

ДИФРАКЦИЯ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В СРЕДАХ  
С ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮИ.В. Савочкин<sup>1</sup>, А.П. Сухоруков<sup>1</sup>, А.К. Сухорукова<sup>2</sup><sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова<sup>2</sup>Российский государственный геологоразведочный университет  
savochkin@physics.msu.ru

В настоящей работе рассмотрено распространение дифрагирующего планарного пучка в средах с различными неоднородностями. Исследовано влияние как поперечной неоднородности, фокусирующей или дефокусирующей, так и продольной.

Медленно меняющаяся амплитуда параксиального пучка подчиняется параболическому уравнению дифракции в неоднородной среде [1]:

$$\frac{\partial A}{\partial z} + iD\Delta_{\perp}A = -ik_0(n(x, z) - n_0)A, \quad (1)$$

где  $A$  – амплитуда пучка света,  $k_0 = \frac{\omega}{c}$  – волновое число,  $D = \frac{1}{2k_0 n_0}$  – коэффициент дифракции. В приближении геометрической оптики из (1) можно получить дифференциальное уравнение для траекторий лучей  $x = x(z)$  в следующем виде:

$$\frac{\partial^2 x}{\partial z^2} = \frac{\partial n}{\partial x}. \quad (2)$$

На границу неоднородной среды подавался гауссов пучок с огибающей

$$A = A_0 \exp\left(-\frac{x^2}{a^2}\right), \quad (3)$$

где  $a$  – ширина пучка.

Нами были численно решены уравнения (1), (2) с различными неоднородностями  $n(x)$ . В среде с параболической неоднородностью  $n(x) = n_0(1 - x^2/a_1^2)$  профиль пучка сохраняет гауссову форму, и в зависимости от соотношения величин  $a$  и  $a_1$  пучок может расплываться или канализоваться. Аналогичный эффект наблюдается в клиновидном канале  $n(x) = n_0(1 - |x|/a_1)$ . Профиль состоит из двух плоскостей, сходящихся под острым углом. Эту особенность можно сгладить, задав неоднородность в виде (см. рис. 1)

$$n(x) = n_0\left(1 - \sqrt{x^2 + b^2}/a_1\right). \quad (4)$$

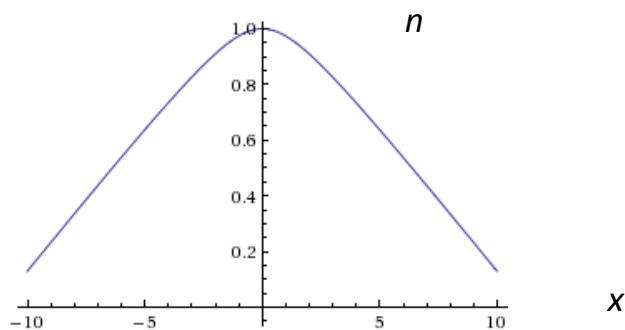


Рис. 1. Зависимость показателя преломления клиновидного канала от поперечной координаты  $x$

В последнем случае параметр  $b$  значительно меньше переменной  $a_1$ . Он введен для сглаживания вершины «крыши» неоднородности. На рисунке 2 (а) «крыша» более острая, чем на рисунке 2 (б), соответственно в первом случае наблюдается канализация пучка, а во втором – нет.

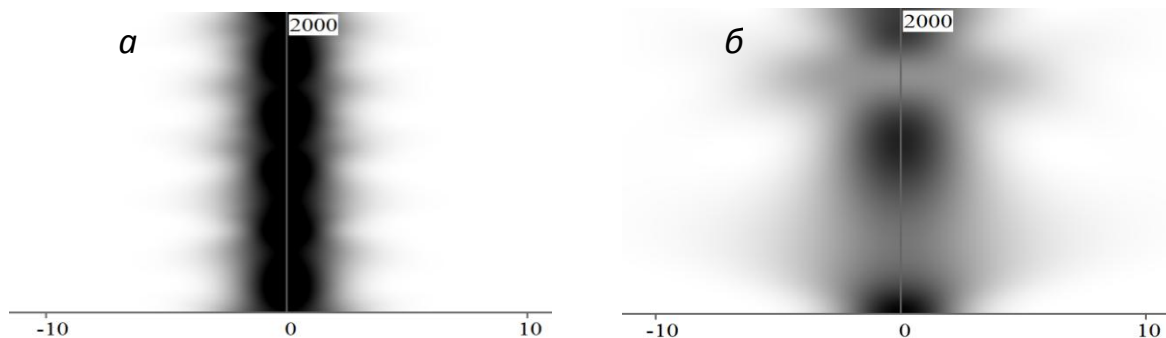


Рис. 2. Распространение пучка света в среде с неоднородностью, заданной формулой (4). а)  $a_1 = 10000$ ,  $b = 0.5$ ; б)  $a_1 = 50000$ ,  $b = 0.5$

Эффект клинообразного канала можно создать, если периодически менять наклон линейной неоднородности по следующему закону:

$$n(x) = n_0 [1 - (x/a_1) \cos(z/L)]. \quad (5)$$

Траектории лучей в такой среде описываются выражением, следующим из решения лучевого уравнения (3) с учетом (5):

$$x = x_0 \cos(z/L). \quad (6)$$

Наблюдается периодическая фокусировка пучка в результате отражений от левой и правой линейной неоднородностей.

