

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 459 449

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 79 15519

(54) Procédé et dispositif optiques de dénombrement, de localisation et de classement selon leur taille d'objets de forme circulaire, basés sur une intercorrélation par holographie.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 B 9/021; B 07 C 1/10; G 01 N 15/02; G 03 H 1/16;
G 06 M 11/00.

(22) Date de dépôt..... 18 juin 1979, à 14 h 52 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 2 du 9-1-1981.

(71) Déposant : OMNIUM DE REALISATIONS INDUSTRIELLES ET COMMERCIALES, résidant en
France.

(72) Invention de : Georges Bonnet et Eric de Bazelaire.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Société de protection des inventions,
25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.

La présente invention a pour objet un procédé optique permettant d'étudier une famille d'objets de forme circulaire, c'est-à-dire de dénombrer et/ou de localiser et/ou de classer selon leur taille lesdits objets en les comparant optiquement avec une référence de même nature.

Elle trouve une application dans le contrôle de pièces, grains, bulles, gouttes, etc....

Le procédé de l'invention met en oeuvre une méthode de reconnaissance des formes utilisant l'holographie de FOURIER. Cette méthode, relativement récente, est cependant bien connue et a notamment été largement décrite dans l'article de A. VANDER LUGT "Signal Detection by Complex Spatial Filtering" I E E E Transactions on Information Theory vol. IT-10 (1964) p. 139 à 145.

Cette méthode permet de comparer l'objet - élément à tester - appliqué sur une surface, avec une référence de même nature, en réalisant l'intercorrélation optique entre l'élément à tester et la référence.

La corrélation $\Gamma(\vec{M})$ de deux fonctions de x $A(\vec{M})$ et $B(\vec{M})$ est donnée par le produit :

$$\{A(\vec{M}) * B^*(\vec{-M})\} = \iint A(\vec{x} - \vec{M}) \cdot B(\vec{M} - \vec{x}) d\vec{x}$$

La fonction d'intercorrélation s'écrit :
 $\Gamma(\vec{M}) = A(\vec{M}) * B^*(\vec{-M})$, car $B^*(\vec{-M}) = B^#(\vec{M})$,
 $B^#(\vec{M})$ étant l'adjointe de la fonction $B(\vec{M})$.

L'utilisation des transformées de FOURIER de ces fonctions

$$\begin{array}{ccc} A(\vec{M}) & \iff & a(\vec{F}) \\ B^#(\vec{M}) & \iff & b^*(\vec{F}) \end{array}$$

simplifie considérablement le traitement de la corrélation puisque le produit en fréquence s'écrit $\gamma(\vec{F}) = a(\vec{F}) b^*(\vec{F})$ à partir duquel il est aisément, par une nouvelle transformation de FOURIER, d'obtenir la fonction d'intercorrélation.

La méthode de reconnaissance des formes est mise en oeuvre comme suit :

- on établit tout d'abord de manière classique un hologramme de la transformée de FOURIER de la référence choisie, à

l'aide d'une source cohérente monochromatique (laser), puis on éclaire cet hologramme en même longueur d'onde sous un angle convenable avec un champ reproduisant la transformée de FOURIER de l'élément à tester. On obtient alors après une seconde transformée de FOURIER, sur l'écran plan image, la fonction d'intercorrélation entre l'élément à tester et la référence.

La valeur de l'angle d'éclairage joue un rôle important. En effet, il est connu qu'en éclairant un hologramme avec une onde plane de même longueur d'onde, on obtient, selon l'angle d'inclinaison de cette onde, la restitution dans une direction donnée, soit de la transformée de FOURIER elle-même, soit de sa complexe conjuguée, qui par application d'une seconde transformée de FOURIER donnent respectivement soit la référence initiale, soit l'adjointe de cette référence.

Comme on l'a vu précédemment, dans le procédé de l'invention, seule la restitution de l'adjointe de la référence est intéressante, aussi faudra-t-il veiller à ce que le montage de restitution (angle d'inclinaison de l'onde plane) et de seconde transformation de FOURIER corresponde à ce cas.

Le degré de ressemblance entre l'élément à tester et la référence se traduira sur l'écran par la luminance de la tache qui représente la fonction d'intercorrélation.

Le procédé de l'invention a pour but l'étude d'une famille d'objets qui, projetés sur un plan, présentent une forme circulaire. Pour simplifier l'exposé, ces objets seront désignés dans la suite de la présente description, par le terme général "disque".

L'intercorrélation, par holographie de FOURIER, entre un disque à tester et un disque de référence est donc un moyen pour déterminer si dans une famille donnée, il existe des disques identiques à la référence, combien il en existe, et où ils sont localisés.

2459449

Cependant, cette technique sera difficile à utiliser avec efficacité, principalement en raison de son défaut de sélectivité.

