

В заключение отметим, что аналогичная ситуация может возникнуть и в монокристаллических образцах, имеющих плоскости двойникования и границы с малоугловой разориентацией.

Авторы приносят глубокую признательность А.Г. Аронову за плодотворную дискуссию, А.И. Егорову и С.Э. Хабарову за предоставление образцов.

### Л и т е р а т у р а

- [1] Мастеров В.Ф., Егоров А.Н., Герасимов Н.П., Козырев С.В., Лихолит И.Л., Савельев И.Г., Федоров А.В., Штельмах К.Ф. - Письма в ЖЭТФ, 1987, т. 46, в. 7, с. 289-292.
- [2] Кведор В.В., Мчедлидзе Т.Р., Осипьян Ю.А., Шалынин А.И. - Письма в ЖЭТФ, 1987, т. 46, приложение, с. 176-179.
- [3] What S.V., Ganguly P., Ramakrishnan T.V., Rao C.N.R. - J. Phys. C: Sol. St. Phys., 1987, v. 20, p. L559-L563.
- [4] Лыфарь Д.Л., Моисеев Д.П., Мотуз А.А., Рябченко С.М., Толпыго С.К. - ФНТ, 1987, т. 13, в. 8, с. 876-879.
- [5] Durny R., Hautala J., Ducharme S., Lee B., Symko O.G., Taylor P.C., Zhen B.J., Xu J.A. - Phys. Rev. B. 1987, v. 36, N 4, p. 2361-2363.

Поступило в Редакцию  
14 апреля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 14

26 июля 1988 г.

### ДИНАМИКА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ГИБРИДНОГО ОПТИЧЕСКОГО БИСТАБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Б.М. Ашкинадзе, В.К. Тихомиров

Оптическая бистабильность (ОБ) привлекает большое внимание исследователей, поскольку, с одной стороны, ОБ является неравновесным фазовым переходом в открытой системе и позволяет изучать общие закономерности развития нелинейных систем [1]; с другой стороны, бистабильные оптические устройства (БОУ) имеют важные технические применения [2]. Основные работы в этой области направлены на поиск и исследование нелинейных физических явлений,

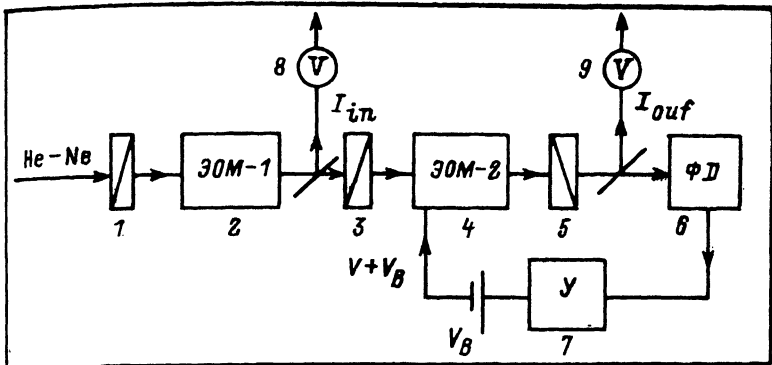


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 - аттенуатор для изменения постоянной составляющей  $I_{in}$ , 2 - ЭОМ для импульсной модуляции  $I_{in}$ , 3, 5 - скрещенные призмы Глана, 4 - ЭОМ с обратной связью через фотодиод (6) и усилитель (7), 8, 9 - фотодиоды для регистрации входящего и прошедшего света.

позволяющих реализовать низкопороговые и малоинерционные БОУ [2-4].

Существенно меньшее внимание до сих пор уделялось экспериментальному исследованию динамических явлений, роли флуктуаций и шумов в подобных системах [5, 6]. Эти вопросы представляют значительный интерес в физике неравновесных фазовых переходов и исключительно важны для понимания функционирования БОУ.

В настоящей работе проведены исследования кинетики переключения простого гибридного БОУ [7, 8], они впервые позволили восстановить неустойчивую ветвь гистерезисной кривой и изучить явление критического замедления на этой ветви.

