

УДК 535.211; 53.087, 538.93

ДИНАМИЧЕСКИЕ ГОЛОГРАММЫ В НАНОСУСПЕНЗИИ

Г.Д. Иванова, С.И. Кирюшина, А.В. Мяготин

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

680021, Россия, Хабаровск, ул. Серышева, 47

tme@festu.khv.ru

Аннотация: Проведен теоретический анализ эффективности записи динамических голограмм в дисперсной жидкофазной среде с электрострикционной нелинейностью. Показано, что при большой интенсивности излучения амплитуды первых гармоник нелинейно зависят от величины последней.

Ключевые слова: *электрострикция, дисперсная среда, динамическая голография.*

В микрогетерогенной среде с различными показателями преломления компонентов на микрочастицы в электромагнитном поле действуют термодиффузионные и электрострикционные силы, которые могут быть причиной возникновения концентрационных потоков. В присутствии оптического поля наночастицы подвергаются действию электрострикционной объемной силы (оптической градиентной силы), которая перемещает их в области высокой интенсивности, таким образом увеличивая локальную плотность и, следовательно, локальный показатель преломления. Для малых интенсивностей это приводит к представлению коллоидных суспензий как искусственных керровских сред, в которых вызванное изменение показателя преломления n пропорционально приложенной интенсивности света. Такой механизм может быть использован для записи динамических голограмм в дисперсных средах [1-6].

Целью данной работы является теоретический анализ эффективности записи динамических голограмм в среде с электрострикционной нелинейностью при больших интенсивностях излучения, когда, в отличие от работ [5-6], изменение концентрации не обязательно мало.

В качестве дисперсной системы мы будем рассматривать прозрачную жидкофазную среду с наночастицами (наносуспензию), находящуюся под воздействием лазерного облучения. Пусть распределение интенсивности падающего излучения в плоскости слоя среды имеет вид (такое распределение возникает при интерференции двух плоских волн):

$$I(x) = I + I \cos(Kx), \quad -\infty < x < \infty, \quad (1)$$

где I – интенсивность световой волны, $K = 2\pi/\Lambda$ – волновой вектор интерференционной решетки, Λ – ее период, x – координата в плоскости слоя среды. Балансное уравнение, описывающее динамику концентрации наночастиц в жидкофазной среде с учётом диффузионного и электрострикционного потоков, можно записать в виде [5]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\nabla^2 C - \text{div}(\gamma C \nabla I). \quad (2)$$

Здесь приняты следующие обозначения: $C(x,t) = m_0/m$ – массовая концентрация дисперсных частиц, m_0 – масса наночастиц, m – масса среды, D – коэффициент диффузии, $\gamma = \frac{4\pi\beta D}{\bar{c}nk_B T}$, β – поляризуемость частиц, k_B – постоянная Больцмана, n – эффективный показатель преломления среды, \bar{c} – скорость света в вакууме.

Эффективный параметр кубичной нелинейности среды [1]:

$$n_2^{\text{eff}} = \partial n / \partial I. \quad (3)$$

Для малых изменений концентрации по сравнению с первоначальной C_0 величина этого параметра – постоянная среды, используя которую можно рассчитать дифракционную эффективность динамической голограммы [1]. Для немалых изменений концентрации частиц параметр нелинейности не является постоянной величиной и для нахождения концентрационного профиля решетки необходимо решить нелинейное уравнение (2). Уравнение (2) имеет простое аналитическое решение только в стационарном режиме [7]:

$$-D\nabla C + \gamma C \nabla I = 0. \quad (4)$$

Общее решение уравнения (4) ищем в виде $C = B e^{\alpha \cos(Kx)}$, где B – константа. Безразмерный параметр $\alpha = I/I_s$ показывает превышение интенсивности над интенсивностью насыщения ($I_s = D\gamma^{-1}$), при которой светоиндуцированное изменение концентрации $\delta C(x,t) \approx C_0$. Для больших изменений концентрации частиц имеем $\alpha \gg 1$. Константу B находим из условия нормировки (сохранения числа частиц):