L'étude de l'intercorrélation d'un disque de référence de rayon R unité avec des disques de rayon R' variable a été réalisée et les résultats obtenus ont permis d'établir les courbes de la figure 1 où ont été portées en abscisses la distance séparant les centres du disque de référence et du disque à tester et en ordonnées la fonction d'intercorrélation $\Gamma(r)$ des deux disques, les courbes indiquées 0,2, 0,4, 0,8, 1, 1,2, 1,4, 1,6 correspondent à la fonction d'intercorrélation pour les valeurs correspondantes du rapport R'/R .

Il est évident, en analysant ces courbes, que lorsque les disques de la famille auront des diamètres divers, il sera très difficile d'utiliser valablement les résultats. En effet, la fonction d'intercorrélation ne présentant pas de variation très marquée de son maximum en fonction du rayon, on ne pourra pas savoir s'il s'agit de deux disques de rayons différents ou identiques à celui du disque de référence : la sélectivité est donc mauvaise.

Le procédé de l'invention qui utilise également l'holographie de FOURIER pallie les inconvénients précédents et permet, quelle que soit la famille à étudier, de dénombrer les disques de rayon au moins identique à celui de la référence, de localiser lesdits disques, et de classer selon leur taille les disques de la famille. Pour cela, il suffira de répéter la mesure en changeant simplement à chaque fois le rayon de la référence.

L'invention a pour objet un procédé optique de dénombrement et/ou de localisation et/ou de classement automatique selon un critère de taille des disques d'une famille caractérisé en ce que, pour comparer chacun des disques de la famille avec une référence de même

nature, on réalise l'intercorrélation optique par holographie de FOURIER de l'ensemble des disques de la famille avec au moins un anneau de référence circulaire d'épaisseur faible devant le plus grand rayon.

5 Ce procédé présente, sur le procédé antérieur utilisant l'intercorrélation de deux disques, un avantage important puisque la fonction de corrélation présentera un maximum beaucoup plus marqué permettant de dénombrer et de localiser les disques d'un rayon égal ou supérieur à celui de l'anneau de référence et ensuite de les classer beaucoup plus facilement.

10

15 Les caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront mieux après la description qui suit d'exemples de réalisation donnés à titre explicatif et nullement limitatif. Cette description se réfère à des dessins sur lesquels :

20 - la figure 1, déjà décrite, représente un réseau de courbes montrant les variations de l'intercorrélation d'un disque de référence avec des disques de rayons différents ;

- la figure 2 représente un réseau de courbes montrant les variations de l'intercorrélation entre un anneau de référence et des disques de rayons différents ;

25 - la figure 3 représente un réseau de courbes montrant les variations de l'intercorrélation entre un anneau de référence et des anneaux de rayons différents ;

30 - la figure 4 représente un réseau de courbes montrant les variations de l'intercorrélation entre un anneau de référence différentiel et des anneaux de rayons différents ;

- la figure 5 représente les variations des maxima de la fonction d'intercorrélation disque-anneau différentiel en fonction du rapport des rayons ;

35 - la figure 6 illustre un anneau de référence homogène utilisable dans l'invention ;

- la figure 7 illustre un anneau de référence différentiel utilisable dans l'invention ;
- la figure 8 représente un montage expérimental permettant d'obtenir l'hologramme d'anneaux ;
- 5 - la figure 9 illustre un mode particulier de réalisation d'un dispositif selon l'invention ;
- la figure 10 illustre une variante du dispositif dans lequel l'hologramme fonctionne par réflexion à l'incidence de Bragg ;
- 10 - la figure 11 illustre des moyens d'obtention d'un hologramme.

Un anneau est la surface comprise entre deux cercles concentriques. Dans la présente description, il sera caractérisé en général par son rayon R qui correspond au rayon du cercle extérieur et par son épaisseur E, différence entre les deux rayons, qui sera souvent rapportée au rayon R.

20 Pour classer selon un critère de taille, les disques de la famille, il suffira de réaliser une série de mesures en faisant varier régulièrement le rayon de l'anneau de référence soit en augmentation, soit en diminution. A la suite de cette série de mesures, on obtiendra la fonction de répartition des disques de la famille en fonction de leur rayon.

25 L'épaisseur E de l'anneau sera choisie en fonction de la finesse de résolution recherchée. Très généralement, le rapport E/R sera compris entre 0,01 et 0,3. La sélectivité de la méthode sera choisie en fonction de la précision de circularité de la famille de disques, elle pourra dans certains cas particuliers (disques parfaits) atteindre par exemple 0,001.

30 35 L'étude de l'intercorrélation d'un anneau de référence de rayon $R = 1$ et d'épaisseur $E = 0,05 R$ avec des disques de rayons R' variables a été réalisée et les résultats ont permis d'établir les courbes de la figure 2 où ont été portées en abscisses la

distance r séparant le centre des disques du centre de l'anneau de référence et en ordonnées la fonction d'intercorrélation $\Gamma(r)$. Les courbes indiquées 0,8, 0,9, 1, 1,1, 1,2 correspondent à la fonction d'intercorrélation pour les valeurs correspondantes du rapport R'/R .

