

## НОВЫЙ ТИП ОПТИЧЕСКОГО ГИСТЕРЕЗИСА

Д. Михалаке\*, В.К. Федянин

Предсказывается появление бистабильных состояний S-поляризованных нелинейных поверхностных и связанных волн, распространяющихся через тонкий диэлектрический волновод с подложкой, характеризуемой нелинейной зависимостью диэлектрической проницаемости от поля. В случае P-поляризованных волн интенсивность нелинейных связанных волн имеет гистерезис. В обоих случаях обнаружены новые моды, возникающие выше некоторого порога интенсивности.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

### A New Type of Optic Hysteresis

D. Michalake, V.K. Fedyanin

Bistable states of S-polarized nonlinear surface and guided waves propagating through a thin film dielectric wave guide with a cladding characterized by an intensity-dependent refractive index are predicted. An intensity-dependent hysteresis in the transmission of P-polarized nonlinear guided waves also occurs. In both cases new modes can exist above certain power threshold.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

В последние годы проблематика оптической бистабильности /05/ стала одной из наиболее активно исследуемых областей нелинейной оптики /для справок можно обратиться к литературе, цитируемой в /1/, а также к прекрасному обзору /2/ /. Там, в частности, можно почерпнуть последние сведения об оптических системах, пропускная способность которых является многозначной функцией такого /контролируемого/ параметра как входная интенсивность. Стандартные методы построения бистабильного оптического прибора требуют привлечения для этой цели среды, характеризуемой нелинейными оптическими свойствами, обусловленными либо ее

---

\*Центральный институт физики, Бухарест

естественным откликом на сигнал, либо некоторым механизмом "обратной" связи.

Наблюдение ОБ в полупроводниках GaAs<sup>/3/</sup> и InSb<sup>/4/</sup> привлекло внимание к тем нелинейным оптическим явлениям, где показатель преломления /альтернативно, диэлектрические параметры/ квадратично меняется при локальном варьировании поля. В этой связи отметим, что в<sup>/5-14/</sup> было показано, что соответствующая система уравнений Максвелла /были разобраны среды различной геометрии/ с нелинейной зависимостью показателя преломления от интенсивности допускает точное решение, и на основе этого было предсказано существование набора новых мод. Ниже мы будем пользоваться обозначениями и терминологией<sup>/9-12/</sup>.

В данной заметке мы исследуем поведение S-поляризованных нелинейных волн /ТЕ-моды/, распространяющихся в асимметричной пластинке /параметр распространения  $N = k/k_0$ ,  $k$  - волновой вектор,  $k_0 = \omega/c$  /. Геометрия среды следующая: воздух /показатель преломления  $n_1 = 1$ / находится в контакте с пластинкой толщиной  $d$  с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_2$  /показатель преломления  $n_2 = \epsilon_2^{1/2}$  /, граничит с нелинейной средой, диэлектрические свойства которой описываются тензором

$$\epsilon_{11} = \epsilon_{22} = \epsilon_{33} = \epsilon_3(\omega) + \alpha(\omega)(|E_1|^2 + |E_2|^2 + |E_3|^2), \quad /1/$$

при этом будем считать  $\alpha > 0$  /самофокусирующая среда/.

В<sup>/9,10/</sup>, решив точно уравнения Максвелла для различных геометрий многослойной структуры, нами был рассчитан полный поток энергии на единицу длины  $P = P_1 + P_2 + P_3$ , переносимый нелинейными поверхностными и нелинейными связанными волнами/НПВ и НСВ/, в функции параметра распространения  $N$  и различного выбора безразмерного параметра  $d/\lambda/\lambda$  - длина волны/. Здесь  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  являются потоками энергии в воздухе, пленке и нелинейной подложке соответственно. Длина волны выбиралась равной  $\lambda = 0,694$  мкм, что отвечает рубиновому лазеру. Мы брали следующие значения показателей преломления:  $n_1 = 1$ ,  $n_2 = 2,3$ ,  $n_3 = 1,5$  ( $n_3 = \epsilon_3^{1/2}$ ); коэффициент нелинейности в /1/ полагался положительным и равным  $\alpha = 10^{-11}$  см<sup>3</sup>/эрг.

