



TÍTULO DE PATENTE No. 403086

Titular(es): UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

Domicilio: Lascuráin de Retana No. 5, Col. Centro, 36000, GUANAJUATO, Guanajuato

Denominación: INCREMENTO DE PROFUNDIDAD DE CAMPO CON MASCARILLAS CIRUCULARES DE FASE BINARIA.

Clasificación: **CIP:** G02B27/09; G02B27/00
CPC: G02B27/0938; G02B27/0012

Inventor(es): Héctor PLASCENCIA MORA; Eduardo AGUILERA GÓMEZ; Jorge OJEDA CASTAÑEDA; Cristina Margarita GÓMEZ SARABIA; Miguel TORRES CISNEROS; *

SOLICITUD

Número:
MX/a/2018/008444

Fecha de Presentación:
9 de julio de 2018

Hora:
11:17

Vigencia: Veinte años

Fecha de Vencimiento: 9 de julio de 2038

Fecha de Expedición: 25 de mayo de 2023

La patente de referencia se otorga con fundamento en los artículos 1º, 2º fracción V, 6º fracción III, y 59 de la Ley de la Propiedad Industrial.

De conformidad con el artículo 23 de la Ley de la Propiedad Industrial, la presente patente tiene una vigencia de veinte años improrrogables, contada a partir de la fecha de presentación de la solicitud y estará sujeta al pago de la tarifa para mantener vigentes los derechos.

Quien suscribe el presente título lo hace con fundamento en lo dispuesto por los artículos 5º fracción I, 9, 10 y 119 de la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial; artículos 1º, 3º fracción V inciso a), sub inciso iii), 4º y 12º fracciones I y III del Reglamento del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial; artículos 1º, 3º, 4º, 5º fracción V inciso a), sub inciso iii), 16 fracciones I y III y 30 del Estatuto Orgánico del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial; 1º, 3º y 5º fracción I y antepenúltimo párrafo del Acuerdo Delegatorio de Facultades del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

El presente oficio se signa con firma electrónica avanzada (FIEL), con fundamento en los artículos 7 BIS 2 de la Ley de la Propiedad Industrial; 3o de su Reglamento, y 1 fracción III, 2 fracción V, 26 BIS y 26 TER del Acuerdo por el que se establecen los lineamientos para el uso del Portal de Pagos y Servicios Electrónicos (PASE) del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, en los trámites que se indican.

SUBDIRECTORA DIVISIONAL DE EXAMEN DE FONDO DE PATENTES ÁREAS MECÁNICA, ELÉCTRICA Y DE DISEÑOS INDUSTRIALES Y MODELOS DE UTILIDAD

MARINA OLIMPIA CASTRO ALVEAR



Cadena Original:
MARINA OLIMPIA CASTRO ALVEAR|00001000000510738631|SERVICIO DE ADMINISTRACION
TRIBUTARIA|1987|MX/2023/53140|MX/a/2018/008444|Título de patente normal|2000|EGMG|Pág(s)
2|I7Se1OPcQ67ouxoztnKH6VHfyW8=

Sello Digital:
QZqg8tIlo7/thU3NPZVlx2XMSf2uscb6RCKG9DORic+//HAnsYSIDLkqdxhZWnW2d6qwEmOH/8C5xbKcQiTZtAqKG
L9WnP9XBhuzj+sk3ooOep1UE0NvrZsCcoG+iOJVBJDqFLeVO3pDPWF/sSMoR5T1edsCJ95EmpwTJCkgHnAdohkuju
uHdkAkLzcCDm4HdNqa23xw6VqprkVVs+RLx/wJYZBkl5yAFefUOdiiW45kiJPzRZ/dMMyn3/XkcBSKCSOo0wxji
9aEn16Yd+jWB70PoguBY4axmU0RsKdD63Q8NgRb1LLNijM7bZgaHF/9vYTqFHPm45TUNNJhQ==

* Información adicional en la siguiente página.

