

Методологическая неточность в экспериментах по двухволновому смешению

А. В. Агашков

*Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: a.agashkov@ifanbel.bas-net.by*

Проведены сравнительные эксперименты по двухволновому смешению (ДВС) с использованием обычной фазовой поверхностной голографической решетки и фоторефрактивной решетки. Показано, что выводы авторов экспериментальных работ об установлении фоторефрактивных свойств исследованных решеток методологически неточны. Фактически в работах сравнивались выходные пучки интерферометра Маха-Цендера, в котором решетка являлась выходным светоделителем.

Ключевые слова: двухволновое смешение; голографическая решетка; фоторефрактивная решетка.

Methodological inaccuracy in two-wave mixing experiments

A. V. Agashkov

*B. I. Stepanov Institute of Physics of the NAS of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: a.agashkov@ifanbel.bas-net.by*

Comparative experiments on two-wave mixing were conducted using a conventional phase surface holographic grating and a photorefractive grating. It was shown that the authors' conclusions regarding the photorefractive properties of the studied gratings were methodologically inaccurate. In fact, the studies compared the output beams of a Mach-Zehnder interferometer, in which the grating served as the output beam splitter.

Keywords: two-wave mixing; holographic grating; photorefractive grating

Введение

Оптические среды, обладающие фоторефрактивными свойствами, являются перспективными материалами для целого ряда приложений нелинейной оптики: динамической голографии, восстановления волнового фронта световых пучков, оптической обработки информации в квантовых компьютерах. Как известно, в основе фоторефрактивного эффекта лежит изменение показателя преломления среды под действием света. К настоящему времени данный вопрос хорошо проработан теоретически [1]. Выполнено также большое количество экспериментальных работ по исследованию двухволнового смешения (ДВС), например, [2–6]. На рис. 1, а представлена типовая схема, используемая в данных и во многих других экспериментальных работах. Асимметричное изменение сигналов фотоприемников авторы объясняли свойствами генерируемой фоторефрактивной решетки. Рисунок 1, б демонстрирует, что образец, в котором под воздействием оптического интерференционного поля формируется решетка, фактически является выходным светоделителем интерферометра Маха-Цендера (MZI).

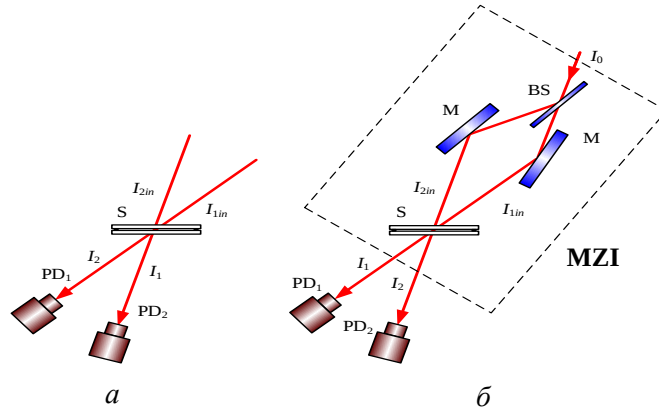


Рис. 1. Схема регистрации сигналов двухволнового смешения: *а* – типовая схема регистрации сигналов волнового смешения; *б* – полная схема регистрации сигналов волнового смешения. S – образец; М – зеркала; BS – светоделитель; PD_{1,2} – фотоприемники; $I_{1,2}$ – регистрируемые пучки; $I_{1,2in}$ – пучки на входе в образец

Известно, что на выходе MZI интенсивности излучения пучков $I_1(t)$ $I_2(t)$ связаны определенными соотношениями [7, 8]. Воспользуемся формулами из [8]:

$$I_1(t) = I_0[R_1R_2 + (1 - R_1)(1 - R_2)T(t) + 2\sqrt{R_1R_2(1 - R_1)(1 - R_2)T(t)}|\gamma_{12}(\tau)|\cos\Phi(t)] \quad (1)$$

$$I_2(t) = I_0[R_1(1 - R_2) + R_2(1 - R_1)T(t) - 2\sqrt{R_1R_2(1 - R_1)(1 - R_2)T(t)}|\gamma_{12}(\tau)|\cos\Phi(t)], \quad (2)$$

где I_0 – интенсивность пучка на входе интерферометра; t – время; $R_{1,2}$ – коэффициенты отражения светоделителей; $T(t)$ – пропускание объекта; $\Phi(t)$ – разность фаз пучков на выходе интерферометра; $\gamma_{12}(\tau)$ – степень временной когерентности

