

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ**ГОЛОГРАФИЯ (ФОТОГРАФИРОВАНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВОЛНОВОГО ФРОНТА)**

В 1965 г. появились новые успехи в голографии. В работе <sup>1</sup> рассмотрена возможность применения метода фурье-преобразований \*) в спектроскопии и астрономии. Идея состоит в следующем. Луч света от исследуемого источника расщепляется на два луча, падающих на фотопластинку так, что их волновые фронты образуют угол  $\theta$  друг с другом. Плоскости падения лучей совпадают. Интенсивность света  $I(x)$  в плоскости пластинки равна

$$I(x) = \int_0^{\infty} I(\sigma) [1 + \cos \pi \lambda \sigma x] d\sigma. \quad (1)$$

Здесь  $\sigma = 1/\lambda$ ,  $\lambda$  — длина волны;  $I(\sigma)$  — спектральная интенсивность, ось  $x$  — линия пересечения плоскости пластинки с плоскостью падения лучей.

Второе слагаемое в (1) дает фурье-образ функции  $I(\sigma)$ . Обратное фурье-преобразование можно произвести, освещая проявленную фотопластинку когерентной монохроматической волной и собирая прошедший свет линзой (подробнее см. <sup>3</sup>). При этом в фокальной плоскости линзы может быть сфотографирован спектр  $I(\sigma)$ , симметрично смещенный по обе стороны от оптической оси.

Предлагаемый метод имеет ряд достоинств. Прежде всего, голограмма может фотографироваться без линз и щелей. Благодаря этому увеличивается чувствительность и сокращается время экспозиции. При фотографировании может использоваться статическая система зеркал, поскольку отпадает необходимость в сканировании спектра. Не требуется также предварительная градуировка системы. Измеряя расстояния между симметрично расположенными относительно оптической оси изображениями линий спектра и учитывая геометрию системы, легко рассчитать соответствующие длины волн.

Исследуемый источник света может быть протяженным, диффузным (например, плазма либо астрономический объект). В последнем случае преимущества данного метода особенно существенны. В работе <sup>1</sup> описан эксперимент по проверке предлагаемого метода.

В связи с применением голографии в рентгеновской микроскопии встает вопрос о возможности применения метода фурье-преобразований при использовании расходящихся пучков. Этот метод строго применим в случае параллельных пучков. Если источник излучения точечный, для создания параллельного пучка необходимы линзы. Однако в рентгеновской области применение линз невозможно. Кроме того, именно возможность фотографирования без помощи линз является одним из основных достоинств голографии.

Струок <sup>2</sup> показал экспериментально, что метод фурье-преобразований применим и в случае расходящихся пучков от точечных источников. Теория метода фурье-преобразований является аналогом теории этого же метода для случая параллельных пучков, при этом вместо плоских волн следует рассматривать сферические (см. рис. 1, а, б).

Теория голографии обычно строится в предположении, что источники света являются точечными (если используется лазер, то предполагается, что он обладает дифракционной расходимостью). Фактически все источники являются протяженными, и это, вообще говоря, приводит к потере разрешения. В работе <sup>3</sup> показано, что эти

\*) В методе фурье-преобразований (голография Фурье) волновой фронт перед фотографированием подвергается фурье-преобразованию.

потери могут быть скомпенсированы, если голограмма просвечивается подходящим источником.

Пусть  $T_s(\xi - a)$  — амплитуда волны подсветки, испускаемой протяженным монохроматическим источником, «центр тяжести» которого находится в точке  $a$ ,

$T_0(\xi)$  — амплитуда волны, «испускаемой» объектом. Фотопластинка фиксирует интенсивность

$$I(x) = [t_0 t_s^* + t_s t_s^*] + t_0 t_s^* \exp(2\pi i a x) + t_0^* t_s \exp(-2\pi i a x),$$

где  $t_0$  и  $t_s$  — фурье-образы  $T_0(\xi)$  и  $T_s(\xi - a)$  (см. <sup>1</sup>). Если просвечивать голограмму точечным источником, то изображение в фокальной плоскости линзы будет размазанным. Пусть голограмма просвечивается источником с амплитудой  $T_s(\xi - a)$ . Волна, прошедшая через голограмму, будет содержать член  $t_s [t_0 t_s^* \exp \times (2\pi i a x)] = [t_0 \exp(2\pi i a x)] [t_s t_s^*]$ ; здесь  $*$  означает корреляцию (см. <sup>1</sup>). В фокальной плоскости линзы будет получено соответствующее этому члену изображение  $(T_0 \otimes (T_s * T_s^*))|_{\xi=a}$ . Здесь  $\otimes$  — знак свертки. Если  $T_s * T_s^*$  — дельта-функция, то изображение равно  $T_0$ , т. е. искажения будут отсутствовать. Если  $T_s = T_s$ , то  $(T_s * T_s^*)$  — автокорреляционная функция, которая тем уже, чем шире спектр пространственных частот источника. Практически оказывается применимым достаточно протяженный источник, дающий, следовательно, большую интенсивность. Изображение содержит также член

Рис. 1. Фронты волн, распространяющихся из точек  $R$  и  $P$  ( $S_R$  и  $S_P$  соответственно).

а) После прохождения линзы  $L$ , в фокальной плоскости которой расположены  $R$  и  $P$ , фронты стали плоскими; б) фронты сферические.  $\Pi$  — фотопластинка.