Continuación de Inventores

Inventor(es) Luis Manuel LEDESMA CARRILLO;



MX/2023/53140



INCREMENTO DE PROFUNDIDAD DE CAMPO CON MÁSCARILLAS CIRCULARES DE FASE BINARIA

DESCRIPCIÓN

OBJETO DE LA INVENCIÓN

- 5 Un dispositivo óptico para extender la distribución axial de la irradiancia de un sistema óptico, así como también para incrementar la profundidad de campo del sistema óptico. En este último caso, esto es posible si las imágenes que se graban presentan un contenido frecuencial menor a la quinta parte de la frecuencia espacial de corte. El dispositivo óptico utiliza mascarillas de fase binaria con una distribución circular. Cada mascarilla contiene
- 10 $N \times N$ elementos, los cuales están en posiciones especificadas por coordenadas polares del radio y del ángulo. La transmitancia en amplitud de cada elemento es igual a cada uno de los valores de una matriz de Hadamard de orden $N \times N$. Para órdenes iguales o superiores a dos, $N \geq 2$, las mascarillas son capaces de incrementar por un factor de N la razón de Strehl en función de los errores de focalización. Para el valor de $N = 16$, la
- 15 mascarilla también reduce el impacto del error de focalización sobre la Función de Transferencia de la Modulación (FTM). Así mismo, la mascarilla de $N=16$ es capaz de generar una información de Fisher más estable y con menos oscilaciones que otras mascarillas de fase en la técnica.

ANTECEDENTES

Tradicionalmente los sistemas ópticos formadores de imagen concentran la energía luminosa (que proviene de un plano del objeto a ser grabado) en el plano de la imagen; el cual está localizado en el mismo plano del detector luminoso. En la técnica se reconoce que se obtiene una imagen difusa, si el plano de la imagen no coincide con el plano del detector. Este resultado se expresa indicando que la imagen presenta un error de focalización.

Si el objeto está formado por varios planos (por ser un objeto volumétrico), entonces solo un plano está localizado sobre el plano del detector luminoso. Por lo que solo un plano no tiene error de focalización. Los otros planos están localizados antes (o después) del plano del detector luminoso. Consecuentemente, la imagen grabada es el resultado de superponer un cuadro es nítido (focalizado) y otros cuadros difusos (que sufren de error de focalización).

La calidad de la imagen resultante está asociada al grado de deterioro que adolecen los cuadros difusos. En otras palabras, se puede evaluar la calidad de la imagen resultante por el impacto que tiene el error de focalización sobre cada uno de los cuadros. Este resultado se expresa en la técnica indicando que el error de focalización limita la profundidad del campo del objeto, que reduce la profundidad de campo.

Para valorar la profundidad de campo de un sistema óptico, es común evaluar la variación que sufre la irradiancia axial, como función del error de focalización. Este criterio es conocido como la razón de Strehl en función del error de focalización. Strehl, K. 1895, Aplanatische und fehlerhafte Abbildung im Fernrohr, Zeitschrift für Instrumentenkunde 15 (Oct.), 362-370. La razón de Strehl es útil si la escena a ser grabada

consiste de un número finito de puntos luminosos. Para objetos con estructuras en su interior, en la técnica es común valorar el impacto del error de focalización, mediante la evaluación de la función transferencia de la modulación (FTM). Goodman, Joseph (2005). Introduction to Fourier Optics (3rd ed, ed.). Roberts & Co Publishers, ISBN 0-9747077-2-4.

