

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

На правах рукописи
УДК 535.41:778.38

ИСМАНОВ ЮСУПЖАН ХАКИМЖАНОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО
ЭФФЕКТА ТАЛЬБОТА ДЛЯ
СОЗДАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО
ШИРОКОДИАПАЗОННОГО
ИНТЕРФЕРОМЕТРА**

Специальность 01.04.05 — Оптика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

БИШКЕК 2002

Работа выполнена в Кыргызском Техническом Университете
им. И. Раззакова

Научный руководитель: МАРИПОВ А. доктор физико-математических наук, профессор, академик Нью-Йоркской академии наук

Официальные оппоненты: КУТАНОВ А. А. доктор технических наук, профессор, академик НАН КР;
ИСМАИЛОВ Д. А. кандидат технических наук

Ведущая организация: Кыргызско-Российский Славянский университет



Защита состоится 17 10 2002 г. в 14-00 часов на заседании Диссертационного Совета Д 01.01.160 при Институте физики НАН Кыргызской Республики по адресу: 720071, г. Бишкек, пр. Чуй 265-а.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке НАН Кыргызской Республики.

Автореферат разослан « » 2002 г.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета,
кандидат физико-математических наук  Меренкова Л.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Исследование и контроль характеристик высокотемпературной плазмы, аэрогидродинамические эксперименты, изучение распределений плотностей и температур в водоемах и т. д. – это те области, в которых невозможно обойтись без использования методов интерферометрии. Однако именно при исследовании этих сред проявляется один, но довольно существенный недостаток известных методов интерферометрии – все они могут работать только при одном, заданном значении чувствительности. Например, методы тальбот-интерферометрии, обладая малой чувствительностью к амплитудной модуляции, что важно при изучении динамических сред, имеют довольно низкую чувствительность. Методы голографической интерферометрии – это высокочувствительные методы, позволяющие уловить малейшие колебания неоднородностей среды. Но для исследования указанных выше сложных фазовых сред динамического характера требуются интерферометры различной чувствительности. Только в этом случае можно получить всеобъемлющую интерферометрическую информацию об этих средах. Причем для сред динамического характера эти интерферометры необходимо использовать одновременно, чтобы в любой момент времени получать информацию при различных значениях чувствительности. Однако трудности, связанные с временной согласованностью работы комплекса интерферометров, сильно усложняют системы интерферометрического контроля и измерения, предназначенные для этих сред. С этой точки зрения очень актуальной становится задача разработки интерферометра, позволяющего проводить съем информации в реальном масштабе времени как при низких уровнях чувствительности, подобно интерферометру Тальбота, так и в высокочувствительном режиме голографического интерферометра. Необходимость использования такого интерферометра, обладающего широким спектром чувствительности, для изучения динамических фазовых сред предполагает наличие нескольких выходных каналов различной чувствительности.

Цель работы. Исследование возможности создания многоканального широкодиапазонного голографического интерферометра (МШГИ) на основе голографического эффекта Тальбота. Для этой цели ставились и решались следующие задачи:

1. Получение математических соотношений, адекватно описывающих голографический эффект Тальбота, обнаруженный в процессе разработки метода бесщелевой радужной голографии.
2. Создание математической модели многоканального широкодиапазонного голографического интерферометра.
3. Разработка методики пространственной фильтрации дифракционных порядков, возникающих в выходных каналах интерферометра, как метода предварительной обработки интерференционных картин в этих каналах.
4. Компьютерное моделирование работы многоканального голографического интерферометра с целью разработки методов дешифровки интерференционных картин, получающихся в выходных каналах интерферометра.

Методика исследований.

1. Создание математических моделей рассматриваемых оптических процессов и систем.
2. Реализация на основе полученных математических моделей их компьютерной имитации.
3. Сравнение результатов компьютерного моделирования с результатами, полученными оптическими методами.

Научная новизна работы.

1. Обнаружен и аналитически обоснован новый оптический эффект, названный голографическим эффектом Тальбота: при восстановлении голограммы линейной решетки возникают не только мнимое и действительное изображения, но и последовательности саморепродукций этой решетки во всех трех порядках дифракции света.
2. Установлено, что восстановление саморепродукций решетки происходит при произвольном расстоянии между плоскостями решетки и фотоэмульсионки в процессе записи голограммы этой решетки.
3. Разработана математическая модель многоканального широкодиапазонного голографического интерферометра на основе голографического эффекта Тальбота.

4. В качестве метода пространственной фильтрации высоких порядков дифракции, предложен метод расфокусировки интерферограмм, получающихся в выходных каналах интерферометра. С этой целью разработана математическая модель процесса расфокусировки изображений некогерентными оптическими системами, что позволяет реализовать этот процесс на компьютере и, следовательно, включить его в схему автоматизированной дешифровки интерферограмм.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием преобразований Фурье и Френеля при построении математических моделей; использованием теоремы отсчетов при компьютерном моделировании; сравнении результатов компьютерного моделирования с результатами оптических экспериментов, полученными независимыми авторами.