L'examen de la figure 2 montre que le procédé de l'invention présente sur le procédé antérieur un avantage appréciable lié au fait que la fonction d'intercorrélation présente pour les disques de rayon égal ou supérieur à celui de l'anneau de référence, un maximum marqué et que le "bruit" dû aux disques de rayons inférieurs peut être pratiquement éliminé.

Une série de mesures, au cours de laquelle on fera varier régulièrement le rayon de l'anneau de référence permettra d'obtenir aisément la fonction de répartition des disques de la famille en fonction de leur rayon.

Chaque mesure effectuée selon le procédé permet de déterminer le nombre de disques dont le rayon est égal ou supérieur à celui de la référence d'où l'on tire la fonction de répartition de la famille. Il ne permet pas cependant d'accéder directement à une autre caractéristique très importante des familles d'objets : la distribution de probabilité. Dans le procédé objet de la présente demande, la distribution de probabilité correspond à la variation, en fonction du rayon de référence, du nombre de disques de la famille dont le rayon est compris entre ce rayon de référence et un rayon voisin dont l'écart relatif avec le rayon de référence est prédéterminé.

Pour pallier l'inconvénient qui vient d'être mentionné, un moyen consiste, après avoir transformé par une technique optique classique, chaque disque à tester en un anneau de même rayon R'

2459449

et d'épaisseur E' telle que $E'/R' = E/R$, R étant le rayon et E l'épaisseur de l'anneau de référence, à réaliser selon la technique de l'invention l'intercorrélation par holographie de FOURIER entre la famille d'anneaux de rayons variables et l'anneau de référence.

Un procédé utilisant l'intercorrélation anneau-anneau donne sur le plan théorique des résultats très intéressants. En effet, le maximum de la fonction d'intercorrélation est encore plus marqué, puisque seuls les disques de rayons compris entre $R - E$ et R donnent une réponse perceptible (distribution de probabilité).

L'étude de l'intercorrélation d'un anneau de référence de rayon R égal à l'unité et d'épaisseur E égale à 0,05 R avec des anneaux de rayons R' variables et d'épaisseur E' égale à 0,05 R constante a été réalisée et les résultats obtenus ont permis d'établir les courbes de la figure 3, où ont été portées, en abscisses, r la distance séparant le centre de l'anneau de référence du centre de l'anneau à tester, en ordonnées $T(r)$ la fonction d'intercorrélation des anneaux. Les courbes indiquées 0,8, 0,9, 1, 1,1, 1,2 correspondent à la fonction d'intercorrélation pour les valeurs correspondantes du rayon R' .

Comme on pourra le constater à l'analyse de la figure 3, le maximum de la fonction d'intercorrélation est très marqué pour les anneaux de rayon R et faible pour les anneaux de rayons voisins inférieurs ou supérieurs à R.

Cette technique présente toutefois l'inconvénient d'être difficile sinon impossible à mettre en oeuvre valablement. En effet, la transformation optique du disque en anneau correspond en fait à une dérivation du signal. Cette dérivation ne peut être réalisée valablement que si le signal est pur ou, autrement exprimé, si le disque est parfait. En effet, si tel n'est pas le cas, la dérivation ne fera qu'accentuer les défauts

5 du signal sans permettre d'atteindre un résultat satisfaisant. Les objets qui sont étudiés par le procédé ne se présentant malheureusement presque jamais sous la forme de disques parfaits, l'utilisation de cette technique n'apporte pas une solution satisfaisante au problème.

10 Le procédé de l'invention dans une variante de mise en oeuvre préférée permet d'atteindre un résultat équivalent à celui fourni sur le plan théorique par l'intercorrélation entre deux anneaux, avec tous les avantages qui en découlent sans comporter les inconvénients de mise en oeuvre pratique.

15 La variante de mise en oeuvre du procédé de l'invention consiste à réaliser l'intercorrélation optique par holographie de FOURIER de l'ensemble des disques de la famille avec un anneau de référence différentiel. Cet anneau différentiel est constitué 20 d'un premier anneau de rayon R_1 et d'épaisseur E_1 faible devant R_1 , d'un deuxième anneau concentrique de rayon R_2 supérieur à R_1 et d'épaisseur E_2 , faible devant R_2 , tels que les deux anneaux soient jointifs et que leurs surfaces soient égales, ces deux anneaux étant traités pour être optiquement en opposition de phase relative.

25 On choisira l'épaisseur des anneaux en fonction de la précision et de la finesse de résolution recherchées.

30 Les caractéristiques de l'anneau différentiel sont simples à définir. En effet, il suffit de se fixer l'épaisseur et le rayon d'un des anneaux, E_2 et R_2 par exemple pour en déduire automatiquement le rayon R_1 de l'autre anneau et pour calculer facilement son épaisseur E_1 puisque les surfaces des anneaux sont égales.