- 5 Para reducir la influencia del error de focalización, en la técnica están reportados varias metodologías que incrementan la razón de Strehl. A. J. E. M. Janssen, S. van Haver, J. J. M. Braat, and P. Dirksen; Eur. Opt. Soc. Rapid Publ.: Strehl ratio and optimum focus for high-numerical-aperture beams, J 2, 07008 (2007), Luis Ledesma-Carrillo, Rafael Guzmán-Cabrera, Cristina M. Gómez-Sarabia, Miguel Torres-Cisneros, and Jorge Ojeda-Castañeda;
- 10 Tunable field depth: hyperbolic optical masks: Appl. Opt. 56, A104-A114 (2017); o que reducen las variaciones de la FTM con el error de focalización; US5748371A, US09875435, US10810446, US14142032. Recientemente, en la técnica, se opta por describir el impacto del error de focalización evaluando la información de Fisher. Hui Zhao and Yingcai Li, "Performance of an improved logarithmic phase mask with optimized parameters in a
- 15 wavefront-coding system," Appl. Opt. 49, 229-238 (2010), Hui Zhao and Yingcai Li, "Analytical and experimental demonstration of depth of field extension for incoherent imaging system with a standard sinusoidal phase mask," Chin. Opt. Lett. 10, 031101- (2012), Edward R. Dowski, Jr., and W. Thomas Cathey; Applied Optics: Extended depth of field through wave-front coding, 34, 11 (1995).
- 20 Por otro lado, las matrices de Hadamard han sido empleadas en sistemas ópticos, para diseñar y fabricar mascarillas rectangulares; con la finalidad de incrementar la cantidad de luz que captan los espectrógrafos. De este modo es posible reducir la presencia de ruido en la

detección de espectrogramas. Sloane; Codes for multiplex interferometry, Applied Optics: 8(10), 2103 (1969).

Hasta el día de hoy, y a nuestro mejor entender, no ha sido propuesto el uso mascarillas codificadas con los valores de las matrices de Hadamard, en una distribución circular, con el
5 propósito de reducir la influencia del error de focalización; sin afectar a la capacidad de colección luminosa.

Con base en el artículo: Hadamard circular masks: high focal depth with high throughput, L. Ledesma-Carrillo, C.M. Gómez-Sarabia, M. Torres-Cisneros, R. Guzmán-Cabrera, C. Guzmán-Cano, J. Ojeda-Castañeda; Optics express 25 (15), 17004-17020 (2017), la presente
10 invención propone incrementar la profundidad focal (razón de Strehl) y extender la profundidad de campo (reducir la influencia del error de focalización sobre la FTM), mediante el uso de mascarillas de fase binaria; empleando varios elementos con una distribución circular; en donde cada elemento está codificado con un valor de las componentes de la matriz de Hadamard de $N \times N$. El uso de estas novedosas mascarillas
15 permite de manera simultánea; extender la distribución axial de irradiancia e incrementar la profundidad de campo para imágenes con un moderado contenido de frecuencias espaciales. Con el objetivo de cuantificar la mejora en la calidad de la imagen del sistema óptico cuando se incorpora estas mascarillas de fase binaria, en distribución distribución circular, se evaluó numéricamente el incremento a la razón de Strehl contra el error de focalización; observando
20 que el dispositivo trabaja a su máxima captación luminosa. Para la mascarilla con $N=16$, se evaluó numéricamente el impacto del error de focalización sobre la FTM. Así mismo se utilizaron otras técnicas, concluyendo que las mascarillas de fase binaria, con distribución

circular, son capaces de incrementar la razón de Strehl y de reducir el impacto del error de focalización sobre la FTM.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

5 Figura 1. Dispositivo óptico con mascarilla de fase binaria, con distribución circular, para extender la irradiancia axial.

Figura 2. Gráficas que muestran el impacto del error de focalización en la FTM.

Figura 3. Mascarillas de fase binaria, codificadas con los elementos de las matrices de Hadamard de $N \times N$.

10

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

De acuerdo a la figura 1; un dispositivo óptico que consiste en una fuente luminosa puntual (1) que genera una onda esférica que incide en una lente (2) colocada a distancia focal, que produce una onda plana que ilumina de manera uniforme a la mascarilla circular de fase binaria (3), la luz que emerge de la mascarilla circular de fase binaria (3) incide sobre una segunda lente (4), colocada a distancia focal, cuya transmitancia genera el patrón de difracción de Fraunhofer asociado a la mascarilla circular de fase binaria (3) en el plano focal (5). La lente (4) genera una distribución en irradiancia (6) a lo largo del eje óptico conocida como la respuesta al impulso; la mascarilla circular de fase binaria (3) modifica la distribución de irradiancia (7), correspondiente a la de una mascarilla transparente. La nueva respuesta al impulso se incrementa en ancho en proporción al valor N . Los elementos de la mascarilla circular de fase binaria (3) se obtienen a partir de una matriz de Hadamard, en la

que a los valores de +1 se le asocia un valor en transmitancia de 1, mientras que a los valores de -1 se les asocia una transmitancia de π , los elementos así codificados se mapean en forma polar.