Личный вклад автора. Автором, в соавторстве с А. Мариповым, обнаружен голографический эффект Тальбота и дано его теоретическое обоснование. Он участвовал в постановке задач. Им разработаны математические модели многоканального широкодиапазонного голографического интерферометра и процесса расфокусировки изображений некогерентной оптической системой, а также их компьютерные реализации. Проанализированы полученные результаты.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1. Обнаружение и теоретическое обоснование нового оптического эффекта, названного голографическим эффектом Тальбота.
2. Использование этого эффекта для разработки многоканального широкодиапазонного голографического интерферометра.

3. Разработка математической и компьютерной моделей многоканального голографического интерферометра, обладающего широким спектром чувствительности. Такой интерферометр может быть использован при исследовании сложных фазовых сред динамического характера, для контроля этих объектов в реальном масштабе времени.

4. Разработаны, с целью использования в компьютерной модели МШГИ, математическая и компьютерная модели процесса расфокусировки изображений некогерентными оптическими системами. Эти модели могут быть использованы также в других системах автоматизированной обработки информации.

Положения, выносимые на защиту.

1. Обнаружение и теоретическое обоснование голографического эффекта Тальбота.
2. Математическая модель многоканального широкодиапазонного голографического интерферометра (МШГИ).
3. Математическая модель процесса расфокусировки изображений некогерентными оптическими системами.
4. Результаты компьютерного моделирования МШГИ.

Апробация работы.

Основные результаты диссертации докладывались на 1-ой Республиканской научно-технической конференции молодых ученых Киргизии (Фрунзе, 1981 г.); 1-ой Всесоюзной конференции по радиооптике (Фрунзе, 1981 г.); 4-ой Всесоюзной школе-семинаре по оптической обработке информации (Фрунзе, 1986 г.); 6-ой Всесоюзной конференции по голографии (Витебск, 1990 г.); 2-ой Всесоюзной конференции по оптической обработке информации (Бишкек, 1990 г.); 15-ой Всесоюзной научно-технической конференции «Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстропотекающих процессов» (Москва, 1991 г.); советско-китайском семинаре «Голография и оптическая обработка информации» (Бишкек, 1991); международном семинаре «Голография и оптическая обработка информации» (Бишкек, 1997); международной научной конференции «Традиции и новации в культуре университетского образования» (Бишкек, 1998 г.); международной научно-технической конференции, посвященной 45-летию ФПИ-КТУ (Бишкек, 1999 г.); международной конференции «Проблемы управления и информатики» (Бишкек, 2000 г.); международной научной конференции «Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения» (Бишкек, 2001 г.); международном семинаре «Голография и оптическая обработка информации» (Бишкек, 2001 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 20 печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, насчитывающего 107 наименований. Диссертация включает 36 рисунков, расположенных по тексту, ее полный объем – 144 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается и обосновывается актуальность темы диссертации, излагаются цель, научная новизна и практическая ценность работы, достоверность полученных результатов, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор методов голографической и тальбот - интерферометрий пропускающих объектов, проведен анализ современного состояния исследований по эффекту Тальбота.

Большая часть основных положений теории, практических вопросов и потенциальных возможностей интерференционно-голографического метода была освещена в ранних работах Хормана, Пауэлла и Стетсона, Хефлингера, Вуеркера и Брукса (1965). На сегодняшний день методы голографической интерферометрии, широко используются при исследованиях фазовых сред. Однако проведенный анализ существующих схем голографических интерферометров показал, что, обладая высокой чувствительностью, такие интерферометры наиболее эффективны при исследованиях фазовых сред, имеющих слабое изменение неоднородностей. При исследованиях фазовых сред с сильным градиентом неоднородностей желательно использовать менее чувствительные методы интерферометрии, такие, как методы тальбот-интерферометрии. Из обзора методов тальбот-интерферометрии следует, что их возможности ограничены рамками фазовых объектов, имеющих сильные перепады характеристик среды. Эффективность этих методов, без сочетания их с более высокочувствительными методами при исследованиях сложных фазовых сред довольно низкая. Далее, основываясь на результатах проведенного обзора, ставится задача - создание интерферометра, сочетающего свойства низкочувствительного интерферометра Тальбота и высокочувствительные характеристики голографического интерферометра.

Во второй главе рассмотрен эффект Тальбота (рис.1), т. е. процесс безлинзового формирования изображений решетки, и дано теоретическое обоснование голографического эффекта Тальбота (Рис. 2).

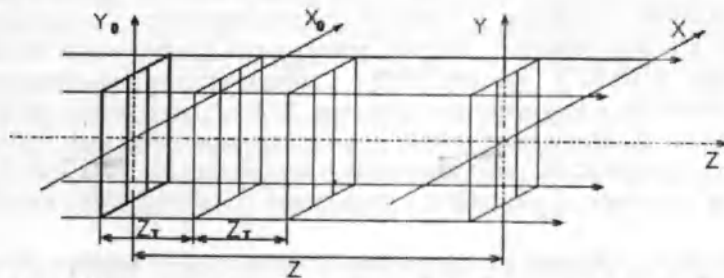


Рис. 1. Схема возникновения эффекта Тальбота для одномерных линейных решеток.

$z_T = \frac{2d^2}{\lambda}$ - постоянная Тальбота; $z = Mz_T$ - расстояние кратное постоянной Тальбота ($M=1,2,\dots$), d - период решетки, λ - длина монохроматической волны.