$$\int_0^{\frac{\Lambda}{2}} C dx = \frac{\Lambda}{2} C_0. \quad (5)$$

Окончательно получаем выражение для зависимости концентрации частиц от приведенной координаты ($y = Kx$):

$$C(y) = \pi C_0 \left(\int_0^{\pi} e^{\alpha \cos y} dy \right)^{-1} \times e^{\alpha \cos y}. \quad (6)$$

Для численного расчета амплитуды концентрационных решеток по формуле (6) использовался Mathcad. Полученные зависимости для разных интенсивностей ($\alpha_1 = 0,1$, $\alpha_2 = 1$, $\alpha_3 = 10$) приведены на рис. 1. Видно, что для больших интенсивностей ($I \gg I_s$) решетка концентраций существенно несинусоидальна, что приводит к искажению профиля записываемой решетки (или появлению дополнительных дифракционных порядков). Поскольку амплитуда модуляции почти экспоненциально растет с

увеличением интенсивности, то можно ожидать значительного увеличения эффективности записи голограмм при больших интенсивностях. При этом максимальная интенсивность может быть намного больше интенсивности насыщения, что представляет особенный интерес для импульсных режимов записи голограмм в дисперсных средах.

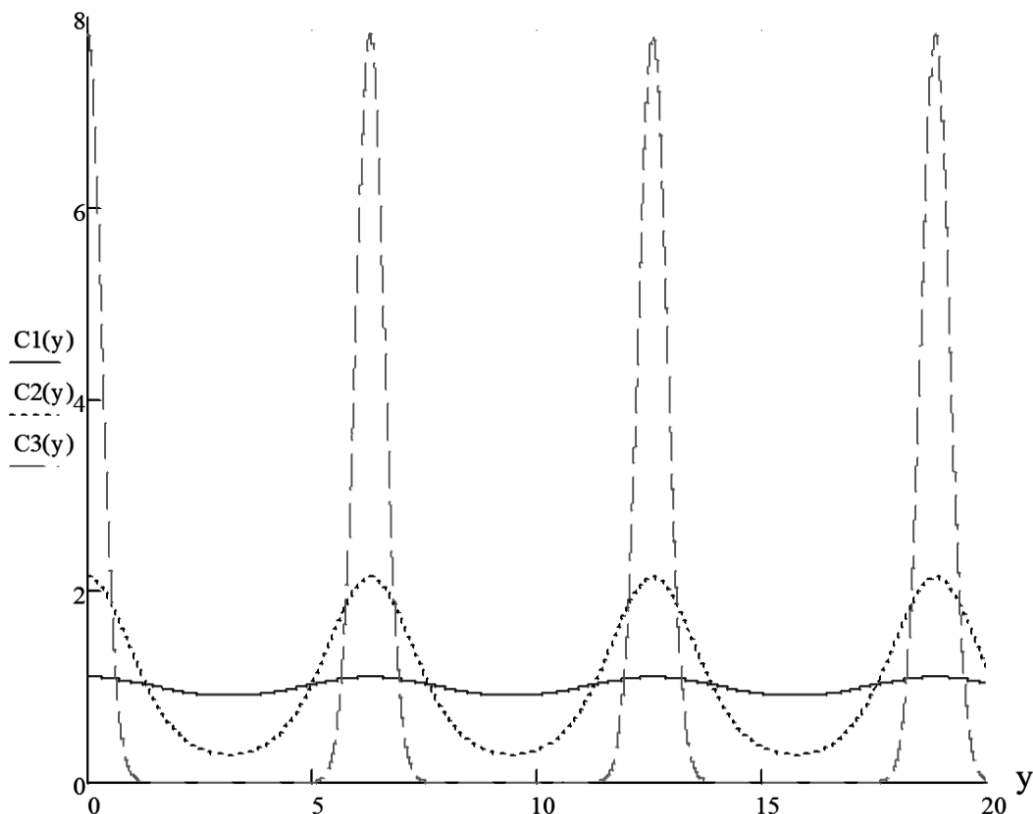


Рис. 1. Электрострикционные решетки для стационарного случая при разных интенсивностях излучения, где $C1(y) = C/C_0$ при α_1 , $C2(y) = C/C_0$ при α_2 , $C3(y) = C/C_0$ при α_3 .