5 La transmitancia en amplitud (P) de la mascarilla circular de fase binaria (3) es

$$P(\rho, \varphi) = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N H_{m,n}(N) \operatorname{rect}\left(\frac{\varphi - \frac{\pi}{N}(2m-1)}{\frac{2\pi}{N}}\right) \operatorname{rect}\left(\frac{\rho^2 - \frac{\Omega^2}{2N}(2n-1)}{\frac{\Omega^2}{N}}\right) \operatorname{circ}\left(\frac{\rho}{\Omega}\right). \quad (1)$$

En la ecuación (1) se emplea las letras $H_{m,n}(N)$ para representar a los valores de los elementos de la matriz de Hadamard $N \times N$. La letra griega omega mayúscula (Ω) denota la frecuencia espacial de corte. La letra griega φ denota la variación angular, y la letra griega ρ representa la variación radial; que en nuestro caso es una variación al cuadrado de la variable radial. Para evaluar el desempeño axial de este tipo de mascarillas, es común recurrir al uso de la siguiente variable

$$15 \quad \zeta = \left(\frac{\rho}{\Omega}\right)^2 - \frac{1}{2}; \quad Q(\zeta, \varphi) = P(\rho, \varphi). \quad (2)$$

Este cambio de variable permite transformar a la ecuación (1) en la siguiente ecuación

$$Q(\zeta, \varphi) = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N H_{m,n} \operatorname{rect}\left(\frac{\varphi - \frac{\pi}{N}(2m-1)}{\frac{2\pi}{N}}\right) \operatorname{rect}\left(\frac{\zeta + \frac{1}{2} - \frac{(2n-1)}{2N}}{\frac{1}{N}}\right). \quad (3)$$

De la ecuación (3) se calcula el promedio angular $\langle Q(\zeta) \rangle$ que está definido como

$$\langle Q(\zeta) \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} Q(\zeta, \varphi) d\varphi = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} P(\rho, \varphi) d\varphi.$$

5 (4)

Considerando que

$$\frac{1}{N} \sum_{m=1}^N H_{m,n} = \begin{cases} 1 & \text{if } n=1 \\ 0 & \text{if } n \neq 1 \end{cases} = \delta_{n,1}. \quad (5)$$

10

La ecuación (4) puede ser escrita de la forma

$$\langle Q(\zeta) \rangle = \text{rect} \left(\frac{\zeta + \frac{1}{2} - \frac{1}{2N}}{\frac{1}{N}} \right). \quad (6)$$

15 Ahora bien, la razón de Strehl como función del error de focalización se evalúa realizando la siguiente operación

8

$$s(W_{2,0}) = \frac{\left| \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \langle Q(\zeta) \rangle \exp \left[i2\pi \left(\frac{W_{2,0}}{\lambda} \right) \zeta \right] d\zeta \right|^2}{\left| \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \langle Q(\zeta) \rangle d\zeta \right|^2}. \quad (7)$$

Al sustituir la ecuación (6) en la ecuación (7), se obtiene

$$5 \quad s(W_{2,0}) = \frac{\left| \int_{-\frac{1}{2}}^{-\frac{1}{2} + \frac{1}{N}} \exp \left[i2\pi \left(\frac{W_{2,0}}{\lambda} \right) \zeta \right] d\zeta \right|^2}{\frac{1}{N^2}}. \quad (8)$$

Que de manera equivalente se puede escribir como

$$s(W_{2,0}) = \text{sinc}^2 \left(\frac{W_{2,0}}{N \lambda} \right) \quad (9)$$

10

De la ecuación (9) es posible observar que, al usar una mascarilla circular de fase binaria (3), es posible modificar el criterio de tolerancia de Rayleigh de la siguiente forma

$$s(W_{2,0}) \geq 0.8; \quad \text{si} \quad W_{2,0} \leq N \frac{\lambda}{4} \quad (10)$$

La ecuación (10) implica que la tolerancia al error de focalización se incrementa por un factor de N. Esto significa que la profundidad focal se incrementa por un factor de N.