Теоретическое объяснение данному эффекту для решеток с неограниченной апертурой было дано Рэлеем (1836 г.). Для решетки с коэффициентом пропускания

$$t(x) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m \exp(2\pi j m x / d), \quad (1)$$

поле на расстоянии z от плоскости решетки определяется следующим соотношением

$$u_z(x, y, z) = \frac{\lambda^2 \exp(jkz)}{j2\pi} \exp(j\pi/2) \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m \exp[j2\pi (\frac{mx}{d} - \frac{m^2 \lambda z}{2d^2})] \quad (2)$$

Из (2) видно, что при $z = Mz_T$ - расстояние кратное постоянной Тальбота ($M=1,2,\dots$) ($z_T = \frac{2d^2}{\lambda}$ - постоянная Тальбота) решетка воспроизводит свое изображение.

Голографический эффект Тальбота (рис.2), в его самом общем виде, был обнаружен (1988 г.) в процессе развития метода бесчелевой радужной голографии, предложенного Мариповым А (Марипов А. Радужная голография.- Бишкек: Илим, 1988.- с. 146). Экспериментально было показано, что при восстановлении отбеленной голограммы линейной решетки белым светом, как в проходящем, так и в отраженном свете на плоскости голограммы восстанавливается радужное изображение решетки. Однако, при восстановлении такой голограммы когерентной опорной волной помимо мнимого и действительного изображений решетки ± 1 дифракции, в этих порядках восстанавливаются также последовательности их саморепродукций. Также было установлено, что такая последовательность саморепродукций восстанавливается и в нулевом порядке дифракции. Во всех трех порядках дифракции последовательности саморепродукций простираются в действительную область пространства, что позволяет наблюдать их без использования специальной оптики. Для объяснения этого эффекта был учтен тот факт, что коэффициент пропускания решетки может быть представлен как сумма $t = t_0 + t_m$, здесь t_0 - постоянная составляющая функции пропускания транспаранта (с нулевой пространственной

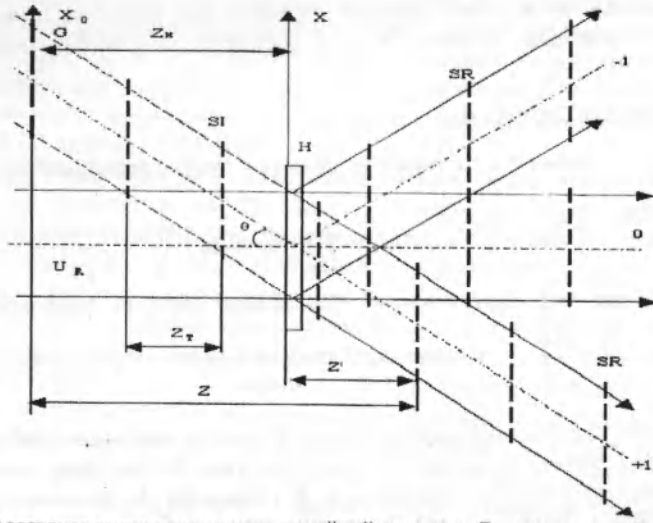


Рис. 2. Схема восстановления голограммы линейной решетки. G – мнимое изображение решетки, SI – положения саморепродукций решетки в мнимой области пространства, SR – положения саморепродукций в действительной области пространства, H – голограмма.

частотой), а t_m – составляющая с ненулевой пространственной частотой. Согласно (1),

$$t_0 = a_0, t_m = \sum_{m=-\infty, m \neq 0}^{\infty} a_m \exp[j2\pi(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2})]. \quad (3)$$

Т. е. при использовании внеосевой схемы записи голограммы решетки используются две опорные волны: падающая под некоторым углом к плоскости голограммы и соосная предметной волне. В этом случае при освещении решетки плоской волной, падающей под углом θ к плоскости голограммы $u(x, y, z) = \text{сexp}(jkx \sin \theta)$ (c – некоторая фазовая постоянная, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число) поле вблизи плоскости голограммы, в соответствии с (4), имеет вид

$$u_z(x, y, z) = u_0(x, y, z) + u_m(x, y, z) = \text{сexp}(jkx \sin \theta) a_0 + \text{сexp}(jkx \sin \theta) \times \sum_{m=-\infty, m \neq 0}^{\infty} a_m \exp[j2\pi(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2})]. \quad (4)$$

Распределение интенсивности в плоскости голограммы в этом случае имеет вид $I(x, y) = |u_R + u_0 + u_m|^2 = A \exp(jkz) c^* \times$

$$\times \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m \exp[-j2\pi(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2})] \exp(-jkx \sin \theta) + A \exp(-jkz) c \times \times \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m \exp[j2\pi(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2})] \exp(jkx \sin \theta) + \frac{\lambda^4}{4\pi^2} a_0^2 + \frac{\lambda^4}{4\pi^2} a_0 \times$$

$$\times \sum_{m=-\infty, m \neq 0}^{\infty} a_m \exp[-j2\pi(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2})] + \frac{\lambda^4}{4\pi^2} a_0 \sum_{m=-\infty, m \neq 0}^{\infty} a_m \exp[j2\pi \times (\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2})] \quad (5)$$

Т. к. коэффициент пропускания голограммы пропорционален распределению интенсивности $I(x, y)$, то при восстановлении голограммы опорной волной вида $u_R = A \exp(jkz)$, за голограммой возникает распределение поля пропорциональное указанному распределению.