35 En effet, si l'on désigne par R_o le rayon du petit cercle de l'anneau intérieur, R_o est donné par la relation :

$$R_0 = \sqrt{2 R_1^2 - R_2^2}$$

et l'épaisseur est alors donnée par la relation

$$E_1 = R_1 - R_0$$

Il est à remarquer que E_2 étant choisie en
5 général faible devant R_2 , E_1 aura une valeur très
voisine de E_2 .

10 L'étude de l'intercorrélation d'un anneau de
référence différentiel de rayon R_1 égal à 1 et d'épaisseur
 E_2 égale à 0,05 ($R_2 = 1,05$, $E_1 = 0,0526$) avec des
disques de rayons variables R' a été réalisée et les
résultats obtenus ont permis d'établir les courbes
de la figure 4. Les coordonnées et les indices utilisés
sont les mêmes que ceux de la figure 3. Il est à noter
que dans le cas de l'intercorrélation disque-anneau
15 différentiel, le maximum de la fonction d'intercorrélation
correspond aux disques de rayon R_1 , c'est donc
ce rayon qui servira de base au classement des disques.

20 On peut remarquer en comparant les courbes
des figures 3 et 4 que, pour une valeur de r inférieure
à 0,5 environ, les courbes de même indice sont pratiquement
identiques. On peut en déduire que dans ce
domaine l'intercorrélation d'un disque et d'un anneau
différentiel peut être assimilée à l'intercorrélation
de deux anneaux.

25 Il est à noter que lorsque r augmente la
fonction d'intercorrélation disque-anneau différentiel
décroît plus vite, et devient même négative ($r > 1,5$).
Ceci est dû au fait que l'intercorrélation fait alors
intervenir principalement l'anneau extérieur qui est
30 optiquement de signe opposé à celui de l'anneau
intérieur, ce qui confère ainsi à la fonction $\Gamma(r)$
une valeur négative.

35 La résolution spatiale obtenue par cette
variante du procédé est illustrée par la courbe des
maxima de la fonction d'intercorrélation disque-anneau
différentiel en fonction du rapport R'/R_1 . Cette courbe
a été tracée pour $E_2 = 0,05$ et $E_2 = 0,025$ (Fig. 5). La

largeur du pic à mi-hauteur (lié au pouvoir séparateur spatial) est de l'ordre de E_2 , ce qui signifie que l'énergie qui passe à travers le disque objet est concentrée en son centre dans le plan d'autocorrélation.

5 Le procédé de l'invention sera mieux compris à la lumière des exemples de modes de réalisation donnés ci-après.

Le procédé de l'invention consiste à réaliser l'intercorrélation optique par holographie de FOURIER entre un objet (disque quelconque) et un anneau de référence.

10 Il est essentiel, pour que le procédé donne toutes satisfactions que l'anneau de référence soit aussi proche que possible de la perfection et que l'établissement de son hologramme soit réalisé avec un maximum de soins.

15 Les anneaux de référence utilisés de préférence dans le procédé de l'invention et sa variante sont réalisés au moyen d'un microbélénographe. Au moyen de cet appareil, on éclaire chaque point d'information d'une plaque photographique avec une luminance calculée par ordinateur, on développe alors la plaque photographique, puis on 20 la place dans le montage optique destiné à établir l'hologramme.

L'anneau de référence homogène utilisé dans le procédé est illustré figure 6. L'épaisseur E de l'anneau est égale à $R - R_0$, R_0 étant le rayon du cercle intérieur.

25 Un anneau de référence différentiel utilisé dans la variante du procédé est illustré figure 7. Il est constitué d'un premier anneau de rayons R_1 et R_2 et d'épaisseur $E_2 = R_2 - R_1$, hachuré par une sinusoïde unidimensionnelle de pas p , et d'un deuxième anneau concentrique 30 de même surface de rayons R_0 et R_1 , d'épaisseur $E_1 = R_1 - R_0$ et hachuré par une sinusoïde unidimensionnelle de pas p en opposition de phase spatiale avec la sinusoïde de l'anneau précédent.

L'hologramme de ces anneaux est établi d'une manière classique. A titre d'exemple non limitatif, la figure 8 illustre le montage d'un dispositif utilisable pour établir les hologrammes. Ce dispositif est particulièrement 5 intéressant pour l'établissement de l'hologramme de l'anneau différentiel.

Une source lumineuse monochromatique (laser) 1 fournit un faisceau de lumière cohérente 2. Une fraction de celui-ci traverse un cube séparateur 3, est réfléchie par un miroir 4, 10 traverse un filtre spatial 5 puis un objectif 6 dont la focale est telle que l'ensemble optique ainsi constitué permet d'éclairer, sous un angle θ_1 , par une onde plane le plan objet 7 qui contient l'anneau de référence. La lumière diffractée en 7 est collectée par l'objectif 8 dont la 15 distance focale est f_0 , qui est en fait la transformée de FOURIER dans le plan 9. Le cube séparateur 3 fonctionnant en réflexion envoie l'autre fraction du faisceau 2 sur un miroir 10, le faisceau réfléchi traverse un filtre spatial 11 puis un objectif 12 dont la focale est telle que l'ensemble 20 optique 3, 10, 11, 12 ainsi constitué produit une surface d'onde plane qui éclaire sous un angle θ_2 le plan 9. Les chemins optiques 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 3, 10, 11, 12, 9 étant égaux, il y a interférence dans ce plan 9. Il suffit 25 de placer une plaque holographique dans le plan 9 pour enregistrer l'interférogramme ou hologramme de l'anneau placé dans le plan 7, qui, développé, sera utilisé dans le procédé de l'invention.