Таким образом, показано, что при больших интенсивностях излучения запись динамической голограммы происходит в существенно нелинейном режиме, когда фазовая решетка становится несинусоидальной. При этом амплитуды первых гармоник нелинейно зависят от интенсивности излучения. Полученные результаты актуальны для динамической голографии дисперсных жидкофазных сред, а также для оптической диагностики таких сред [7-12].

Библиографический список:

1. **Иванов, В.И.** Термоиндуцированные механизмы записи динамических голограмм: монография / В.И. Иванов. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 142 с.

2. **Lee, W.M.** Nonlinear optical response of colloidal suspensions / W.M. Lee, R. El-Ganainy, D.N. Christodoulides, K. Dholakia, E.M. Wright // *Optics Express*. – 2009. – V. 17. – I. 12. – P. 10277-10289.
3. **Иванова, Г.Д.** Динамические голограммы в жидкофазной дисперсной среде / Г.Д. Иванова, С.И. Кирюшина, А.В. Мяготин // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 9 (Часть 10). – С. 2164-2168.
4. **El-Ganainy, R.** Soliton dynamics and self-induced transparency in nonlinear nanosuspensions / R. El-Ganainy, D. N. Christodoulides, C. Rotschild and M. Segev // *Optics Express*. – 2007. – V. 15. – I. 16. – P. 10207-10218.
5. **Иванов, В.И.** Динамические голограммы в микрогетерогенных жидкофазных средах / В.И. Иванов, А.И. Ливашвили, А.И. Лобов, С.Р.Симаков // *Оптический журнал*. – 2004. – № 9. – С. 26-27.
6. **Иванов, В.И.** Электрострикционный механизм самовоздействия излучения в жидкости с наночастицами / А.И. Ливашвили, К.Н. Окишев // *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия «Физика»*. – 2009. – Т. 4. – № 2. – С. 58-60.
7. **Gordon, R.** Particle-optical self-trapping / R. Gordon, J.T. Blakely, D. Sinton // *Physical Review A*. – 2007. – № 75(5). – P. 055801-055804.
8. **Иванов, В.И.** Самовоздействие гауссова пучка излучения в слое жидкофазной микрогетерогенной среды / В.И. Иванов, А.И. Ливашвили // *Оптика атмосферы и океана*. – 2009. – Т. 22. – № 8. – С. 751-752.
9. **Иванов, В.И.** Термолинзовая спектроскопия двухкомпонентных жидкофазных сред / В.И. Иванов, Г.Д. Иванова, В.К. Хе // *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. – 2011. – № 4. – С. 39-44.
10. **Иванова, Г.Д.** Исследование явлений массопереноса в бинарных средах термографическим методом / Г.Д. Иванова, С. И. Кирюшина, А.А. Кузин // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 2. www.science-education.ru/116-12579.
11. **Иванов, В.И.** Влияние термодиффузии на термолинзовый отклик жидкофазной дисперсной / В.И. Иванов, Г.Д. Иванова, В.К. Хе // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова*. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2013. – Вып. 5. – С. 112-115.
12. **Иванов, В.И.** Суперлинза в дисперсной среде / В.И. Иванов, Г.Д. Иванова, С.И. Кирюшина // *Бюллетень научных сообщений №18: сб. науч. тр.* – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2013. – С. 127-129.