Слагаемое $A \exp(jkz) c^* \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m \exp[-j2\pi(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2})] \exp(-jkx \sin \theta)$ ответственно за возникновение действительного изображения решетки и последовательности ее саморепродукций.

Выражение $A \exp(-jkz) c \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m \exp[j2\pi(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2})] \exp(jkx \sin \theta)$ описывает мнимое изображение решетки и последовательность ее саморепродукций.

Нулевой порядок дифракции, представляющий собой, по сути, результат восстановления голограммы Габора, описывается слагаемыми $\frac{\lambda^4}{4\pi^2} a_0^2$,

$\frac{\lambda^4}{4\pi^2} a_0 \sum_{m=-\infty, m \neq 0}^{\infty} a_m \exp[-j2\pi(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2})]$ и $\frac{\lambda^4}{4\pi^2} a_0 \sum_{m=-\infty, m \neq 0}^{\infty} a_m \exp[j2\pi(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2})]$. В этом направлении восстанавливаются одновременно мнимое и действительное изображения решетки и их последовательности саморепродукций. Сильный фон опорной волны в этом направлении устраняется методами пространственной фильтрации.

Положения саморепродукций для трех порядков дифракции определяются следующими соотношениями (z_H – координата плоскости голограммы):

$$z'_{-1} = k \frac{d^2}{\lambda} + [z_H - \text{int}(\frac{z_H}{z_T}) z_T], \quad k=0, 1, 2, \dots$$

$$z'_0 = k \frac{d^2}{\lambda} + [z_H - \text{int}(\frac{z_H}{z_T}) z_T], \quad k=0, 1, 2, \dots$$

$$z'_{+1} = -z_H + k \frac{d^2}{\lambda}, \quad k=0, 1, 2, \dots$$

В главе три рассмотрена возможность использования эффекта Тальбота в интерферометрических исследованиях и дается описание математической модели многоканального широкодиапазонного голографического интерферометра (МШГИ).

Аналогом МШГИ является интерферометр Тальбота (рис. 3), который представляет собой две решетки, последовательно расположенные на расстоянии кратном постоянной Тальбота. Между решетками располагают исследуемый

фазовый объект. Вид интерференционной картины, получающейся на экране Э, зависит от воздействия фазовой неоднородности на положения саморепродукций первой решетки. С этой целью было рассмотрено влияние простейших фазовых неоднородностей типа линза, плоскопараллельная пластина, клин на распределение плоскостей саморепродукций.

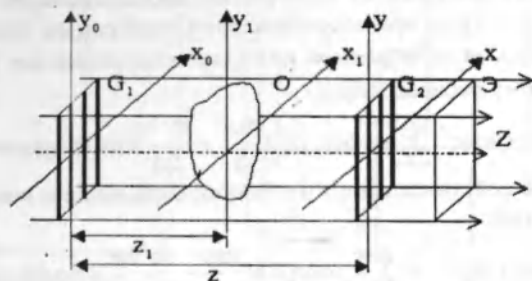


Рис. 3. Интерферометр Тальбота. G_1 и G_2 - первая и вторая решетки; O - фазовый объект; Э - экран.

Если в интерферометре Тальбота вместо второй решетки установить фотопластинку и осветить ее одновременно с предметной волной плоской опорной волной, падающей под некоторым углом θ к плоскости фотопластинки, то получается внеосевая схема записи голограммы решетки и фазового объекта. При восстановлении такой голограммы исходной опорной волной и волной, прошедшей сквозь решетку и измененный фазовый объект за голограммой возникают четыре волны, распространяющиеся под углами -2θ , $-\theta$, 0 , θ соответственно (рис. 4). При построении математической модели такого интерферометра коэффициент пропускания решетки рассматривался, как сумма нулевой и дифрагированной составляющих. Коэффициент пропускания исследуемого фазового объекта также рассматривался как сумма аналогичных слагаемых $t(x_1, y_1) = t_0 + \Delta t(x_1, y_1)$, где t_0 и $\Delta t(x_1, y_1)$, соответственно, недифрагированная и дифрагированная составляющие светового поля сразу за объектом. При этих условиях объектная волна, падающая на фотопластинку, представляет собой суперпозицию четырех волн

