

УВЕЛИЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА, ВОССТАНОВЛЕННОГО
С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ГОЛОГРАММ В НЕЛИНЕЙНО-
РАССЕИВАЮЩИХ СРЕДАХ

Г. Л. Бреховских, А. И. Соколовская

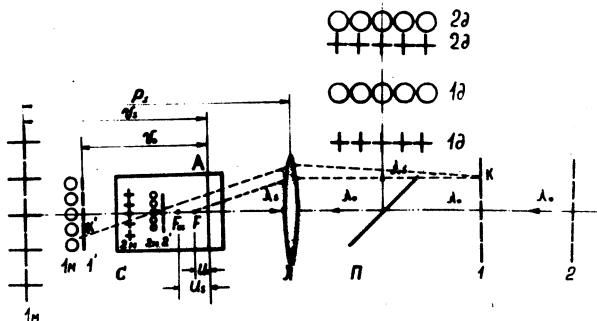
УДК 535.375.55

Получены и экспериментально подтверждены формулы для определения продольного и поперечного увеличения трехмерного изображения объекта, восстановленного при вынужденных рассеяниях. Увеличение подчиняется законам восстановления голограмм. Показана зависимость увеличения от положения окна кюветы с веществом, являющегося выходным для рассеянного света.

В настоящей работе получены и экспериментально подтверждены формулы для определения продольного и поперечного увеличения трехмерного изображения объекта, восстановленного при вынужденных рассеяниях (ВР) /1/. Вынужденные рассеяния (ВКР и ВРМБ) возбуждались в жидком азоте, сероуглероде, ацетоне гигантским импульсом рубинового и второй гармоникой неодимового лазеров также, как в работах /1-3/. Возбуждающее излучение фокусировалось линзой ($f = 10$ см) в слой вещества толщиной 100 мм. В пучок возбуждающего излучения до линзы L помещался трехмерный полупрозрачный транспарант - две сеточки на определенном расстоянии друг от друга (см. рис. 1). Действительные изображения сеточек (1' и 2') на длине волны накачки, полученные с помощью линзы L , могли быть расположены как внутри, так и вне кюветы с рассеивающим веществом. В пучках ВКР назад и ВРМБ после линзы наблюдалось восстановление действительного изображения объекта (1 δ и 2 δ).

Согласно основному принципу голографии восстановления волнового фронта при ВКР осуществляется путем воспроизведения поля рассеянного излучения интерференционной картины, образованной лучами возбуждающего света в кювете с активным веществом. Физические механизмы, приводящие к регистрации и восстановлению

световых полей в неоднородно рассеивающих веществах, могут быть различными /4-7/. Наряду с амплитудными решетками, связанными с модуляцией коэффициента усиления ВР, могут возникать фазовые решетки, связанные с изменением показателя преломления. Это под-



Р и с . I. Схема восстановления изображения объекта в пучках ВКР "назад" (+) и ВРМБ (о): I, 2 - объект, П - поворотная пластинка, Л - линза, С - кивета, I δ , 2 δ - восстановленные действительные изображения объекта

твердили наши опыты, проведенные совместно с А. Д. Кудрявцевой, по наблюдению дифракции лазерного излучения, когда в кивету с рассеивающим веществом направлены два когерентных пучка достаточной мощности под углом друг к другу.

Рассмотрим случай, когда пучок вынужденного рассеяния распространяется в направлении, противоположном возбуждающему излучению ("назад"). Для произвольной плоскости А, перпендикулярной оси киветы (см. рис. I), совпадение интерференционных картин возбуждающего и рассеянного света, когда длина волны рассеянного света существенно отличается от длины волны накачки, возможно лишь в том случае, если пространственное расположение мнимых источников рассеянного света отличается от расположения источников возбуждающего излучения ровно настолько, чтобы сохранились те же фазовые соотношения между отдельными волнами. Отсюда следует, что при смещении плоскости А вдоль оси должны смещаться мнимые изображения объектов IМ и 2М. Предположим, что интерференционная картина

возбуждающего излучения внутри кюветы образуется двумя сферическими волнами (см. рис. 1,2), источниками которых являются точка F , совпадающая с фокусом линзы, и произвольная точка K' действительного изображения объекта I' . Известно, что области максимальной интенсивности, образующиеся при интерференции двух сферических волн, представляют собой поверхности вращения семейства гиперболоидов. В плоскости A следами этих поверхностей являются concentрические окружности. При условии совпадения интерференционных картин для возбуждающих и рассеянных волн в плоскости A , исходя из уравнений, описывающих указанные окружности, можно рассчитать положение мнимых источников ВКР:

$$v_s = \left(\frac{1}{u_s} + \frac{\mu}{v_o} - \frac{\mu}{u_o} \right)^{-1};$$

$$N = \left(1 + \frac{v_o}{\mu u_s} - \frac{v_o}{u_o} \right)^{-1};$$
(I)

где u_o, v_o - расстояния от точечных источников накачки F и K до плоскости A , $\mu = \lambda_{\text{ВКР}}/\lambda_o$; u_s, v_s - расстояния от мнимых источников ВКР до плоскости A , N - поперечное увеличение, характеризующее смещение мнимых источников ВКР в поперечном направлении.

