

#### Список использованных источников

1. Cuniot-Ponsard, M. Strontium Barium Niobate Thin Films for Dielectric and Electro-Optic Applications. *Ferroelectrics – Material Aspects* / M. Cuniot-Ponsard // InTech, Rijeka, Croatia – 2011. – P. 498–518.
2. Давыдовская, В.В. Распространение и взаимодействие двумерных световых пучков в фоторефрактивных кристаллах : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.05 / В.В. Давыдовская. – Мозырь, 2014. – 116 с.
3. Khmelnsky, D. Interaction of two-dimensional rectangular light beams in a photorefractive SBN crystal / D. Khmelnsky [et. al] // *Ferroelectrics*. – 2009. – Vol. 390. – P. 116–127.
4. Smirnov, S. Interaction of counterpropagating discrete solitons in a nonlinear one-dimensional waveguide array / S. Smirnov [et. al] // *Opt. Lett.* – 2007. – Vol. 32, No. 5 – P. 512–514.
5. Zeng, L. Preventing critical collapse of higher-order solitons by tailoring unconventional optical diffraction and nonlinearities / L. Zeng, J. Zeng // *Commun. Phys.* – 2020. – Vol. 3. – P. 20–29.
6. Давыдовская, В.В. Взаимодействие двумерных ортогонально поляризованных квадратных супергауссовых световых пучков в фоторефрактивном кристалле класса симметрии 4mm / В.В. Давыдовская, В.В. Шепелевич // *Вестник ПГУ*. – 2010. – № 3. – С. 124–128.
7. Давыдовская, В.В. Взаимодействие двумерных ортогонально поляризованных супергауссовых световых пучков в фоторефрактивном кристалле / В.В. Давыдовская [и др.] // *Квантовая электроника*. – 2010. – Т. 40, № 10. – С. 899–906.
8. Roychoudhuri, C., Kracklauer, A.F., Creath, K. *The Nature of Light: What is a Photon? (Optical Science and Engineering)* / C. Roychoudhuri, A.F. Kracklauer, K. Creath ; Taylor & Francis Inc.: CRC Press, 2008. – 454 p.
9. Cheng, Y.-K. Design and Evaluation of Light Spread Function for Area-Adaptive LCD System / Y.-K. Cheng [et al] // *J. Display Technol.* – 2009. – Vol. 5, № 2. – P. 66–71.
10. Diebel, F. Soliton formation by decelerating interacting Airy beams / F. Diebel [et al.] // *Optics Express*. – 2015. – Vol. 23, Is.19. – P. 24351–24361.
11. Kukhtarev, N.V. Holographic storage in electrooptic crystals: 1. Steady state / N.V. Kukhtarev [et al.] // *Ferroelectrics*. – 1979. – Vol. 22. – P. 949–960.
12. Motzek, K. Dipole-mode vector solitons in anisotropic photorefractive media / K. Motzek // *Opt. Commun.* – 2001. – Vol. 197. – P. 161–168.
13. Ярив, А. *Оптические волны в кристаллах* / А. Ярив, П. Юх ; пер. с англ. – М. : Мир, 1987. – 616 с.
14. Calvo, M.L. *Optical Waveguides: From Theory to Applied Technologies 1st Edition* / M.L. Calvo, V. Lakshminarayanan. – CRC Press, 2007. – 424 p.

УДК 535.4

А.А. Голуб, С.М. Поливач

*Мозырский государственный педагогический университет имени И.П. Шамякина*

#### ИЗУЧЕНИЕ САМОФОКУСИРОВКИ (1+1)D СВЕТОВОГО ПУЧКА, РАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$

В работе приведены результаты численного моделирования распространения одномерного светового пучка с гауссовым распределением интенсивности, распространяющегося в фоторефрактивном оптически активном кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ . Рассмотрено влияние внешнего постоянного электрического поля, оптической активности и обратного пьезоэлектрического эффекта на нелинейное изменение показателя преломления внутри кристалла, приводящее к самофокусировке светового пучка, а также зависимости максимальной относительной интенсивности от длины кристалла и полуширины светового пучка. Полученные результаты позволяют установить оптимальные параметры наблюдения явления самофокусировки, что является значимым при создании оптических устройств управления.

**Ключевые слова:** (1+1)D световой пучок, фоторефрактивный кристалл, самофокусировка, численное моделирование, обратный пьезоэлектрический эффект.