5

En la figura 2 se muestra la variación del área bajo la Función de Transferencia de la Modulación (FTM) para 6 valores de N (N=1 se refiere al caso de pupila libre). En ella se observa que, para los valores de N = 16 y N=32, aún a pesar de que los valores de área bajo la curva son inferiores a los obtenidos para valores de N menores, es posible apreciar que éstos permanecen constantes para los distintos valores de error de desenfocamiento. Este hecho establece la poca influencia presenta el sistema óptico al error de desenfocamiento cuando éste utiliza las máscaras circulares de fase. Sin embargo, a pesar de la invariancia de ambos casos, debido a que el área bajo la curva de la FTM es mayor para el caso de N=16 que para el caso de N=32, éste podría ser un criterio para seleccionar la máscara de orden N=16 como una mejor opción (mayor captación luminosa). Finalmente, este mismo criterio, además de proporcionar un método cuantitativo para estimar la profundidad de campo del sistema con el uso de máscaras de fase circulares de Hadamard, determina la invariancia del sistema al error de focalización a la MTF, lo que significa que se ha extendido la profundidad de campo del sistema óptico. Otras pruebas y sus resultados, que determinan las mejoras en el incremento en la profundidad de foco y de campo en el sistema, se muestra en el artículo. Los resultados mostrados en la figura 2 no son de carácter limitativo.

20

En la figura 3 se muestran algunos ejemplos de vista frontal de las mascarilla circular de fase binaria (3), para distintos órdenes (desde $N=2$ hasta $N=256$). El tono blanco representa una transmitancia unitaria, mientras que el tono negro representa una transmitancia de π (Un ejemplo, no limitativo, de obtener esta última transmitancia, es variando el espesor del medio de propagación).

REIVINDICACIONES

Habiendo descrito suficientemente nuestra invención, consideramos como una novedad y por lo tanto reclamamos como de nuestra exclusiva propiedad, lo contenido en las siguientes cláusulas:

- 5 1. Un dispositivo óptico que consiste en una fuente luminosa puntual (1) que incide en una lente (2) colocada a distancia focal, y que ilumina a una mascarilla circular de fase binaria (3), cuya luz incide sobre una segunda lente (4), colocada a distancia focal, que genera un patrón de irradiancia sobre el eje óptico. La mascarilla circular de fase binaria (3) se caracteriza porque: sus elementos se obtienen a partir de una
10 matriz de Hadamard en la que a los valores de +1 se le asocia un valor en transmitancia de 1, mientras que a los valores de -1 se les asocia una transmitancia de π , los elementos así codificados se mapean en forma polar.
2. Un dispositivo óptico de acuerdo a la reivindicación 1 en donde la mascarilla circular de fase binaria (3) extiende la distribución axial de la irradiancia del sistema óptico.
- 15 3. Un dispositivo óptico de acuerdo a la reivindicación 1 en donde la mascarilla circular de fase binaria (3) incrementa la profundidad de campo del sistema óptico.

RESUMEN

La presente invención se refiere a una familia de mascarillas compuesta de $N \times N$ elementos, los cuales tienen transmitancia en amplitud igual a uno o igual a menos uno. Los valores de los elementos constituyentes son iguales a los valores de los elementos de una matriz de Hadamard de $N \times N$. En la presente invención los elementos están distribuidos con una geométrica descrita en coordenadas polares. En la dirección radial los elementos se distribuyen con el cuadrado del radio. En la dirección angular los elementos se distribuyen linealmente con el ángulo. La codificación se realiza al asignar el valor uno (1) en la mascarilla, para los elementos de la matriz con valor de uno (1) y con un retardo de fase de π para los elementos de la matriz con valor de uno negativo (-1). El uso de este tipo de máscaras de fase en un sistema óptico permite una mejora sustancial en la profundidad focal del sistema óptico, sin disminuir la cantidad de luz que ingresa al sistema óptico. Para los órdenes con $N \geq 2$, las mascarillas incrementan por un factor de N , la razón de Strehl contra el error de focalización. Por otro lado, para el valor de $N = 16$, la mascarilla binaria reduce el impacto del error de focalización sobre la FTM, dentro de un intervalo de frecuencias bajas. De este modo se puede incrementar la profundidad de campo, siempre y cuando las imágenes a ser captadas posean un contenido frecuencial moderado. La evaluación numérica del criterio de información de Fisher permite afirmar que la mascarilla con $N = 16$, reduce las variaciones conforme se incrementan los errores de focalización. Consecuentemente, la mascarilla con $N = 16$ atenúa el impacto que ejerce el error de focalización sobre la FTM.