Lorsqu'on utilise ce montage pour établir l'hologramme de l'anneau différentiel l'angle θ_1 -inclinaison de 30 l'éclairage du plan contenant l'anneau- sera fonction de la longueur d'onde λ_0 de la source cohérente utilisée et du pas p de la sinusoïde hachurant les anneaux (cf figure 7) selon la relation $\theta_1 = \frac{\lambda_0}{p}$ (θ_1 étant petit).

Lorsqu'on utilise ce montage pour établir l'hologramme de l'anneau homogène cet angle θ_1 est nul, ce qui correspond, dans la relation précédente, à un pas p infini.

Les anneaux de référence peuvent être réalisés en utilisant la technique des couches minces. Cette technique consiste à recouvrir une plaque transparente d'une couche métallique mince en prenant soin au cours de l'opération de cacher la surface correspondant à l'anneau désiré. Pour réaliser l'anneau différentiel, il suffit de préparer selon le même processus un anneau dont la surface est celle des deux anneaux de l'anneau différentiel puis de déposer sur l'un de ces anneaux, en prenant soin de cacher le reste 5 de la surface, un matériau diélectrique dont l'épaisseur sera celle d'une lame demi-onde. Les deux anneaux seront 10 ainsi en opposition de phase.

Les dépôts des couches minces sur la plaque s'effectuent classiquement par évaporation sous vide.

Il est également possible de réaliser un hologramme d'anneau différentiel à partir d'un anneau simple avec un montage classique en opérant en deux étapes. Au cours de la première étape, on établit classiquement l'hologramme du premier anneau puis au cours de la deuxième étape on établit sur la même plaque holographique l'hologramme du deuxième anneau en veillant à ce qu'ils soient concentriques et joints et qu'ils aient même surface et en introduisant pour le deuxième anneau un déphasage de π au moyen d'une lame de phase placée sur le faisceau de référence.

Ces variantes de réalisation de l'anneau de référence sont cependant plus délicates à mettre en oeuvre que la technique décrite précédemment.

L'hologramme de l'anneau de référence étant établi, celui-ci sera placé dans un dispositif mettant en oeuvre le procédé de l'invention en réalisant l'intercorrélation des disques à tester et de l'anneau de référence. Plusieurs montages sont possibles pour le dispositif. La plupart de ces montages sont dérivés du montage à double diffraction illustré figure 9.

Le montage de la figure 9 comprend :

- une source de lumière cohérente monochromatique 1 ayant la même longueur d'onde que celle de la source utilisée pour l'établissement de l'hologramme ;
- un filtre spatial 13 ;
- 5 - un objectif 14 dont la focale est telle qu'il permet d'éclairer par une onde plane le plan objet 15 contenant les disques à identifier ;
- un objectif à focale variable 16 de même axe optique que l'objectif 14 qui crée sur le plan 17 la transformée de FOURIER spatiale des disques contenus dans le plan 15 avec un diamètre proportionnel à sa distance focale,
- 10 - un plan 17 contenant l'hologramme de l'anneau de référence établi antérieurement ;
- un objectif à focale variable 18, qui est couplé avec l'objectif 16 de manière à ce que leurs distances focales aient toujours une valeur égale, de sorte que les dimensions de la pupille de 19 sont toujours égales à celles du plan 15, objectif 18 dont l'axe optique forme avec l'axe optique 14.16 l'angle θ_2 défini lors de l'établissement de l'hologramme (cf. figure 8), ledit objectif produisant par transformée de FOURIER dans le plan 19 la fonction d'inter-corrélation du plan 15 avec la transformée de FOURIER de l'hologramme placé dans le plan 17 ;
- un récepteur 20 transformant en signal électrique le flux 25 reçu par le plan 19.

Ce récepteur 20 pourra par exemple être une caméra de télévision ou un photomultiplicateur.

Le principe de fonctionnement de ce montage est le suivant :

- 30 - Dans le plan 15 est placée une famille de disques de rayons différents et dans le plan 19 est placé l'hologramme de l'anneau homogène de rayon R. Les focales des objectifs 16 et 18 sont réglées à la valeur f_o utilisée pour l'enregistrement de l'hologramme de l'anneau (cf. figure 8).
- 35 S'il existe n disques de rayon R, la dimension de la transformée de FOURIER de la famille des n disques est la même que celle de l'anneau enregistré sur l'hologramme.

On aura alors une intercorrélation maximum dans le plan 19 où vont apparaître n points lumineux localisés aux mêmes coordonnées que les centres des disques du plan 15 dont le rayon est égal ou supérieur à R.