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (6)$$

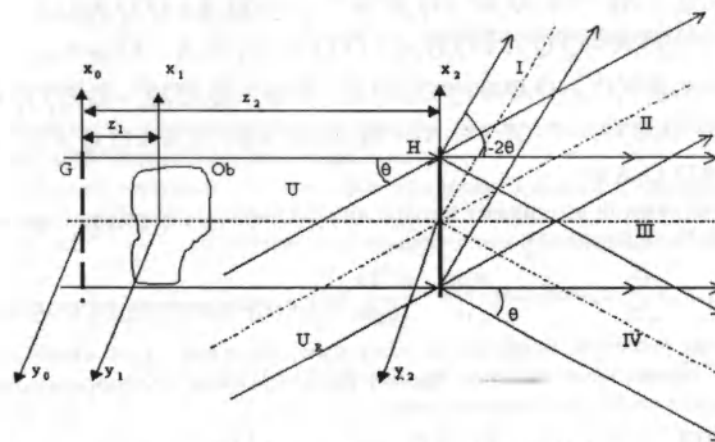


Рис. 4. Схема записи и восстановления голограммы H . U - объектная волна, U_R - плоская опорная волна, G - линейная решетка, Ob - фазовый объект. I, II, III, IV - выходные каналы интерферометра.

$$\text{где } Q_1 = 0.5 \exp(jkz_2) c_0 t_0, \quad (7)$$

$$Q_2 = 0.5 \exp(jkz_2) t_0 \sum_{m=-\infty, m \neq 0}^{\infty} c_m \exp[j2\pi(\frac{x_2 m}{d} - \frac{m^2 \lambda z_2}{2d^2})], \quad (8)$$

$$Q_3 = c_0 \frac{\exp(jkz_2)}{2j\lambda(z_2 - z_1)} \iint_{\infty} \Delta t(x_1, y_1) \exp\{\frac{jk}{2(z_2 - z_1)} [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2]\} dx_1 dy_1, \quad (9)$$

$$Q_4 = \frac{\exp(jkz_2)}{2j\lambda(z_2 - z_1)} \iint_{\infty} \Delta t(x_1, y_1) \sum_{m=-\infty, m \neq 0}^{\infty} c_m \exp[j2\pi(\frac{x_1 m}{d} - \frac{m^2 \lambda z_1}{2d^2})] \times \exp\{\frac{jk}{2(z_2 - z_1)} [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2]\} dx_1 dy_1 \quad (10)$$

Из (7) - (10) видно, что слагаемые Q_1 и Q_2 информацию об объекте не несут, а потому могут быть устранены методами пространственной фильтрации. В этом случае распределение интенсивности в плоскости голограммы определяется следующим соотношением

$$I = Q_3 Q_3^* + Q_3 Q_4^* + Q_3 A e^{j\psi} + Q_4 Q_3^* + Q_4 Q_4^* + Q_4 A e^{j\psi} + Q_4^* A e^{-j\psi} + Q_4^* A e^{-j\psi} + A^2. \quad (11)$$

При восстановлении такой голограммы исходной опорной волной $u_R = A \exp(-j\psi)$, где $\psi = x_2 \sin\theta$, и измененной предметной волной $Q = Q_3 + Q_4$ распределение поля за голограммой имеет вид:

$$u = I(Q_3 + Q_4 + Ae^{-j\psi}) = (Q_3^* A^2 + Q_4^* A^2) e^{-j2\psi} + (Q_3^* Q_3 A + Q_4^* Q_3 A + Q_3^* Q_4 A + Q_4^* Q_4 A + Q_3 Q_3^* A + Q_4 Q_4^* A + Q_3 Q_4^* A + Q_4 Q_3^* A + A^2) e^{-j\psi} + (Q_3 Q_3^* Q_3 + Q_4 Q_4^* Q_4 + Q_3 Q_3^* Q_4 + Q_4 Q_4^* Q_3 + A^2 Q_3 + Q_3 Q_3^* Q_4 + Q_3 Q_4^* Q_4 + Q_4 Q_3^* Q_3 + A^2 Q_4 + Q_4 Q_4^* A + Q_3 A^2 + Q_4 A^2) e^{j\psi} + (Q_3 Q_3^* A + Q_4 Q_4^* A + Q_3 Q_4^* A + Q_4 Q_3^* A) e^{j2\psi}. \quad (12)$$

Т. е. за голограммой возникают четыре дифракционных порядка, определяемых углами $-2\theta, \theta, 0, \theta$ (рис. 4):

$$I. u_I = t(x_1, y_1) \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_m \exp[j2\pi(\frac{x_1 m}{d} - \frac{m^2 \lambda z_1}{2d^2})] - \text{в этом канале восстанавливается}$$

изображение решетки, искаженное фазовым объектом. Этот канал позволяет проводить только качественную оценку распределения неоднородностей в фазовом объекте по виду искажений решетки.

$$II. u_{II} = [(Q_3 + Q_4)^* (Q_3 + Q_4 + Q_3^* + Q_4^*) + A^2] A$$

$$III. u_{III} = (Q_3^* + Q_4^*) (Q_3 + Q_4) (Q_3 + Q_4)^* + A^2 (Q_3 + Q_4 + Q_3^* + Q_4^*)$$

В направлениях II и III восстанавливаются одновременно исходный и измененный фазовые объекты, которые, складываясь, дают сложную интерференционную картину характерную для голографических интерферометров. Это высокочувствительные голографические каналы.

IV. $u_{IV} = (Q_3 + Q_4)(Q_3^* + Q_4^*)A$ - данный канал представляет собой обычный интерферометр Тальбота, т. е. канал низкой чувствительности.

Из сказанного видно, что рассмотренный интерферометр имеет четыре выходных канала различной чувствительности, причем проблема локализации интерференционной картины для каждого из каналов решена максимально просто, т. к. четкость картин наибольшая в плоскостях саморепродукций.