На рис. 1 представлена блок-схема БОУ, на котором изучалась динамика переключения. В качестве нелинейного элемента использовался электрооптический модулятор на метаниобате лития (ЭОМ-2), помещенный между скрещенными призмами Глана; аналогичный модулятор (ЭОМ-1) применялся для управления интенсивностью входного луча. Обратная связь на ЭОМ-2 осуществлялась через быстрый фотодиод с усилителем. Как известно [7], интенсивность прошедшего света  $I_{out}$ , пропорциональная напряжению, подводимому к ЭОМ-2 ( $V$ ), связана с интенсивностью падающего света  $I_{in}$  соотношением

$$\tau \frac{dI_{out}}{dt} = I_{in} \cdot T(V) - I_{out}, \quad (1)$$

где  $\tau$  - время отклика БОУ, определяемое временем отклика фотодиода, которое составляло 1 мкс;  $T(V) = \frac{1}{2} \left( 1 - F \cdot \cos \frac{\pi(V + V_0)}{V_{\pi}} \right)$  - пропускание ячейки Поккельса;  $V_{\pi}$  - полуволновое напряжение;  $V_0$  -

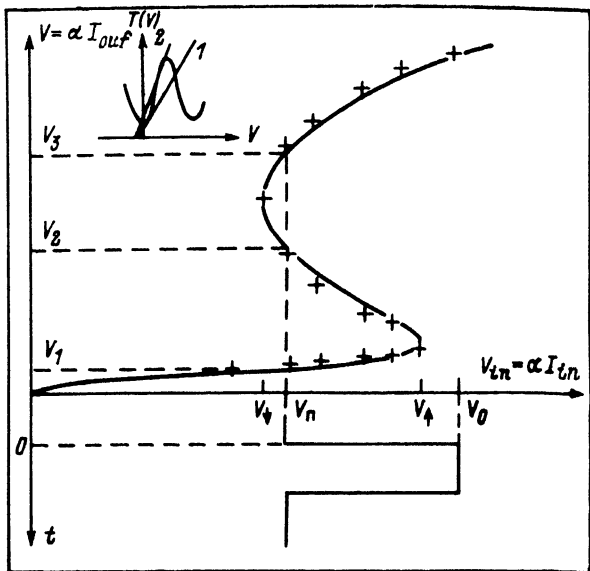


Рис. 2. Зависимость выходного сигнала ( $V$ ) от входного ( $V_{in}$ ). Сплошная линия – расчет по стационарному соотношению (1); крестики – экспериментально измеренная по кинетике переключения. Внизу показана форма входного импульса света. На вставке – графическое стационарное решение (1): 1 – соответствует  $V_{in} = V_p$ , 2 –  $V_{in} = V_n$ .

смещение;  $V_{in} = \alpha I_{in}$ ,  $V = \alpha I_{out}$ , где  $\alpha$  – коэффициент преобразования света в напряжение,  $F \leq 1$  (для использованного в качестве ЭОМ модулятора МЛ-5  $F = 0.85$ ).

Стационарное решение уравнения (1) имеет  $S'$ -образный характер и может быть получено как графически, так и численно; для данного БОУ оно представлено на рис. 2 сплошной линией. В зависимости  $I_{out}$  ( $I_{in}$ ) существует гистерезис, ширина которого определяется величинами  $V_0$  и  $F$ .

Временное поведение рассматриваемой системы описывается выражением, следующим из (1):

$$\frac{t}{T} = \int_{V_i}^{V_R} \frac{\alpha V}{V_0 \cdot T(V) - V} dV, \quad (2)$$

где считается, что при  $t < 0$  система находилась (рис. 2) в состоянии  $V_{in} = V_n$ ,  $V = V_1$ , а при  $t = 0$  входная интенсивность мгновенно изменилась до  $V_0 > V_p$ .

Для изучения кинетики переключения стационарное значение входной интенсивности света  $V_n$  выбиралось либо в пределах петли гис-

терезиса  $V_2 < V_n < V_1$ , либо левее  $V_n < V_2$  и изучался отклик системы на импульс света (рис. 2) длительностью  $t_n$ .