Зависимость полного потока энергии на единицу длины  $P$  от  $N$  для различных значений параметра  $d/\lambda$  изображена на рис.1,2.

Для небольших значений  $d/\lambda$  с увеличением  $P$   $N$  монотонно возрастает, и нелинейная волна возникает лишь при некотором определенном пороговом значении  $P = P_0$ /см. рис.1/. Если мы начнем увеличивать толщину пластинки  $d$ , оставляя  $\lambda$  постоянной, то число связанных волновых мод начинает увеличиваться /см. рис.2/. При достаточно больших

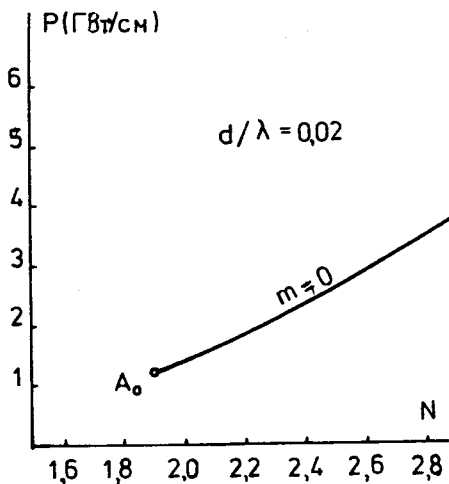


Рис. 1. Значения  $P$  в функции  $N$  для  $d/\lambda = 0,02$ . Здесь  $A_0$  - точка окончания связанной моды с  $m = 0$ , т.е.  $P_1 = P_2 = 0$ .

$d/\lambda$  налицо возникновение бистабильности нелинейной волны с индексом моды  $m=0$  /рис.2/. Таким образом, определенному значению потока энергии на единицу длины отвечают три значения параметра распространения, два из которых относятся к бистабильным состояниям НПВ и НСП.

Для  $d/\lambda = 0,4$  и  $P \approx 4 \text{ Вт/см}$  величина отношения  $P_2/P \approx 0,9$  отвечает состоянию, когда поток энергии сконцентрирован внутри пластинки, а  $P_2/P \approx 0,1$  отвечает состоянию, в котором поток энергии распространяется, в основном, в нелинейной подложке /рис.3/. Для  $TE_1$  НСВ /индекс моды I / одному значению  $P$  отвечают два различных значения  $N$ , а также два различных отношения  $P_2/P$ . Из этого следует, что поток энергии сконцентрирован как внутри плоского волновода, так и в нелинейной подложке.

Состоянию с меньшим значением  $N$  соответствует нелинейная волна, которой отвечает поток энергии, сконцентрированный внутри пленки, а состоянию с большим  $N$  - нелинейная волна с потоком энергии, в основном, в нелинейной подложке.

Обсудим теперь свойства  $P$ -поляризованных нелинейных волн /ТМ-мод/, распространяющихся в слоистой структуре с вышеописанной геометрией. В данном случае нелинейная подложка описывается диагональным диэлектрическим тензором

$$\epsilon_{11} = \epsilon_{22} = \epsilon_{\perp}(\omega) + \alpha(\omega) (|E_1|^2 + |E_2|^2) \quad \epsilon_{33} = \epsilon_{\parallel}(\omega) \quad /2/$$

с  $\alpha < 0$  /дефокусирующая среда/. Будем полагать, что для соответствующих областей показатели преломления даются величинами:  $n_1 = 1$ ,  $n_2 = 2,3$ ,  $n_{\parallel} = 1,5$ ,  $n_{\perp} = 1,45$ ;  $\alpha = -10^{-11} \text{ см}^3/\text{эрг}$ . Зависимость потока энергии на единицу длины  $P$  в функции  $N$  и различных значений безразмерного параметра  $d/\lambda$  изображена на рис.4-6. Для малых  $d/\lambda$   $N$  монотонно уменьшается в функции  $P$ , а нелинейная волна может существовать лишь при потоках энергии, превышающих определенное минимальное значение /рис.4/.