В главе четыре в качестве метода предварительной обработки интерферограмм, получающихся в выходных каналах МШГИ, рассмотрен процесс расфокусировки изображений некогерентной оптической системой. Предложенная математическая модель процесса расфокусировки изображений позволила определить вид оптических передаточных функций некогерентных оптических систем с квадратным и круглым входными зрачками.

Оптическая передаточная функция системы с квадратным входным зрачком (функция зрачка определяется соотношением $P(x, y) = \text{rect}(\frac{x}{a})\text{rect}(\frac{y}{a})$), имеет следующий вид

$$G(f_x, f_y) = 4 \frac{\sin[kn_x \varepsilon(a/2 - n_x)] \sin[kn_y \varepsilon(a/2 - n_y)]}{kn_x ckn_y \varepsilon a^2}, \quad (13)$$

где $n_x = \frac{\lambda d_1 |f_x|}{2}, n_y = \frac{\lambda d_1 |f_y|}{2}$. Здесь λ - средняя длина освещающей волны,

d_1 - расстояние от линзы до плоскости изображения, f_x, f_y - координаты в частотной области, ε - характеризует отклонение плоскости изображения от плоскости сфокусированного изображения.

Для оптической системы с круглым входным зрачком (функция зрачка

$P(x, y) = \text{circ}(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{a/2})$) оптическая передаточная функция имеет вид

$$G^{op}(f_x, f_y) = 4 \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \exp(-ikA\varepsilon x') 2\beta_1 dx' / (\pi a^2),$$

где $A = n_x \cos \varphi + n_y \sin \varphi = \sqrt{n_x^2 + n_y^2}, \alpha_1 = -\alpha_2 = \sqrt{R^2 - n_x^2 - n_y^2},$

$$\beta_1 = -\beta_2 = \sqrt{R^2 - x'^2 - \sqrt{n_x^2 + n_y^2}}.$$

В главе пять рассматриваются результаты компьютерного моделирования МШГИ и процесса расфокусировки изображений некогерентной оптической системой. Представлены интерференционные картины, получающиеся во всех четырех выходных каналах интерферометра, для линзы без aberrации, с

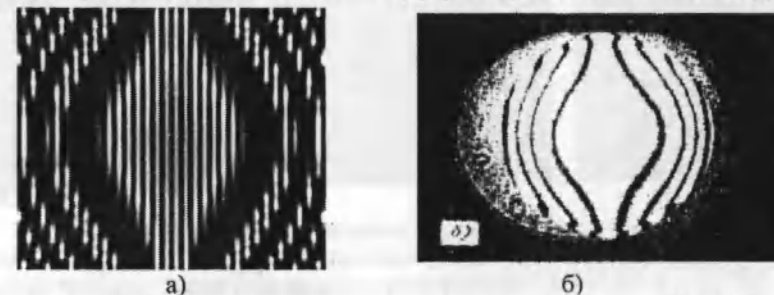


Рис. 5. Интерферограммы линзы с наличием сферической aberrации. Коэффициент aberrации $A=40$. Фокальная плоскость. а). Канал IV МШГИ; б). Интерферометр Тальбота.



Рис. 6. Интерферограммы линзы с aberrацией типа комы. Коэффициент aberrации $B=50$. Фокальная плоскость. а). Канал IV МШГИ; б). Интерферометр Тальбота.

наличием сферической аберрации и комы, для плоскопараллельной пластины, клина. Результаты моделирования сравнивались с результатами, полученными оптическими методами при аналогичных условиях. Данные по оптическим экспериментам брались из работ авторов, занимающихся интерферометрическими исследованиями с использованием интерферометра Тальбота и одномерной линейной решетки (метод Ронки, который, по существу, является интерферометром Тальбота) (Silva D. E. Talbot Interferometer for Radial and Lateral Derivatives. // Appl. Opt.- 1972.- v. 11.- No. 11.- p.p. 2613 – 2624 и Малакара Д. Оптический производственный контроль.- М: Мир.- 1987.- с. 377). Сравнение проводилось по IV каналу МШГИ, который по своим характеристикам представляет собой обычный интерферометр Тальбота. Сравнение дало хорошее совпадение результатов компьютерного моделирования и оптических экспериментов (рис. 5-6), что показывает адекватность предложенных математической и компьютерной моделей МШГИ.

Результаты компьютерного моделирования процесса расфокусировки изображений рассматривались на примере интерферограмм, получающихся в

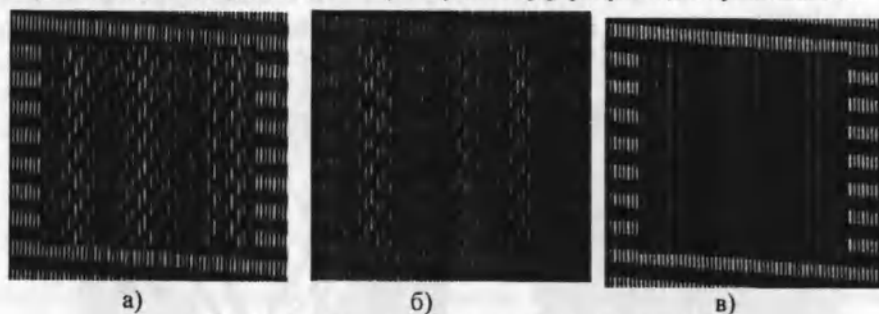


Рис. 7. Интерферограммы линзы. Канал III МШГИ.
а). Расфокусировка отсутствует, $\epsilon = 0$; б). Параметр расфокусировки $\epsilon = 0,002$; в). Параметр расфокусировки $\epsilon = 0,004$.