При  $V_n < V_2$  на переднем и заднем фронта выходного импульса света относительно входного [8].

Особый интерес представляет случай, когда до прихода светового импульса система находится внутри петли гистерезиса  $V_2 < V_n < V_1$ , т.е. в бистабильном состоянии. Пусть  $V_n = V_n$ , которому соответствуют два устойчивых стационарных решения  $V_1$  и  $V_3$  и одно неустойчивое  $V_2$  (рис. 2). За время длительности входного импульса  $t_n$  интенсивность выходящего света  $I_{out} = \alpha V$  возрастет до величины  $\alpha V_n$ , определяемой из уравнения

$$\frac{t_n}{T} = \int_{V_1}^{V_n} \frac{\alpha V}{V_0 \cdot T(V) - V} dV, \quad (3)$$

а затем после окончания импульса интенсивность света на выходе будет релаксировать к одному из устойчивых значений  $\alpha \cdot V_1$  или  $\alpha \cdot V_3$ , соответствующих стационарной интенсивности света на входе  $I_{i2} = \alpha V_n$ .

Время релаксации  $T_0$  к стационарному состоянию и его значение ( $V_1$  или  $V_3$ ) определяется из уравнения

$$\frac{T_0}{T} = \int_{V_n}^{V_1 \text{ или } V_3} \frac{\alpha V}{V_n \cdot T(V) - V} dV. \quad (4)$$

На рис. 3,  $\frac{u}{x}$  представлены результаты численного решения системы уравнений (3) и (4) при разных длительностях входного импульса света при  $V_n = V_2 + \frac{V_1 - V_2}{\delta}$  и инкременте  $\frac{V_0 - V_1}{V_1} = 0.10$ . Возможны три различных ситуации: 1)  $V_n > V_2$  (длинный импульс), тогда интеграл (4) принимает положительные значения, если в качестве верхнего предела интегрирования взять  $V_3$ , и отрицательные — если  $V_1$ , т.е. выходной свет будет релаксировать к значению  $V_3$ ; 2)  $V_n < V_2$  (короткий импульс), тогда в качестве верхнего предела интегрирования нужно взять  $V_1$  по аналогичным соображениям, т.е. выходной свет будет релаксировать к значению  $V_1$ ; 3)  $V_n = V_2$  (импульс критической длительности  $t_n = t_c$ ), тогда интеграл (4) стремится к бесконечности, т.е. интенсивность выходного света после окончания входного импульса будет равна  $V_2$ . Однако поскольку решение  $V_2$  является неустойчивым, под влиянием флуктуаций интенсивность выходного света отклонится от значения  $V_2$  и далее будет релаксировать либо к значению  $V_1$ , либо к  $V_3$  в зависимости от знака флуктуации. Время пребывания в стационарном неустойчивом состоянии  $V_2$  может оказаться большим и приводит к критическому замедлению на неустойчивой ветви, по аналогии с обычным критическим замедлением в фазовых переходах,