Для симметричной конфигурации интерферометра $|\gamma_{12}(\tau)| = 1$, при отсутствии потерь в интерферометре и для варианта полупрозрачных светоделителей ($T(t) = 1$, $R_{1,2} = 0.5$) формулы (1) и (2), описывающие взаимосвязь интенсивностей выходных пучков $I_1(t)$ и $I_2(t)$, существенно упрощаются:

$$I_1(t) = 0.5I_0[1 + \cos\Phi(t)], \quad (3)$$

$$I_2(t) = 0.5I_0[1 - \cos\Phi(t)]. \quad (4)$$

Таким образом, изменения сигналов на выходах фотоприемников будут асимметричными, независимо от типа решетки. Поэтому выводы авторов на основании подобных результатов об установлении фоторефрактивной природы сгенерированной решетки не являются обоснованными.

Для обоснования данного замечания в настоящей работе проведены сравнительные эксперименты по ДВС с использованием обычной фазовой поверхностной голографической решетки (ГР) и с фоторефрактивной решеткой (ФР), возбуждаемой в планарном нематическом жидком кристалле, легированном красителем.

1. Эксперимент

Схема эксперимента представлена на рис. 2. Пучки, падающие на образцы, p -поляризованы. Отношение мощностей пучка накачки А и сигнального пучка В примерно 10:1 на входе в образец ГР и 3:1 в ФР. Включение-выключение падаю-

щих пучков осуществляется с помощью прерывателя на заданное время или в частотном режиме. Прерыватель в частотном режиме (вращающийся диск) позволяет открывать пучок А по алгоритму 10010011001001001100..., где 1 – открытое и 0 – закрытое состояние. Регистрации сигналов дифракционных порядков осуществляется с помощью фотодетекторов PDA 55ЕС, подключенных к цифровому осциллографу Agilent DSO 5034А.

В качестве контрольного объекта используется фазовая поверхностная ГР с периодом 12.1 мкм. Схема освещения – симметричная, для пространственного совмещения дифракционных пучков, как показано на рис. 2, а, проводилась тщательная юстировка.

На рис. 2, б представлена схема ДВС в ячейке с толщиной 9 мкм, заполненной нематическим ЖК 6СНВТ, активированным смесью антрахиноновых красителей AD-1 и AD-2. Более подробные сведения можно найти в работах [9–10]. Ячейка повернута на угол 45° по отношению к биссектрисе падающих на нее пучков, угол между ними выбран из условия резонанса [11]. Сущность данного механизма заключается в следующем: подача постоянного электрического напряжения на ЖК ячейку возбуждает квазистационарную структуру, характерную для продольных доменов (полосы параллельны начальной ориентации директора). Интерференционное поле с периодом, близким к периоду возбужденной доменной структуры, эффективно воздействует на нее, переориентируя и упорядочивая. Это приводит возрастанию эффективности дифракции более чем на порядок [11].

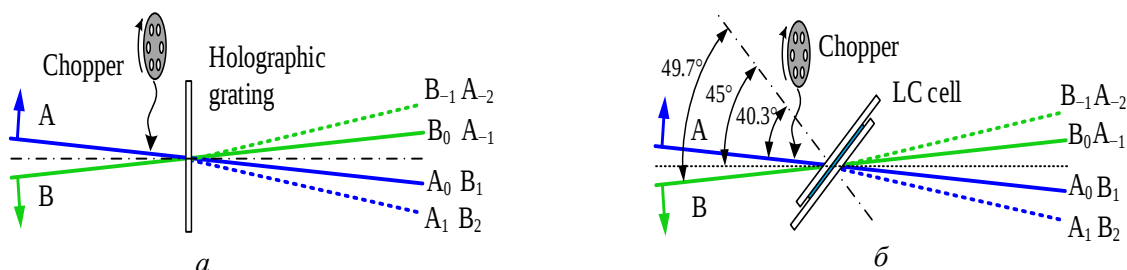


Рис. 2. Схема эксперимента: A_j ($j = -2, \dots, 2$) и B_i ($i = -2, \dots, 2$) – дифракционные порядки

Пространственное совмещение дифракционных пучков, как показано на рис. 2, б, для данной схемы осуществляется автоматически.

1.1. Волновое смещение на фазовой голографической решетке

Результат включения-выключения пучков показан на рис. 3, а. Как видно, выключение более мощного пучка А приводит к уменьшению мощности суммарного пучка, распространяющегося в направлении пучка В. Выключение более слабого пучка В приводит к сильному уменьшению флуктуаций суммарного пучка, распространяющегося в направлении пучка А. Волновое смещение пучков А и В приводит к асимметричным колебаниям мощности выходных пучков, распространяющихся в их направлении, что наглядно иллюстрируют рис. 3, б, в. Таким образом, сигналы двух пучков на выходе голографической поверхностной фазовой решетке не отличаются от сигналов, что были получены в экспериментах по волновому смещению в фоторефрактивных средах [2–6].

