, соответственно, интенсивность  $z$ -лучей, что будет, как показано выше, способствовать самофокусировке  $y$ -лучей. Тогда при сделанных предположениях возникнет канал самофокусировки для  $y$ -лучей, из которого будут выведены  $z$ -лучи. Канал самофокусировки для  $z$ -лучей возникнет в другом месте.

Если мощность светового потока превышает пороговую для образования канала с круговой поляризацией, то в принципе такие каналы могут возникать. Но могут возникать и каналы с линейной поляризацией. Причиной их возникновения может быть нарушение равенства  $E_1 = E_2$  в некоторой области лазерного пучка. Кроме того, даже если начинается прорезание канала с круговой поляризацией, то неизбежно при этом будут иметь место сильные флуктуации величины  $\epsilon_{ij}$ . Эти флуктуации могут привести к тому, что в какой-то области при фокусировке  $y$ -лучей будет иметь место одновременная расфокусировка  $z$ -лучей. Повторяя вышеприведенные рассуждения, легко проследить, что при развитии процесса самофокусировки могут образоваться каналы с линейной поляризацией. (В принципе возможно и образование двухслойного цилиндрического канала, описанного выше.)

Таким образом, во многих случаях эллиптически поляризованный свет при самофокусировке будет образовывать каналы с линейной поляризацией. Экспериментально этот эффект можно изучить, проследив с помощью поляридов распределение интенсивности света с разной поляризацией по сечению пучка.

Интересно отметить, что поскольку при прорезании светового канала определяющая роль вначале всегда принадлежит эффекту Керра [2], то даже в твердых телах, где в установившемся канале эффект электрострикции гораздо сильнее, чем эффект Керра, последний может быть причиной

расслоения лазерного пучка. Однако в установившемся режиме поляризация внутри каналов станет уже эллиптической, а не линейной, поскольку в каждом из каналов одинаково хорошо будут удерживаться лучи обеих поляризаций после того, как электрострикция начнет играть определяющую роль.

Акустический институт  
Москва

Поступило в редакцию  
29 октября 1966 г.

### Литература

- [1] Г.А.Аскарьян. ЖЭТФ, 42, 1567, 1962; В.И.Таланов. Изв.вузов,сер.радиофизика, 7, 564, 1964; R.Y.Chiao, E.Garmire, C.H.Townes. Phys. Rev. Lett., 13, 479, 1964.
- [2] Я.Б.Зельдович, Ю.П.Райзер. Письма ЖЭТФ, 3, 137, 1966.
- [3] Н.Ф.Пилипечкий, А.Р.Рустамов. Письма ЖЭТФ, 2, 88, 1965; В.И.Беспалов, В.И.Таланов. Письма ЖЭТФ, 3, 471, 1966; Ю.П.Райзер. Письма ЖЭТФ, 4, 3, 1966; С.А.Ахманов, А.П.Сухоруков, Р.В.Хохлов. ЖЭТФ, 51, 296, 1966.
- [4] Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Электродинамика сплошных сред, М., 1957; И.Л.Фабелинский. Молекулярное рассеяние света, М., 1965.