Также нами была рассмотрена модель сплошной среды с периодической модуляцией показателя преломления в поперечном и продольном направлении. Зависимость показателя преломления от координат задавалась функцией (рис. 3):

$$n(x, z) = n_0 + \Delta n \cos\left(\frac{2\pi}{L_1}\left(x + b \sin\frac{2\pi}{L_2}z\right)\right), \quad (7)$$

где  $n_0$  – среднее значение показателя преломления в среде,  $\Delta n$  и  $b$  – амплитуды поперечной и продольной модуляции, соответственно,  $L_1$  и  $L_2$  – периоды поперечной и продольной модуляции, соответственно.

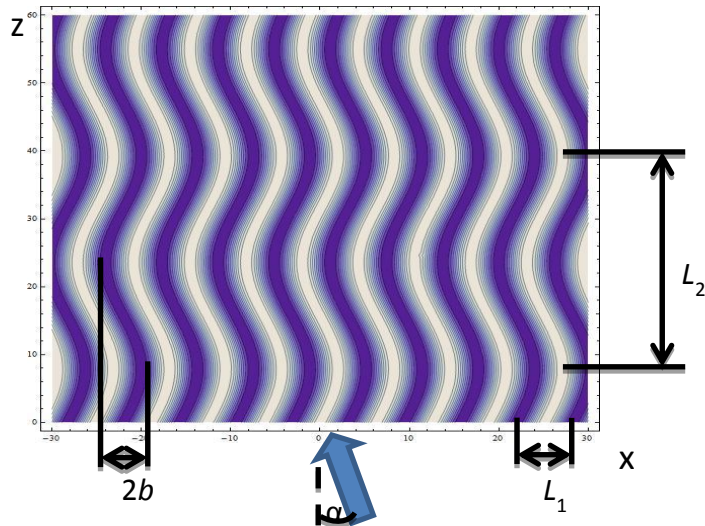


Рис. 3. Профиль показателя преломления в среде

Численное решение уравнения (1) позволило найти распределение амплитуды поля дифрагирующего пучка света в среде (рис. 4). На рисунке 4а показано распространение пучка в среде с поперечной периодической модуляцией показателя преломления. Сравнив его с рисунками 4б и 4в, видно, что при введении в такой среде продольной периодической модуляции коэффициента преломления дифракция пучка света уменьшается [2,3].

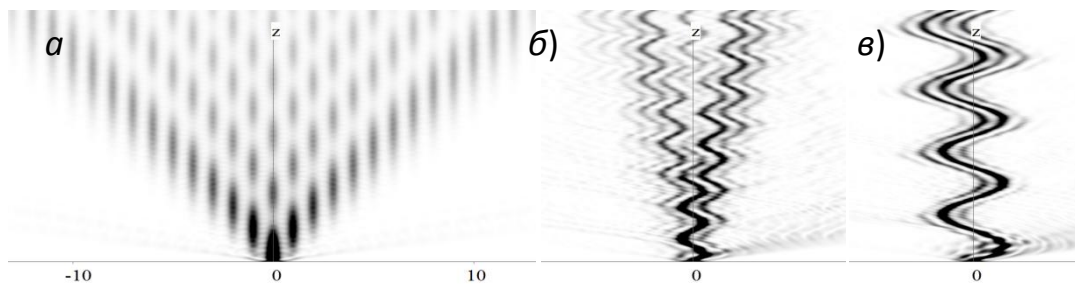


Рис. 4. Распространение пучка света в среде с периодической модуляцией показателя преломления

Меняя различные параметры среды и светового пучка, мы можем наблюдать различные эффекты. В наших численных экспериментах мы наблюдали уменьшение и даже полное подавление дискретной дифракции. Мы установили зависимость дифракции пучка света в этой среде от ее неоднородности (рис. 5), частоты излучения и угла падения светового пучка.

Аналогичный анализ был проведен для нелинейных сред, в которых коэффициент нелинейной диэлектрической проницаемости имеет пространственную модуляцию:

$$n(x, z, |A|) = n_0 + \Delta n_{nl}(x, z, |A|^2). \quad (6)$$

Таким образом, дискретная дифракция проявляется только под воздействием мощной волны накачки. Нами показано, что характер распространения пучка света в этих средах такой же, как и в средах описанных выше.

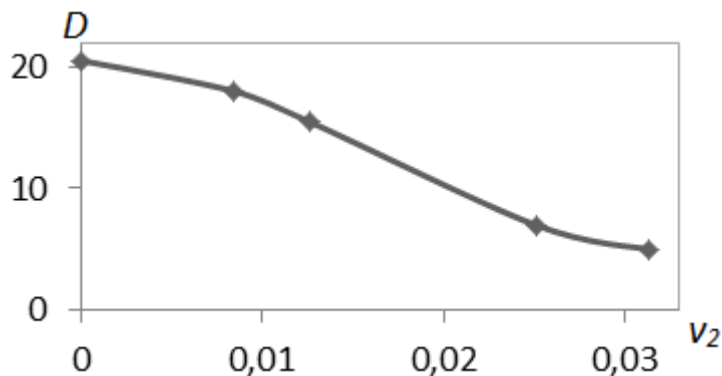


Рис. 5. Зависимость ширины пучка на выходе из среды от частоты продольной модуляции

$$\nu_2 = \frac{2\pi}{L_2}$$

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 11-02-00681\_а и № 12-02-90023-Бел\_а.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М.: Наука, 1990.
2. Garanovich I.L., Sukhorukov A.A., Kivshar Y.S. // Opt. Express. 2007. V. 15. No 15. P. 9547.
3. Joushaghani A., Iyer R., Poon J.K.S., Aitchison J.S., de Sterke C.M., Wan J. and Dignam M.M. // Phys. Rev. Lett. 2012. V. 109. No 103901.