высокочувствительном канале III и низкочувствительном канале IV. Показано, что для каждого из каналов можно подобрать необходимую степень расфокусировки, при которой происходит четкое выделение низкочастотных составляющих сложной интерференционной картины (муара) и ослабляется влияние дифракционных порядков высокого порядка (рис. 7).

ВЫВОДЫ

1. Обнаружен и теоретически обоснован голографический эффект Тальбота. Показано, что при восстановлении голограммы одномерной линейной решетки, помимо возникновения мнимого и действительного изображений решетки во всех трех порядках дифракции, включая нулевой порядок, восстанавливаются также и последовательности их саморепродукций. Причем все эти

последовательности простираются в область действительных изображений, что позволяет наблюдать их без использования специальной оптики.

2. Теоретически обоснована возможность создания многоканального широкодиапазонного голографического интерферометра на основе голографического эффекта Тальбота.

3. Разработана математическая модель многоканального широкодиапазонного голографического интерферометра, каждый из каналов которого имеет свое значение чувствительности.

4. В качестве метода, позволяющего варьировать чувствительность каналов интерферометра, предложен метод расфокусировки изображений. Разработаны математическая и компьютерная модели процесса расфокусировки некогерентной оптической системой. Полученная модель может быть включена непосредственно в систему компьютерной обработки и дешифровки интерферограмм.

5. Работа многоканального широкодиапазонного голографического интерферометра промоделирована на компьютере. Полученные в результате компьютерного моделирования интерферограммы сравнивались с интерферограммами, полученными оптическими методами (интерферометр Тальбота и метод Ронки) при аналогичных условиях. Получено хорошее совпадение интерференционных картин.

6. Созданная компьютерная модель МШГИ может быть использована как элемент системы автоматизированной обработки и дешифровки интерферометрической информации, получающейся на выходе многоканального широкодиапазонного интерферометра.

Основные положения диссертации изложены в следующих публикациях:

1. Цифровое восстановление голограммы Френеля. // 1-я республиканская научно-техническая конференция молодых ученых Киргизии: Тезисы докладов.- Фрунзе, 1981.- стр. 70
2. Алгоритм восстановления предметного поля из СВЧ-голограммы. // Первая Всесоюзная конференция по радиооптике: Тезисы докладов.- Фрунзе, 1981.- стр. 40-41 /Соавт.: Марипов А.
3. Представление оптических изображений с помощью генетических функций и синтез стилизованных изображений. // Радиотехника и электроника.- 1985.- т. 30.- № 12.- стр. 2322-2325 /Соавт.: Марипов А., Токтосунов Р.
4. Моделирование процесса расфокусировки контурных изображений на ЭВМ. // Радиотехника и электроника.- 1985.- т. 30.- № 12.- стр. 2326-2334 /Соавт.: Марипов А., Токтосунов Р.
5. Оптимизация процесса голографического распознавания образов. // Шестая Всесоюзная конференция по голографии: Тезисы докладов.- Витебск, 1990.- стр. 77-78 /Соавт.: Марипов А.

6. Распознавание печатных букв методом расфокусировки. // Вторая Всесоюзная конференция по оптической обработке информации: Тезисы докладов.- Бишкек, 1990.- стр. 91-92 /Соавт.: Токтосунов Р.

7. Talbot Holographic Interferometer. // Holographic and Optical Information Processing: Proceedings of Soviet – Chinese Joint Seminar.- Bishkek, 1991.- p.p. 187 – 190 /Соавт.: Марипов А.

8. Многоканальный широкодиапазонный голографический интерферометр. // 15-я Всесоюзная научно-техническая конференция «Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстропротекающих процессов»: Тезисы докладов.- М., 1991.- стр. 64 /Соавт.: Марипов А.

9. Talbot effect (self – imaging phenomenon) in holography. // Optica Applicata.- 1992.- v. 22.- No. 1.- p.p. 15 – 21 /Соавт.: Марипов А.

10. The Talbot effect (a self – imaging phenomenon) in holography. // J. Appl. Phys.- v. 74.- No. 8.- 1993.- p.p. 7039 – 7044 /Соавт.: Марипов А.

11. The Talbot effect (a self – imaging phenomenon) in holography. // J. Optics (Paris).- 1994.- v. 25.- No. 1.- p.p. 3 – 8 /Соавт.: Марипов А.

12. Interferometer based on the Talbot effect in holography. // J. Optics (Paris).- 1995.- v. 26.- No. 1.- p.p.25 – 28 /Соавт.: Марипов А.