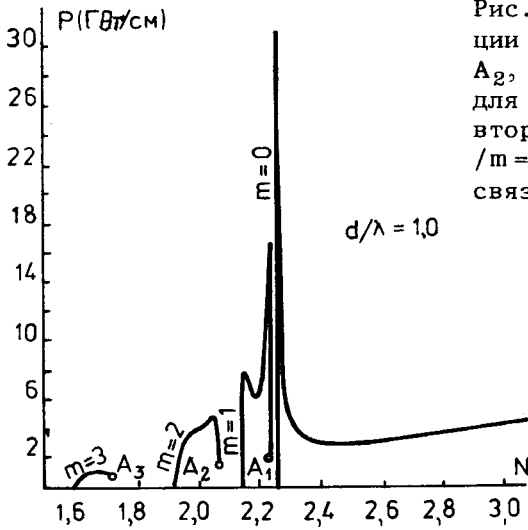


Рис.2. Значения  $P$  в функции  $N$  для  $d/\lambda = 1,0$ .  $A_1$ ,  $A_2$ , и  $A_3$  суть значения  $P$ , для которых оканчиваются вторая  $/m=1/$ , третья  $/m=2/$  и четвертая  $/m=3/$  связанные моды.

Рис.3. Отношение  $P_2/P$  в функции  $P$  для  $d/\lambda = 0,4$ .

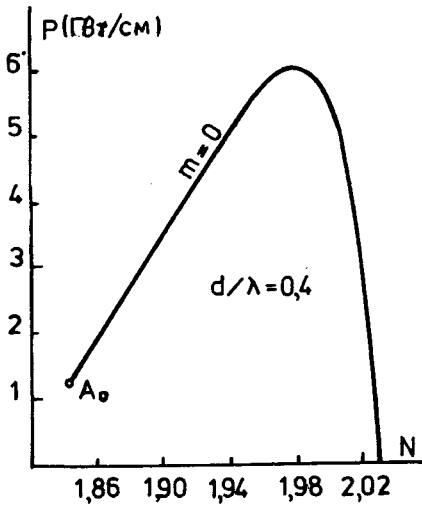
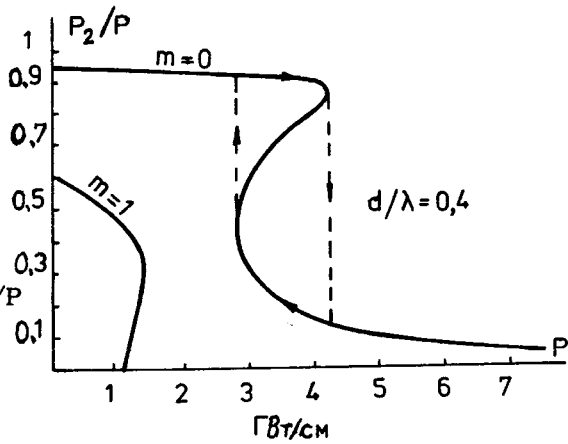


Рис.4. Величина  $P$  в функции  $N$  для  $d/\lambda = 0,02$ .  $A_0$  - значение  $P$ , в котором заканчивается мода с  $m=0$ .

Для  $d/\lambda = 0,4$  /рис.5/ определенному значению потока энергии отвечают два значения параметра распространения. Состоянию с большим значением  $N$  соответствует нелинейная волна, плотность потока энергии которой сосредоточена внутри пластины, а состоянию с меньшим значением  $N$  - нелинейная волна с плотностью потока энергии, распространяющейся, в основном, в нелинейной подложке. Заметим также, что для больших  $d/\lambda$  /см. рис.6/ с увеличением  $P$  число связанных мод уменьшается, и для мод высших порядков подобный асимметричный волновод является оптическим ограничителем потока энергии сверху.

В заключение отметим, что недавно /15/ экспериментально наблюдались зависящие от интенсивности потока связанные волны в трехслойной диэлектрической системе. Нелинейной подложкой служил жидкий кристалл МВВА, который, как известно, обладает большой величиной нелинейной части показателя преломления. В плотности потока энергии  $TE_1$ -моды найден переданный в нее максимум, а для определенного значения  $P$  найдены два значения отношения  $P_2/P$ , переданные в  $TE_1$ -моду / $m = 1$  на рис.3/.