5 Pour dénombrer et localiser des disques de rayons différents de R, il suffit simplement de changer le réglage des focales, et d'étudier les nouveaux points lumineux qui correspondent aux disques, qui pour cette nouvelle distance focale ont la même transformée de FOURIER que la référence.

10 Pour obtenir la fonction de répartition des disques placés dans le plan 15, il suffit de compter le nombre de points lumineux présents dans le plan 19 pour chaque valeur de la distance focale des objectifs 16 et 18, et d'afficher ce nombre en fonction de la distance focale, en 15 utilisant par exemple une table traçante x, y.

Si l'on remplace dans le plan 17 l'hologramme de l'anneau homogène par celui de l'anneau différentiel un processus analogue permettra de déterminer à chaque mesure le nombre de disques de rayon égal au rayon R_1 de l'anneau différentiel et leur localisation.

20 Pour obtenir l'histogramme de la famille de disques placés dans le plan 15, il suffit de compter le nombre de points lumineux présents dans le plan 19, pour chaque distance focale des objectifs 16 et 18.

25 Il est à noter que ce dispositif, dans lequel deux objectifs à focale variable sont couplés, permet de simplifier la mise en oeuvre du procédé. En effet l'étude des disques de la famille est réalisée en changeant à chaque mesure non le rayon de la référence mais le rayon apparent 30 des disques. Le résultat final atteint est identique.

Dans le cas où l'on utilise comme récepteur 20 une caméra de télévision , on peut utiliser un amplificateur à seuil pour éliminer les termes parasites des pieds des fonctions d'intercorrélation. Il suffit alors d'écrêter 35 les pics restants et de les compter de façon digitale ou analogique.

Dans le cas où l'on utilise comme récepteur 20 un photomultiplicateur dont la surface est égale ou supérieure à celle de la pupille du plan 19, l'intégration est faite directement par le photomultiplicateur et le signal fourni correspond à la somme des pics. Cette technique ne permet malheureusement pas d'éliminer les pieds des fonctions d'intercorrélation; de plus il faut alors utiliser un filtre passe-bas électronique pour minimiser le bruit.

Pour simplifier le montage de la figure 9, notamment pour la réalisation d'un dispositif industriel, on peut utiliser un montage comprenant un seul objectif à focale variable, montage pour lequel il est nécessaire que l'hologramme fonctionne par réflexion dans l'angle de BRAGG. Ce montage particulier, illustré par la figure 10, comprend :

- une source de lumière cohérente monochromatique 21 ;
- un filtre spatial 22 ;
- un objectif 23 dont la focale est telle que le système permet d'éclairer par une onde plane un plan objet 24 contenant la famille de disques ;
- un cube séparateur 25 qui est traversé par le faisceau issu de 24 ;
- un objectif à focale variable 26 qui réalise la transformée de FOURIER spatiale du plan 24 dans le plan 27 ;
- un plan 27 contenant l'hologramme de l'anneau de référence orienté selon un angle θ_2 égal à celui défini lors de l'établissement de l'hologramme de l'anneau (cf. figure 13), par rapport à la normale à l'axe optique ;
- un plan 28 et un récepteur 29 recevant par réflexion par l'intermédiaire du cube 25 la fonction d'intercorrélation du plan 24 avec la transformée de FOURIER de l'hologramme placé dans le plan 27.

Dans ce montage particulier, les rayons lumineux traversent deux fois le même objectif à focale variable qui réalise la transformation de FOURIER à l'aller et au retour.

Pour ce montage, il est nécessaire de disposer d'un hologramme par réflexion qui peut être établi par exemple grâce au montage de la figure 11. Ce montage comprend :

- une source lumineuse cohérente monochromatique 31 ;
- un cube séparateur 32 divisant en deux faisceaux, le faisceau incident issu de 31 ;
- un système de miroirs 33-34 envoyant le faisceau réfléchi issu de 32 à travers un filtre spatial 35,
- un objectif 36 dont la focale est telle que le système 31 à 36 ainsi constitué éclaire le plan 37 qui contient l'anneau de référence, par une onde plane sous un angle θ_1 ;
- un objectif 38 de focale f_o qui recueille la lumière diffractée par le plan 37 et qui est en fait la transformée de FOURIER spatiale dans le plan 19 ;
- un miroir 40 qui recevant le faisceau transmis par le cube 32 l'envoie à travers un filtre spatial 41,
- un objectif 42 dont la focale est telle que le système 38, 40, 41, 42 permet d'éclairer par une onde plane le plan 39 sous un angle θ_2 par rapport à la normale au plan 39.

Le fonctionnement de ce montage est tout à fait analogue à celui de la figure 8, la seule différence étant que le faisceau de référence éclaire le plan 39 qui contient la plaque holographique du côté opposé, mais avec le même angle θ_2 . Les deux chemins optiques étant égaux il y a interférence dans le plan 39, dans les trois dimensions.