Результаты исследования дифракции при частотном режиме включения пучка А показаны на рис. 4.

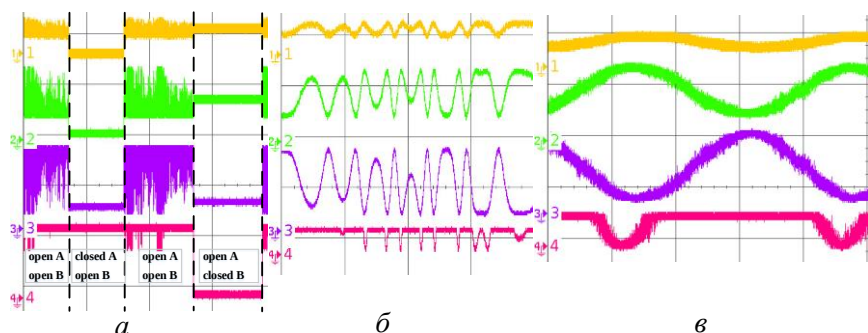


Рис. 3. Включение-выключение пучка А:

$a, в$ – шкала времени 5 с/дел; $б$ – шкала времени 20 мс/дел.

Сигналы: $A_1 + B_2$ (канал 1), $A_0 + B_1$ (канал 2), $A_{-1} + B_0$ (канал 3), $A_{-2} + B_{-1}$ (канал 4)

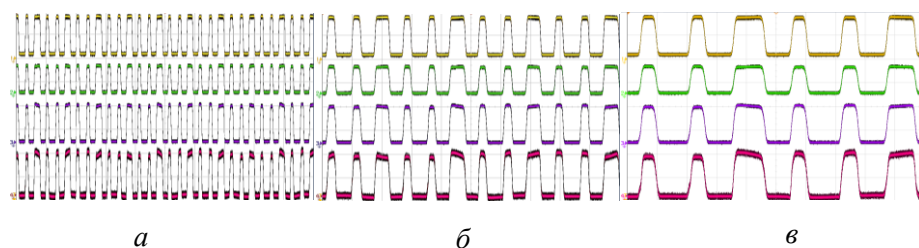


Рис. 4. Включение-выключение пучка А в частотном режиме:

a – шкала времени 5 мс/дел; $б$ – шкала времени 2 мс/дел; $в$ – шкала времени 1 мс/дел.

Сигналы: $A_0 + B_1$ (канал 1), $A_1 + B_2$ (канал 2), $A_{-1} + B_0$ (канал 3), $A_{-2} + B_{-1}$ (канал 4)

Как видно из приведенных осциллограмм, кратковременное включение пучка А приводит к появлению дифракционных порядков. Однако, динамика изменения мощности во времени в порядках A_j ($j = 0, 1$) и B_i ($i = 0, -1$) – асимметрична.

1.2. Волновое смещение на фоторефрактивной ЖК ячейке

Результаты включения-выключения пучков при поданном на ЖК ячейку постоянном электрическом поле 20 В приведены на рис. 5.

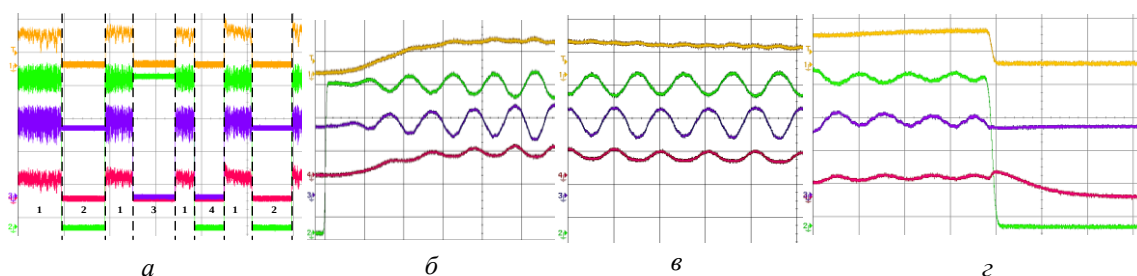


Рис. 5. Включение-выключение пучков:

a – шкала времени 5 с/дел: 1 – А, В включены; 2 – А выключен, В включен; 3 – А включен, В выключен; 4 – А, В выключены;

$б-г$ – шкала времени 20 мс/дел: $б$ – А включается, В включен; $в$ – А и В включены; $г$ – А выключается, В включен.