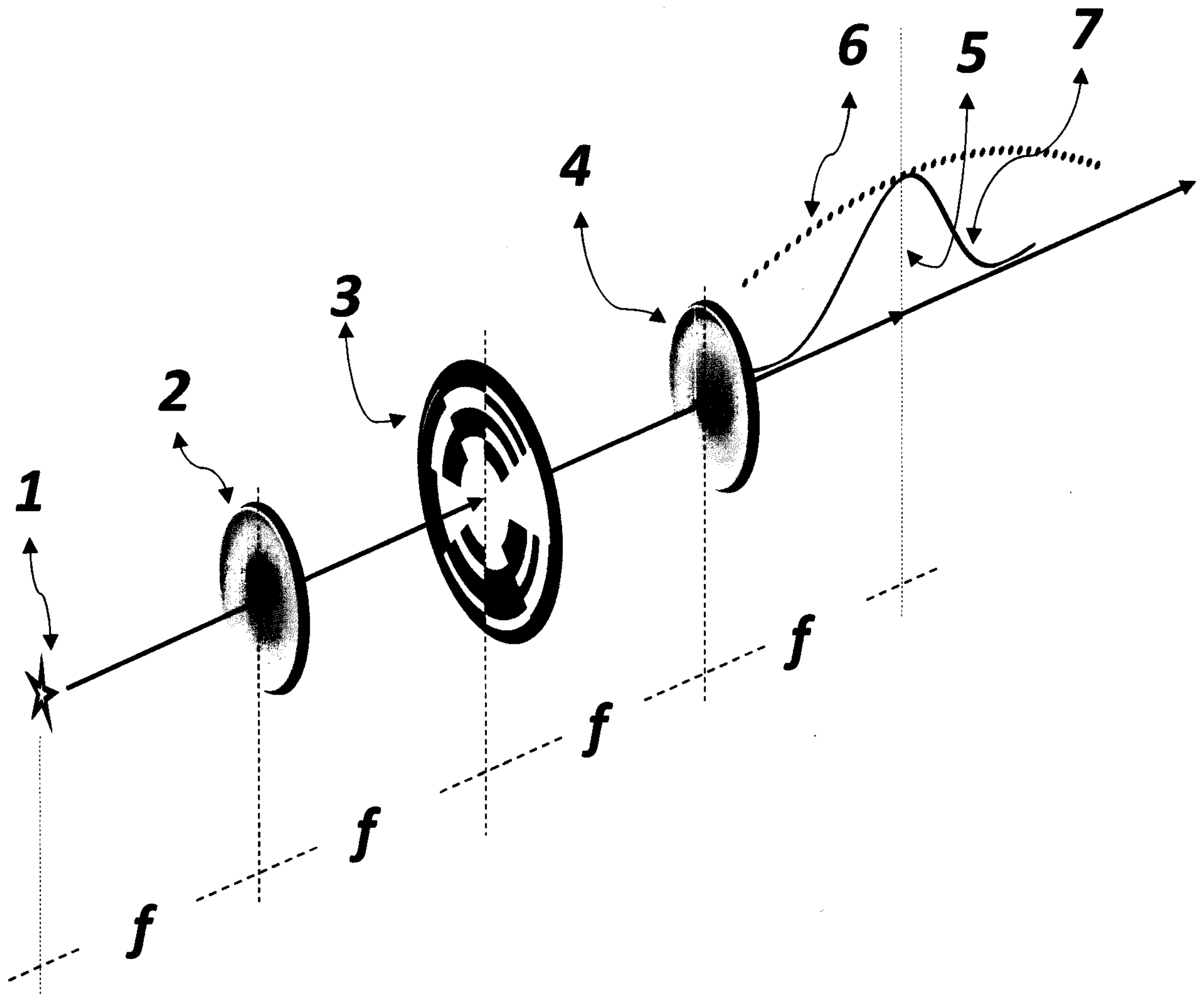


Figura 1