Le procédé de l'invention est utilisable pour étudier toute la gamme des objets présentant une forme sensiblement circulaire. A titre d'exemple d'utilisation du procédé, on peut citer :

- l'étude des bulles de gaz présentes dans un liquide ;
- l'étude des gouttes liquides présentes soit dans un autre liquide non miscible (émulsion) soit dans un gaz (aérosols) ;
- l'étude de la granulométrie des grains en suspension dans un liquide.

Les mesures correspondantes peuvent être réalisées soit directement sur l'échantillon en plaçant la gaine transparente contenant le fluide porteur dans le plan objet du dispositif, soit par l'intermédiaire de photographies de ces milieux.

On peut citer également comme application du procédé l'étude de la granulométrie des nodules sous-marins réalisés à partir des images obtenues par l'intermédiaire d'une caméra et d'un écran de télévision photographié ou par l'intermédiaire d'une caméra et d'un imageur cohérent.

Le procédé de l'invention peut naturellement s'appliquer à l'étude d'objets qui, bien que non circulaires, se présentent sous la forme voisine de surfaces homothétiques délimitées par des courbes fermées simples. En effet, il suffira alors de compléter les montages optiques illustrés ci-dessus par un système optique approprié - prisme ou miroir - qui par mise en rotation du plan objet permettra d'orienter les objets testés dans la direction de référence.

REVENDICATIONS

1. Procédé optique de dénombrement et/ou localisation et/ou de classement automatique selon un critère de taille des disques d'une famille caractérisé en ce que pour comparer chacun des disques de la famille avec une référence de même nature, on réalise l'intercorrélation optique par holographie de FOURIER de l'ensemble des disques de la famille de rayons variables avec un anneau de référence circulaire d'épaisseur faible devant le rayon.

5 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que E étant l'épaisseur et R le rayon de l'anneau de référence, le rapport E/R est compris entre 0,001 et 0,3.

10 3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la mesure est répétée en faisant varier à chaque fois le rayon de l'anneau de référence.

15 4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'anneau de référence circulaire est un anneau différentiel constitué d'un premier anneau de rayon R_1 et d'épaisseur E_1 et d'un deuxième anneau concentrique de rayon R_2 , supérieur à R_1 et d'épaisseur E_2 faible devant R_2 tels que les deux anneaux soient jointifs et de surfaces égales, lesdits anneaux étant traités pour être optiquement en oppositon de phase relative.

20 5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que chacun des deux anneaux constituant l'ensemble différentiel est hachuré par une sinusoïde unidimensionnelle de pas p , les deux sinusoïdes étant en oppositon de phase spatiale.

25 6. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le rapport E_2/R_2 est compris entre 0,001 et 0,3.

30 7. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que la mesure est répétée en faisant varier à chaque fois le rayon de l'anneau de référence.

35 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les disques sont obtenus à partir d'objets non circulaires mais de surfaces homothétiques délimitées par des courbes fermées simples, le plan objet étant mis en rotation.

9. Dispositif de mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend une source de lumière cohérente monochromatique de même longueur d'onde que celle qui a été utilisée pour établir l'hologramme de la référence, un filtre spatial et un objectif permettant d'éclairer par une onde plane un plan objet contenant la famille de disques à étudier, un objectif à focale variable de même axe optique, créant la transformée de FOURIER spatiale des disques du plan sur un plan contenant l'hologramme de l'anneau de référence, un deuxième objectif à focale variable, couplé avec le précédent de sorte que leurs distances focales soient toujours égales, dont l'axe optique forme avec l'axe précédent un angle θ_2 égal à celui qui a été utilisé pour l'établissement de l'hologramme de la référence, un plan recueillant la fonction d'intercorrélation entre les disques du plan objet et l'anneau de référence enregistré sur l'hologramme et un récepteur transformant en signal électrique le flux reçu par ledit plan.

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'hologramme de l'anneau de référence est réalisé au moyen d'un dispositif comprenant une source émettant un faisceau de lumière cohérente monochromatique, un cube séparateur divisant ledit faisceau en deux faisceaux, un miroir réfléchissant le faisceau réfléchi par le cube, un filtre spatial et un objectif de distance focale telle que l'ensemble optique ainsi constitué traversé par le faisceau réfléchi permet d'éclairer, sous un angle θ_1 , par une onde plane un plan objet contenant l'anneau de référence, un objectif de focale fo collectant la lumière diffractée par ce plan objet en fait la transformée de FOURIER dans le plan contenant la plaque holographique, un miroir réfléchissant le faisceau transmis par le cube, un filtre spatial et un objectif de distance focale telle que l'ensemble optique ainsi constitué, traversé par le faisceau transmis, éclaire, par une onde plane, sous un angle θ_2 ,

2459449

le plan contenant la plaque holographique, les divers éléments du dispositif étant disposés de telle sorte que les chemins optiques des faisceaux transmis et réfléchis par le cube soient égaux.

5 11. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que le plan objet contient l'anneau de référence homogène et que l'angle θ_1 du dispositif est nul.