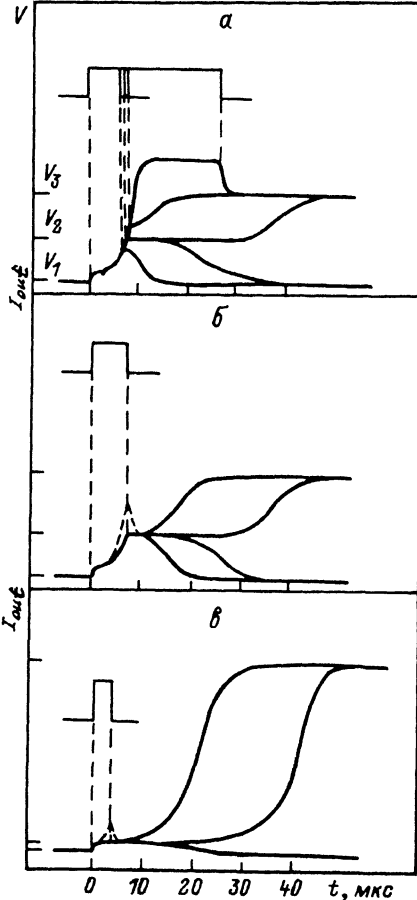


Рис. 3. а) Расчетная кинетика прошедшего импульса света, полученная при инкременте  $\frac{V_0 - V_4}{V_4} = 0, 1$  и  $V_n = V_4 + \frac{V_4 - V_4}{6}$  при пяти значениях длительности входного импульса света. б, в) Экспериментальные кинетики входного и выходного сигнала при  $V_n = V_4 + \frac{V_4 - V_4}{6}$  (б) и  $V_n = V_4 + \frac{5}{6}(V_1 - V_4)$  (в) при одинаковых инкрементах  $\frac{V_0 - V_4}{V_4} = 0,1$ . Импульсы зарегистрированы с помощью запоминающего осциллографа: разброс формы при критической длительности входного импульса обусловлен флуктуациями света.

поскольку в обоих случаях причиной явления является равенство нулю "силы", действующей в системе [1].

На рис. 3, б, в представлены результаты эксперимента при двух разных значениях  $V_n$ , но одинаковых инкрементах и при длительностях входного импульса, близких к критической  $t_n \sim t_c$ . Видно, что вид кинетики выходного импульса света очень чувствителен к флуктуациям интенсивности лазера и определяется ими. Хорошо видны три горизонтальных участка, т.е. участка, на которых  $\frac{dI_{out} t}{dt} = 0$ . Это и есть стационарные решения уравнения (1) при данной интенсивности входного света  $I_{in} = \alpha V_{in} = V_n$ . Изменяя  $V_n$ , можно промерить всю S-образную кривую.<sup>1</sup> Результаты измерений представлены на рис. 2 крестиками.

<sup>1</sup> Отметим, что возможность построения промежуточной ветви гистерезиса обсуждалась Н.Н. Розановым [9].

В ряде экспериментов не удавалось получить приведенные на рис. 3 кинетики релаксации; кинетика имела вид, показанный на рис. 3, б, в пунктиром, когда дополнительно появлялся всплеск в момент окончания импульса света. По-видимому, такой переходной процесс обусловлен поперечными эффектами: при неточной юстировке модулятора МЛ-5 возникает двулучепреломление, зависящее от внешнего поля.

Измерение  $S$ -образной кривой дает возможность вычислить вид нелинейности, лежащей в основе фазового перехода. Эту задачу можно назвать обратной в противоположность прямой задаче, когда из известной нелинейности находится  $S$ -образная кривая. Эта возможность полезна при изучении сценариев перехода нелинейных динамических систем в хаотический режим, когда сам сценарий определяется характером нелинейности.

### Л и т е р а т у р а

- [1] Х а к е н Г. Синергетика, М.: Мир, 1980. 404 с.
- [2] G i b b s H.M. Optical Bistability: Controlling Light with Light, Academic Press, New-York, 1985. 410 p.
- [3] Optical Bistability III, Proceedings of the Topical Meeting ed. by H.M. Gibbs et al, Springer-Verlag, Berlin, 1986. 340 p.
- [4] Р ы в к и н Б.С. - ФТП, 1985, т. 19, № 1, с. 3-27.
- [5] M i t s c h k e F., D e s e r n o R., M l y n e k J., L a n g e W. - IEEE J. of Quantum Electr., QE-21, 1985, N 9, p. 1435-1440.
- [6] B i g o t J.V., D a u n o i s A., G r u n J.B. - Phys. Rev. A, 1987, v. 35, N 9, p. 3810-3817.
- [7] G a r m i r e E., M a r b u r g e r J.H., A l l e n S.D. - Appl. Phys. Lett., 1978, v. 32, p. 320-322.
- [8] G a r m i n e E., M a r b u n g e r J.H., A l l e n S.D., W i n f u l H.G. - Appl. Phys. Lett., 1979, v. 34, p. 374-376.
- [9] Р о з а н о в Н.Н. Тезисы всесоюзного совещания „Синергетика-86“. Кишинев, Штиинца, 1986, с. 70.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
3 февраля 1988 г.  
В окончательной  
редакции  
8 апреля 1988 г.