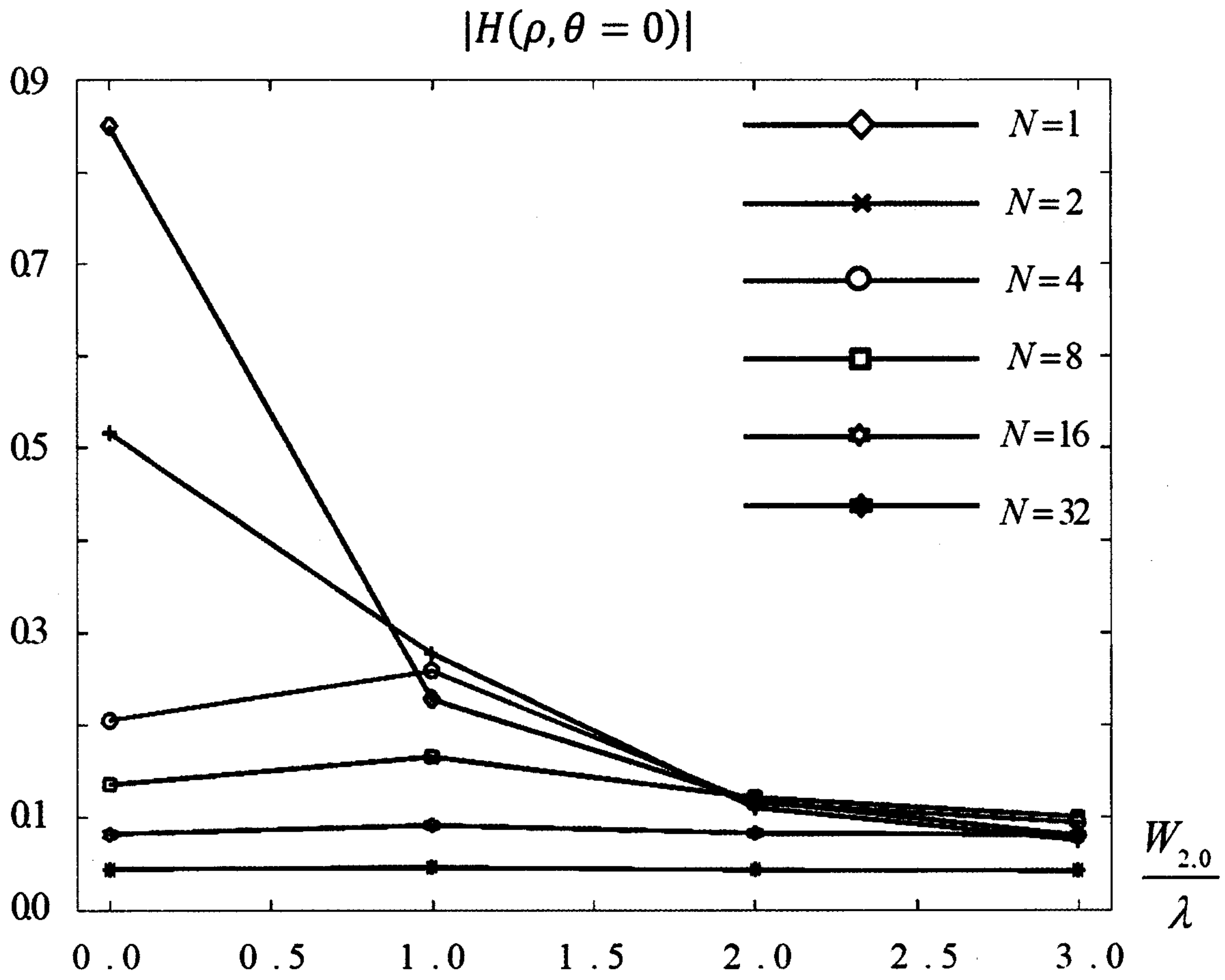


Figura 2