13. Многофункциональная голограмма. // Труды международного семинара «Голография и оптическая обработка информации».- Бишкек, 1997.- стр. 66-72 /Соавт.: Марипов А., Шамшиев Т., Ишмаков Р.

14. Синтез голограммы Френеля периодических объектов. // Традиции и новации в культуре университетского образования: Труды Международной научной конференции, ч. 2.- Бишкек, 1998.- с. 46 – 51 / Соавт.: Ишмаков Р.

15. О возможности синтеза бесщелевой радужной голограммы. // Традиции и новации в культуре университетского образования: Труды Международной научной конференции, ч. 2.- Бишкек, 1998.- с. 84 – 89 /Соавт.: Ишмаков Р.

16. Многоканальный голографический интерферометр. // Труды Международной научно – технической конференции, посвященной 45 – летию ФПИ – КТУ.- Бишкек, 1999.- с.91-95

17. Многоканальный интерферометр Тальбота. // Доклады международной конференции «Проблемы управления и информатики».- Бишкек, 2000.- стр. 208-212 /Соавт.: Марипов А.

18. Эффект Тальбота для решеток с ограниченной апертурой. //Международная научная конференция «Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения», ч. 1.- Бишкек, 2001.- стр. 15-20

19. Фазовые искажения линейной решетки плоскопараллельной пластиной. //Международная научная конференция «Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения», ч. 1.- Бишкек, 2001.- стр.21-24

20. Распределение плоскостей Тальбота при наличии фазовой среды типа тонкой линзы. //Международная научная конференция «Современные тех-

нологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения», ч. 1.- Бишкек, 2001.- стр.24-28

АННОТАЦИЯ

Исманов Ю. Х.

Көп каналдуу, кенири диапазондуу интерферометрди түзүү үчүн Тальботтун голографиялык эффектисин колдонуу мүмкүнчүлүгүн изилдөө

Бул иште, жаны оптикалык эффект – Тальботтун голографиялык эффектиси каралып, анын математикалык негизделиши берилет.

Бир өлчөмдүү, сызыктуу диффракция торгосунун калыптандырылган голограммасынын бардык диффракциялык иреттери үчүн, өздүк репродукция тегиздиктеринин абалдарынын аналитикалык туюнтмалары алынган.

Тальботтун голографиялык эффектисинин негизинде, көп каналдуу жана кенири диапазондуу голографиялык интерферометрдин математикалык модели иштелип чыкты.

Бул интерферометрдин сунушталган моделинин адекваттуулугу, компьютердик моделдештирүү натыйжаларын жана өз алдынча, башка авторлор тирабынан алынган оптикалык натыйжаларды салыштыруу жолу менен текшерилди. Жогорку диффракция иреттерин, мейкиндик боюнча фильтрлештирүү методу катарында, интерферометрдин чыгуу каналынан алынган интерферограммалардын фокустан четтелиш методу сунуш кылынат.

Максатка жетиш үчүн, когеренттүү эмес оптикалык системасынын, сүрөттөлүштөрдү фокустан четтетүү процессинин математикалык модели жана анын негизинде компьютердик модели иштелип чыккан.

АННОТАЦИЯ

Исманов Ю. Х.

Исследование возможности использования голографического эффекта Тальбота для создания многоканального широкодиапазонного интерферометра

В работе рассмотрен и математически обоснован новый оптический эффект – голографический эффект Тальбота. Получены аналитические соотношения для положения плоскостей саморепродукций для всех дифракционных порядков восстанавливаемой голограммы одномерной линейной решетки.

На основе голографического эффекта Тальбота построена математическая модель многоканального широкодиапазонного голографического интерферометра (МШГИ). Адекватность предложенной модели МШГИ проверялась сравнением результатов компьютерного моделирования МШГИ с аналогичными оптическими результатами, полученными независимыми авторами.

В качестве метода пространственной фильтрации высоких порядков дифракции, предложен метод расфокусировки интерферограмм, получаемых в выходных каналах интерферометра. С этой целью разработаны математическая и, на его основе, компьютерная модели процесса расфокусировки изображений.

ABSTRACT

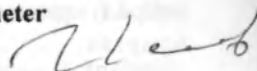
Ismanov Y. H.

Investigation of the possibility of the Talbot's holographic effect using for the making of the multichannel wide-range interferometer

In the thesis the new optical effect – Talbot's holographic effect is considered. Analytical relationships for positions of self – reproductions in all hologram diffractive orders were obtained.

On the base of Talbot's holographic effect the mathematical model of the multichannel wide-range interferometer (MWI) was developed. Adequacy of this model (for MWI) was verified by comparison of results of MWI computer simulation with optical results obtained by independent authors.

As the method of space filtration of high diffractive orders the method of interferogram defocusing was proposed. For this goal the mathematical model and computer one of the process of image defocusing by an incoherent optical system was developed.



Исманов Юсупжан Хакимжанович

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ТАЛЬБОТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО ШИРОКОДИАПАЗОННОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

Автореферат диссертации

Тех. редактор М. Назаркулова

Подписано к печати 26.03.2002 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆.
Бум. офс. Печ. офс. Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 127.
720044, г. Бишкек, ул. Сухомлинова 20, ИЦ «ТЕКНИК»,
т. 42-14-55.