Из полученных соотношений ясно, что для произвольной плоскости A идентичная накачке интерференционная картина в поле рассеянного излучения может быть образована множеством пар источников рассеянных волн. Зная из эксперимента (см. рис. 1) расположение и поперечные размеры действительных изображений (1д и 2д) на длине волны ВКР и ВРМБ и определив по формуле линзы параметры соответствующих им мнимых изображений 1М и 2М, можно установить связь между продольным и поперечным увеличением, с одной стороны, и положением второго источника ВКР (F_s) и плоскости идентичных интерференционных картин (A) - с другой стороны. В табл. I приведены значения поперечного увеличения мнимого изображения (N) и величина расстояния (P_s) мнимого изображения от линзы, определенная с учетом показателя преломления рассеивающего вещества в конкретном случае восстановления изображения двух сеточек, расположенных на расстоянии 26 см и 50 см от линзы при ВКР в

жидком азоте ($\Delta\lambda = 2300 \text{ см}^{-1}$) и при ВРМБ в сероуглероде ($\Delta\lambda = 0,2 \text{ см}^{-1}$).

Таблица I

	В К Р		В Р М Б	
	P_s (см)	N	P_s (см)	N
Сетка I	$23,7 \pm 0,8$	$2 \pm 0,2$	$17,8 \pm 0,3$	$1 \pm 0,1$
Сетка 2	$14 \pm 0,5$	$1,4 \pm 0,2$	$13,4 \pm 0,2$	$1 \pm 0,1$

Из данных эксперимента и системы уравнений (I) определяется положение второго мнимого источника ВКР (F_m) и плоскости (A). Наши экспериментальные данные свидетельствуют о том, что во всех опытах при восстановлении изображения положение восстанавливающего источника ВКР (F_m) всегда зафиксировано в пространстве и совпадает с фокальной областью линзы F, а плоскость у окна кюветы, являющегося выходным для рассеянного света, играет роль голограммы. Следовательно соотношения (I) в реальных экспериментальных условиях приобретают следующий вид:

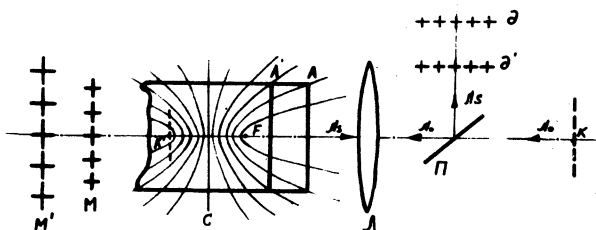
$$v_s = \left(\frac{\mu}{v_0} + \frac{1 - \mu}{u_0} \right)^{-1} \quad (2)$$

$$N = \left[1 + \frac{v_0}{u_0} \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right) \right]^{-1}.$$

Соотношения (I) аналогичны формулам, описывающим увеличение изображений при восстановлении голограммы /8/. Из табл. I видно, что полученное увеличение для ВРМБ близко к единице, а для ВКР существенно больше единицы, и восстановленные изображения далеко разнесены друг от друга в пространстве, если объект-транспарант находится близко к кювете с рассеивающим веществом (сетка I). При удалении объекта от кюветы (сетка 2) изображения, восстановленные при ВКР и ВРМБ, приближаются друг к другу, а величина поперечного увеличения к $\lambda_{\text{ВКР}}/\lambda_0$.

Если сместить кювету относительно интерференционной картины поля накачки (см. рис. 2), то у окна кюветы (Δ') будет кривое рас-

положение максимумов интерференционной картины возбуждающего излучения. Совпадение интерференционных картин накачки и ВКР в этом случае должно соответствовать новому положению минимума (M') источника ВКР. В табл. 2 приведены результаты измеренного эксперимен-



Р и с. 2. Схема, иллюстрирующая изменение увеличением изображением объекта в пучке ВКР "назад" (+) при смещении окна кюветы относительно интерференционной картины точечных источников на длине волны накачки K' и F

тально поперечного увеличения и продольного смещения (N, v_s) для трех положений кюветы ($u_0 = 1,2; 2,4; 5$ см), а также значения, полученные с помощью соотношений (2).

Таблица 2

u_0 (см)	В К Р			
	v_s (см)		N	
	эксп.	теор.	эксп.	теор.
5	$16 \pm 0,5$	16	$1,45 \pm 0,05$	1,47
2,4	$15,7 \pm 0,8$	15,8	$2 \pm 0,2$	2
1,2	43 ± 10	49	6 ± 2	6,5

Как видно из табл. 2 и рис. 2, продольное и поперечное увеличение минимума изображения меняется при смещении окна кюветы, являющегося выходящим для рассеянного света. Экспериментальные результаты хорошо согласуются с расчетами по формулам (2).

Таким образом увеличение изображения объекта, восстановленного при вынужденных рассеяниях света (ВКР и ВРМБ) подчиняется законам восстановления голограмм.

Поступила в редакцию
2 ноября 1977 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. И. Соколовская, Г. Л. Браховских, А. Д. Кудрянцева, ДАН СССР, 233, 356 (1977).
2. А. И. Соколовская, Г. Л. Браховских, А. Д. Кудрянцева, ДАН СССР, 237, 320 (1977).
3. А. Д. Кудрянцева, А. И. Соколовская, М. М. Сушинский, ЭТФ, 59, 1556 (1970); Краткие сообщ. по физике, № 2, 32 (1972).
4. Б. И. Степанов, Е. В. Ивакин, А. С. Рубанов, ДАН СССР, 196, 567 (1971).
5. Е. В. Ивакин, Автореферат диссертации. ИФ АН БССР, Минск, 1973 г.
6. Е. В. Ивакин, И. П. Петрович, А. С. Рубанов, Б. И. Степанов, Квантовая электроника, 2, 1556 (1975).
7. П. А. Апанасевич, А. А. Афанасьев, А. И. Урбанович, Квантовая электроника, 2, 2423 (1975).
8. Р. Кольер, К. Берхарт, Л. Лин, Оптическая голография, "Мир", 1973 г.