**Введение.** В [1] указано, что оптическая активность и обратный пьезоэлектрический эффект оказывают существенное влияние на процесс распространения (1+1)D световых пучков фоторефрактивных кристаллах группы селенитов. В данной работе представлены результаты исследования самофокусировки (1+1)D светового пучка, распространяющегося в фоторефрактивном оптически активном кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  среза  $(\bar{1}\bar{1}0)$  при различных значениях полуширины светового пучка.

При численном моделировании световой пучок на входе в кристалл имел гауссовый профиль распределения интенсивности. Предполагалось, что к боковым граням кристалла прикладывалось внешнее

постоянное электрическое поле, вектор напряженности которого  $E_0 \parallel [1\bar{1}\bar{1}]$ . Формирующееся в данном случае поле пространственного заряда внутри кристалла приводит к нелинейному изменению показателя преломления кристалла, нарушающему естественную дифракционную расходимость распространяющегося в нем светового пучка, а в некоторых случаях происходит и его самофокусировка. Для численного моделирования использовалась теоретическая модель, представленная в [1], которая позволяет учесть при численном моделировании как естественную оптическую активность кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ , так и влияние обратного пьезоэлектрического эффекта.

Для численного моделирования использовались следующие параметры кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  и одномерного светового пучка: длина кристалла  $d = 15$  мм, показатель преломления  $n_0 = 2.54$ , электрооптический коэффициент  $r = -5 \times 10^{-12}$  м/В, постоянные упругости  $c_1 = 12.96 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>,  $c_2 = 2.99 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>,  $c_3 = 2.45 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>, упругооптические постоянные  $p_1 = -0.16$ ,  $p_2 = -0.13$ ,  $p_3 = -0.12$ ,  $p_4 = -0.015$ , пьезоэлектрическая константа  $e_{14} = 1.12$  С/м<sup>2</sup>, удельное вращение кристалла  $\rho = 22$  °/мм, длина световой волны  $\lambda = 0.6328$  мкм. Значение «темновой интенсивности» выбрано, как и в [2], равным максимальной интенсивности  $I_0$  световых пучков на входе в кристалл,  $I_d = 0,5I_0$ .

На рисунке 1 представлены графики зависимости относительной интенсивности в центре светового пучка от длины кристалла. Предполагалось, что световые пучки имели следующие значения полуширины на входе в кристалл:  $x_0 = 5$  мкм,  $x_0 = 10$  мкм,  $x_0 = 15$  мкм.

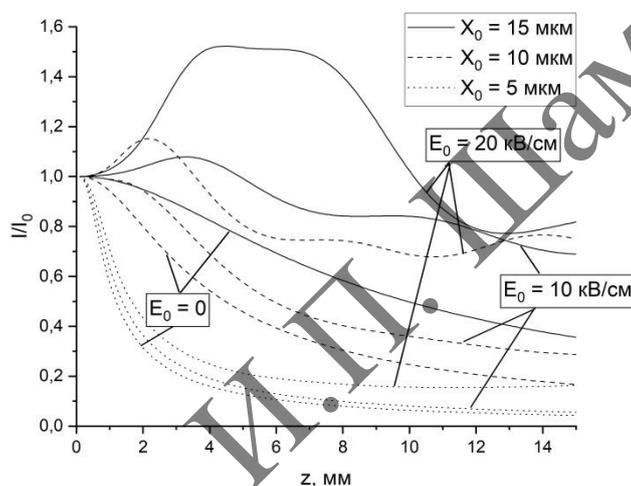


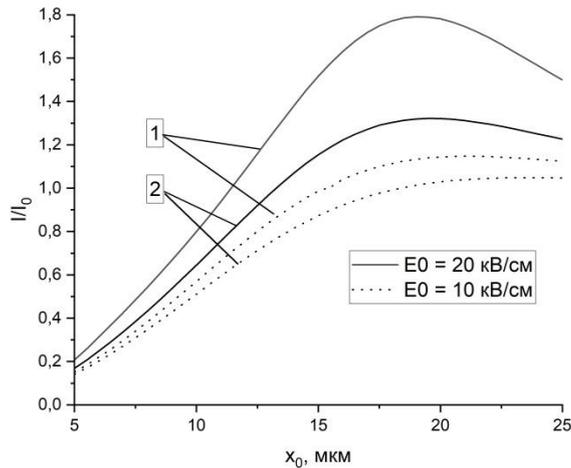
Рисунок 1 – Зависимость максимальной относительной интенсивности (1+1)D светового пучка от длины кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  при различных значениях напряженности внешнего электрического поля  $E_0$