$[T_0^* * (T_s \otimes T_s^*)]|_{\xi=a}$ . Свертка  $(T_s \otimes T_s^*)$  будет дельта-функцией только для симметричного источника. В остальных случаях соответствующее изображение размазано. Эксперимент <sup>3</sup> подтверждает приведенные рассуждения.

Строук и Рестрик <sup>4</sup> предложили новый метод получения голограмм с помощью протяженных пространственно-некогерентных источников. Идея метода состоит в том, что различные точки объекта дают свои интерференционные картины, которые складываются в плоскости фотопластинки по интенсивности (а не по полю). Такое суммирование возможно потому, что из разных точек объекта исходят некогерентные волны. Таким образом, фотографируется фурье-образ распределения интенсивности в плоскости объекта. Обратным фурье-преобразованием можно воспроизвести это распределение. Авторы <sup>4</sup> иллюстрировали метод следующим экспериментом. Объект — буква  $R$  освещался пространственно-некогерентным пучком. Отраженный пучок расщеплялся на два. На рис. 2 представлена эквивалентная схема эксперимента. Можно считать, что два пучка испускаются совершенно идентичными (зеркально отраженными) объектами. В плоскости фотопластинки интерферируют только лучи, исходящие из одной точки объекта (лучи из разных точек объекта некогерентны). Поэтому интенсивность  $I(x)$  равна

$$I(x) = \int I(\xi) \left[ 1 + \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \frac{\xi}{f} \right] d\xi. \quad (2)$$

Здесь  $x$ ,  $\xi$  — координаты в плоскости пластинки и в плоскости объекта,  $I(\xi)$  — распределение интенсивности в плоскости объекта,  $f$  — расстояние от объекта до фото-

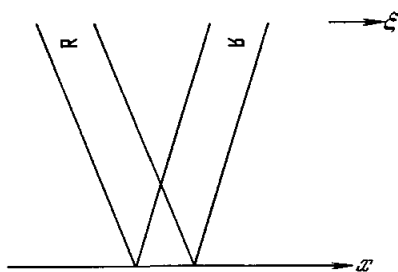
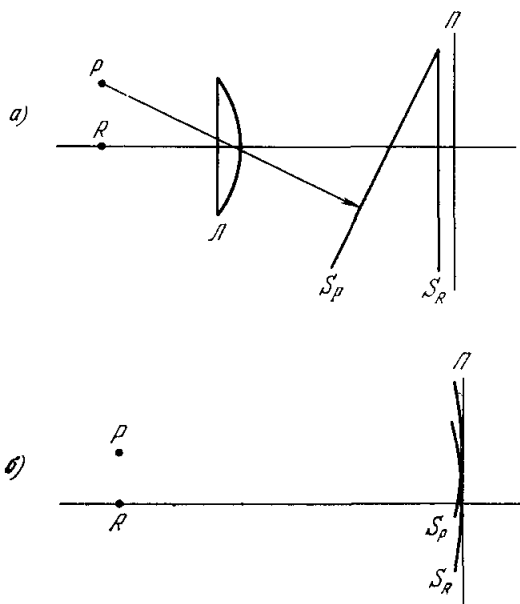


Рис. 2. Эксперимент Строука.

пластинки,  $\lambda$  — длина волны. Первый член в (2) дает постоянный фон, второй — фурье-образ распределения интенсивности в плоскости объекта.

Производя обратное фурье-преобразование, можно получить два изображения  $I(\xi)$ . В эксперименте <sup>4</sup> для освещения использовался лазер. Пространственная некогерентность достигалась пропусканием света через быстро вращающийся рассеиватель. Для контроля производилось фотографирование голограмм с неподвижным рассеивателем. Тогда при просвечивании вместо изображения голограмма давала размытое пятно. Можно показать, что оно представляет свертку  $I(\xi)$  с самим собой. Голограммы, сфотографированные при вращающемся рассеивателе, давали четкое изображение объекта.

Авторы <sup>4</sup> отмечают возможность применения данного метода в рентгеновской микроскопии. При этом для расщепления пучков можно использовать кристаллические решетки.

Недавно в нефизической литературе <sup>6</sup> появилось сообщение о том, что Строуку удалось получить голограммы, которые дают изображение при просвечивании белым светом. В <sup>6</sup> дана схема фотографирования таких голограмм. Особенность ее состоит в том, что опорный пучок и пучок, несущий информацию об объекте, направляются на противоположные стороны фотопластинки. Фотографирование производится в монохроматическом свете. При просвечивании голограммы белым светом изображение формирует лишь волна той частоты, которая используется при фотографировании.

В. Т. Платоненко

# ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. G. W. Stroke, A. Funkhouser, Phys. Letts. 16, 272 (1965).
2. G. M. Stroke, Appl. Phys. Letts. 6, 201 (1965).
3. G. W. Stroke, R. Restrick, A. Funkhouser, D. Brumm, Phys. Letts. 18, 274 (1965).
4. G. W. Stroke, R. C. Restrick, III, Appl. Phys. Letts. 7 (9), 229 (1965).
5. В. Т. Платоненко, УФН 87 (3), 575 (1965).
6. Лазер-фотограф, «За рубежом», № 18 (307), 28 (1966).