Рис.5. Величина  $P$  в функции  $N$  для  $d/\lambda = 0,4$ .

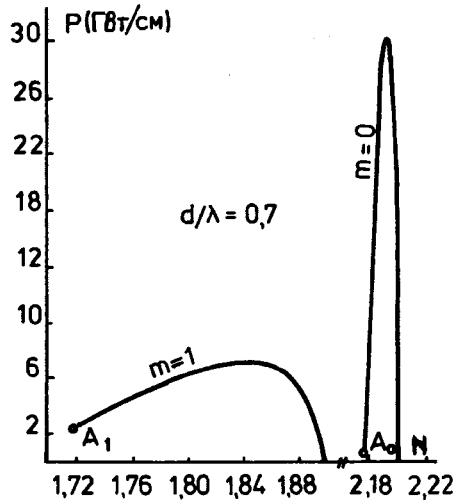
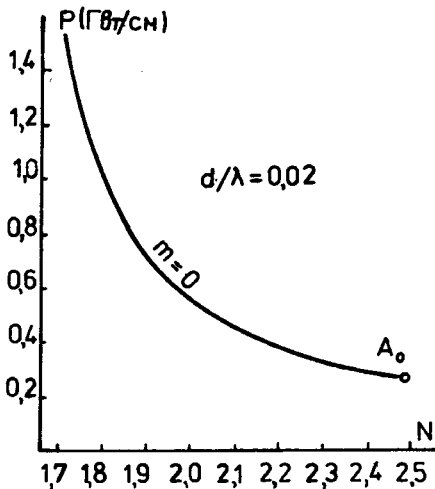


Рис.6. Зависимость плотности потока энергии  $P$  в функции  $N$  для  $d/\lambda = 0,7$ .  $A_0$  и  $A_1$  - значения  $P$ , для которых заканчиваются первая / $m = 0$ / и вторая / $m = 1$ / моды.

Сходное поведение можно ожидать также при экспериментальном исследовании ТМ-мод. Мы считаем, что большой интерес представляет экспериментальное исследование бистабильных состояний в  $TE_0$ -модах /см. рис.2 и 3/. Из проведенного выше исследования следует, что для достаточно малых  $d/\lambda$   $TE_0$ - и  $TM_0$ -моды должны наблюдаться при плотностях потока энергии, превышающих определенные пороговые значения.

### *Литература*

1. Optical Bistability, ed. by C.M.Bowden, M.Ciftan, H.R.Robl, Plenum, New York, 1981.
2. Abraham E., Smith S.D. Rep.Prog.Phys., 1982, 45, p. 815.
3. Gibbs H.M. et al. Appl.Phys.Lett., 1979, 35, p. 451.
4. Miller D.A.V. et al. Appl.Phys.Lett., 1979, 35, p. 658.
5. Агранович В.М. и др. Письма в ЖЭТФ, 1980, 32, с. 532.
6. Tomlinson W.J. Opt.Lett., 1980, 5, p. 323.
7. Maradudin A.A. Z.Phys., 1981, В41, p. 341.
8. Ахмедиев Н.Н. ЖЭТФ, 1982, 83, с. 545.
9. Fedyanin V.K., Michalake D. Z.Phys., 1982, В47, p.167.
10. Михалаке Д., Федянин В.К. ТМФ, 1983, 54, с. 443.
11. Michalake D., Nazmitdinov R.G., Fedyanin V.K. Physica Scripta, 1984, 29, p. 269.
12. Michalake D. et al. Physica Scripta, 1984, 30, p. 335.
13. Boardman A.D., Egan P. J.Phys.Colloq., 1984, C5, p. 291.
14. Stegeman G.I. et al. Appl.Phys.Lett., 1984, 44, p.830.
15. Vach H. et al. Opt.Lett., 1984, 9, p. 238.

Рукопись поступила 7 января 1985 года.