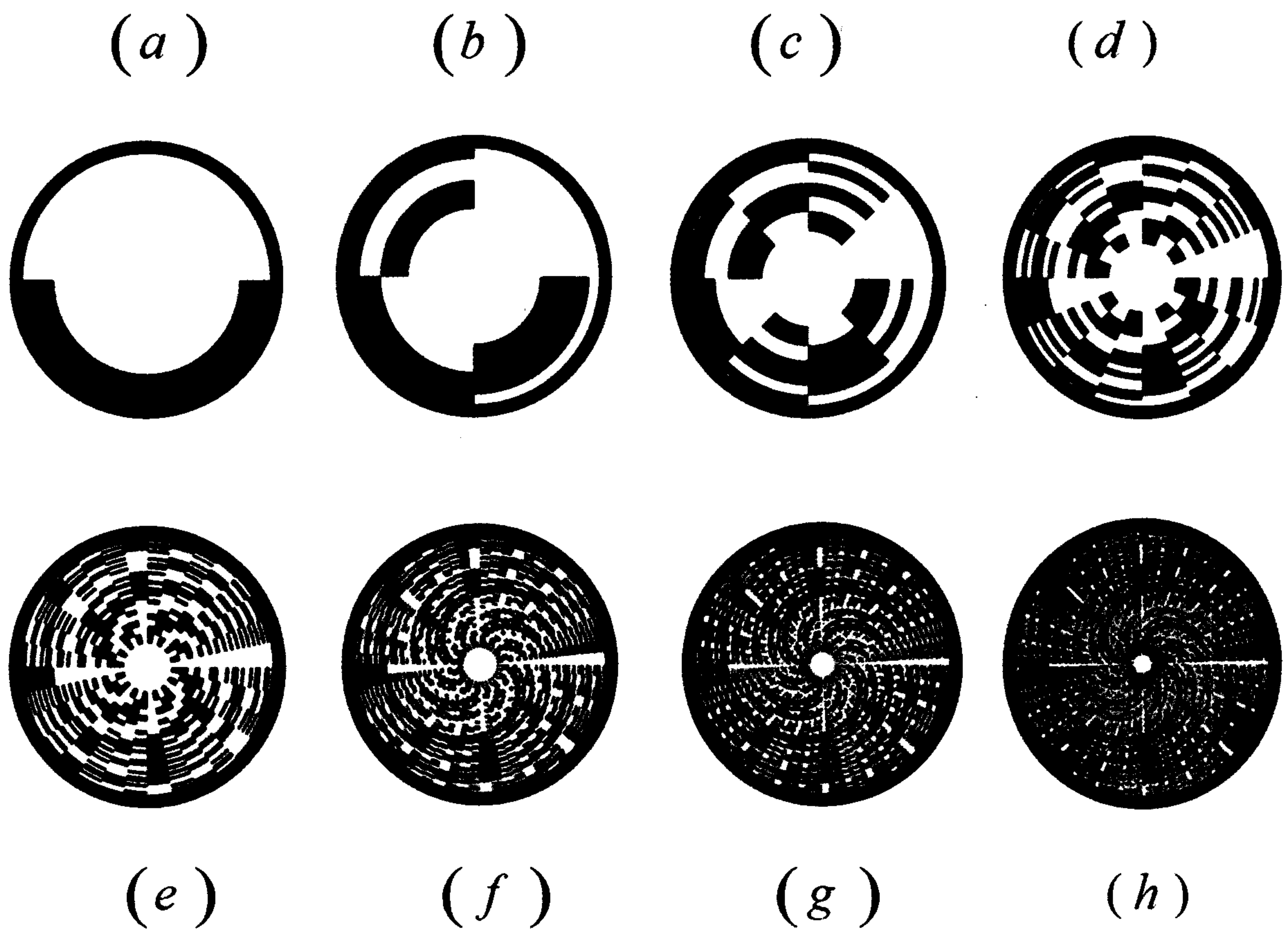


Figura 3