Из анализа рисунка 1 видно, что в отсутствие внешнего электрического поля ( $E_0 = 0$ ) световые пучки испытывают лишь естественную дифракционную расходимость, приводящую к постепенному снижению максимальной относительной интенсивности. При помещении кристалла во внешнее электрическое поле  $E_0 = 10$  кВ/см можно наблюдать увеличение максимальной относительной интенсивности светового пучка, однако данного значения модуля напряженности внешнего постоянного электрического поля недостаточно для наблюдения самофокусировки световых пучков с параметрами полуширины, указанными ранее. При увеличении значения  $E_0$  до 20 кВ/см световые пучки полушириной 10 и 15 мкм уже могут испытывать самофокусировку. Также из рисунка 1 видно, что для наблюдения самофокусировки световых пучков при использованных параметрах внешнего электрического поля и кристалла достаточно длины  $d_0 = 5$  мм.

На рисунке 2 представлена зависимость максимальной относительной интенсивности светового пучка от его полуширины.

Из кривых, изображенных на рисунке 2, видно, что, если учитывать обратный пьезоэлектрический эффект, то наибольшая самофокусировка наблюдается у световых пучков с полушириной  $x_0 = 18$  мм при значении модуля напряженности внешнего электрического поля  $E_0 = 20$  кВ/см. Можно отметить, что для световых пучков с полушириной  $x_0 < 10$  мм самофокусировка практически не наблюдается.

Таким образом, установлены оптимальные для наблюдения самофокусировки значения полуширины (1+1)D световых пучков, распространяющихся в кубическом оптически активном фоторефрактивном кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  среза  $(\bar{1}\bar{1}0)$ , помещенном во внешнее постоянное электрическое поле, с учетом влияния обратного пьезоэлектрического эффекта.



1 – с учетом обратного пьезоэлектрического эффекта, 2 – без учета обратного пьезоэлектрического эффекта  
 Рисунок 2 – Зависимость максимальной относительной интенсивности (1+1)D светового пучка от длины кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  при различных значениях полуширины  $x_0$

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций» на 2021–2025 гг. (задание 6.1.14).

#### Список использованных источников

1. Голуб, А.А. Влияние обратного пьезоэлектрического эффекта и фотоупругости на когерентное взаимодействие гауссовых (1+1)D световых пучков в кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  / А.А. Голуб, В.Н. Навныко, В.В. Давыдовская, Ж.В. Колядко, А.В. Федорова, Д.С. Блоцкая // Журнал прикладной спектроскопии. – 2025. – Т. 92, № 1. – С. 114–120.
2. Incoherent interaction of Gaussian beams in photorefractive optically active crystals / V.V. Shepelevich, A.A. Golub, R. Kowarschik, A. Kiessling, V. Matusевич // Applied Physics B. Lasers and Optics. – 2008. – Vol. 90. – P. 149–153.

УДК 004.421.2

А.К. Грабовский

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

#### ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КВАДРУПОЛЬНЫХ СИСТЕМ

Методами компьютерного моделирования исследовано влияние геометрической конфигурации квадрупольных систем и стохастических возмущений на распределение потенциала и динамику заряженных частиц.

**Ключевые слова:** момент, квадруполь, система, потенциал, моделирование.

**Введение.** Анализ мультипольных моментов играет важную роль при описании электростатических конфигураций в области дальнего поля. В данной работе исследуются различные конфигурации четырёх точечных зарядов. Методология основана на классических подходах, изложенных в [1].

Рассмотрим простой симметричный пример квадрупольной системы, состоящей из четырёх точечных зарядов, расположенных в вершинах квадрата со стороной  $a$  на плоскости  $(y, z)$ : два заряда  $+q$  в точках  $(\frac{a}{2}, \frac{a}{2})$  и  $(-\frac{a}{2}, -\frac{a}{2})$ , два заряда  $-q$  в точках  $(\frac{a}{2}, -\frac{a}{2})$  и  $(-\frac{a}{2}, \frac{a}{2})$ .

Точное выражение для потенциала в точке наблюдения  $M(x, y, z)$  задаётся равенством

$$\phi(M) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_{1+}} + \frac{1}{r_{2+}} - \frac{1}{r_{1-}} - \frac{1}{r_{2-}} \right).$$

Учитывая две первые поправки в разложении Тейлора  $\frac{1}{r} \approx \frac{1}{d} + \frac{r_0 a}{d^3} + \frac{(r_0 a)^2 - a^2}{2d^5}$ , получаем в области дальнего поля приближенное выражение