Сигналы: $A_1 + B_2$ (канал 1), $A_0 + B_1$ (канал 2), $A_{-1} + B_0$ (канал 3), $A_{-2} + B_{-1}$ (канал 4)

Хорошо заметна задержка появления дифракционных порядков относительно момента включения пучка А. Динамика изменения мощности во времени в порядках A_j ($j = 0, 1$) и B_i ($i = 0, -1$) – асимметрична. Затухание дифракционного порядка B_{-1} при выключении пучка А происходит за время ~ 50 мс.

Более сложное поведение дифракционных порядков наблюдается при частотном включении канала А (рис. 6).

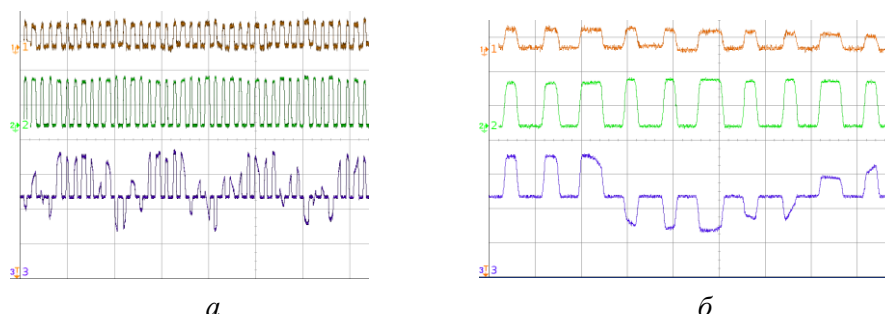


Рис. 6. Частотное включение канала А: а – шкала времени 10 мс/дел; б – шкала времени 2 мс/дел.
Сигналы: $A_1 + B_2$ (канал 1), $A_0 + B_1$ (канал 2), $A_{-1} + B_0$ (канал 3)

Как видно из осциллограмм, вклад пучка А в направлении пучка В может в краткие моменты быть как положительным, так и отрицательным.

Заключение

Показано, что выводы авторов экспериментальных работ об установлении фоторефрактивных свойств исследованных решеток методологически неточны. Фактически в работах сравнивались выходные пучки интерферометра Маха-Цендера, в котором решетка являлась выходным светоделителем.

Библиографические ссылки

1. *Frejlich J.* Photorefractive materials for dynamic optical recording: Fundamentals, characterization, and technology. Hoboken, USA : Wiley, 2020.
2. *Moerner W. E.* Photorefractive polymers / W. E. Moerner, A. Grunnet-Jepsen, C. L Thompson // *Annu. Rev. Mater. Sci.* 1997. Vol. 27, iss. 1. P. 585–623.
3. Nonlocal dynamic gratings and energy transfer by optical two-beam coupling in a nematic liquid crystal owing to highly sensitive photoelectric reorientation / P. Pagliusi J. [et al.] // *Opt. Soc. Am. B.* 2001. Vol. 18, iss. 11. P. 1632–1638.
4. All-optical photorefractive effect in bihole-transporting system polymeric composites / H. Mao-Mao [et al.] // *Chin. Phys. Lett.* 2004. Vol. 21, iss. 10. P. 1969–1972.
5. Observation of two-wave coupling during the formation of POLICRYPS diffraction gratings / R. Caputo [et al.] // *Optics Letters.* 2005. Vol. 30, No. 14. P. 1840–1842.
6. *Lynn B.* Photorefractive polymers for holography / B. Lynn, P.-A. Blanche, N. Peyghambarian // *J. of Polymer Science, Part B: Polymer Physics.* 2014. Vol. 52, iss. 3. P. 193–231.
7. Photonic crystal Mach-Zehnder interferometer based on self-collimation / D. Zhao [et al.] // *Appl. Phys. Lett.* 2007. Vol. 90, iss. 23. P. 231114-1–231114-3.
8. *Agashkov A. V.* An unequal-arm Mach–Zehnder interferometer for studying the structure of phase objects // *J. Opt. Technol.* 2015. Vol. 82, iss. 1. P. 6–11.
9. Effect of optical nonlinearity dynamical enhancement in dye doped liquid crystal under AC electrical field / A. V. Agashkov [et al.] // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 2002. Vol. 375, iss. 1. P. 269–280.
10. *Agashkov A. V., Varanetskii A. M.* Features of degenerate four-wave mixing in liquid crystal cell in dynamic photorefractivity mode // *J. Appl. Spectrosc.* 2024. V. 91, iss. 3. P. 131–137.
11. *Agashkov A. V.* Resonant domain photorefractive structure in the liquid crystal–photoconducting orienting layer system // *Technical Physics.* 2010. Vol. 55, iss. 7. P. 1009–1017.