10 12. Dispositif de mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend une source de lumière cohérente monochromatique, un filtre spatial, un objectif de focale telle que l'ensemble optique ainsi constitué éclaire par une onde plane un plan objet contenant la famille de disques, un cube séparateur permettant la transmission de la lumière diffractée par le plan objet, un objectif à focale variable créant la transformée de FOURIER du plan objet, sur un plan contenant un hologramme de l'anneau de référence fonctionnant par réflexion sous l'angle de BRAGG, incliné d'un angle θ_2 par rapport au plan normal à l'axe optique, un plan recueillant la fonction d'intercorrélation obtenue après réflexion des rayons sur le plan contenant l'hologramme de l'anneau de référence, leur passage par l'objectif à focale variable qui crée une nouvelle transformée de FOURIER et leur réflexion sur le cube séparateur, un récepteur transformant en signal électrique le flux reçu par le plan.

25 13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que, les objets étant non circulaires mais de surfaces homothétiques délimitées par des courbes fermées simples, il comprend un système optique pour mettre en rotation le plan objet.

FIG. 1

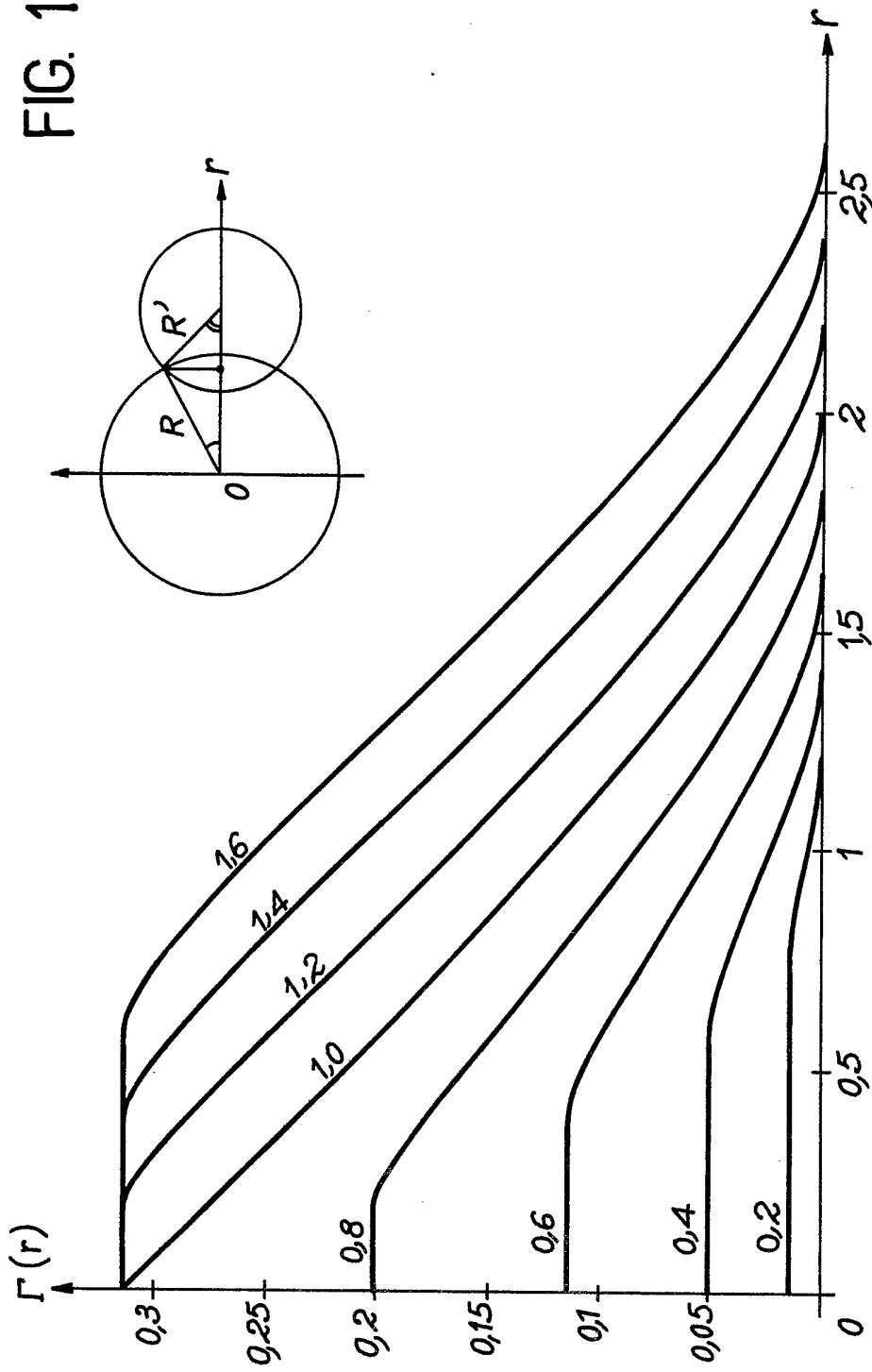
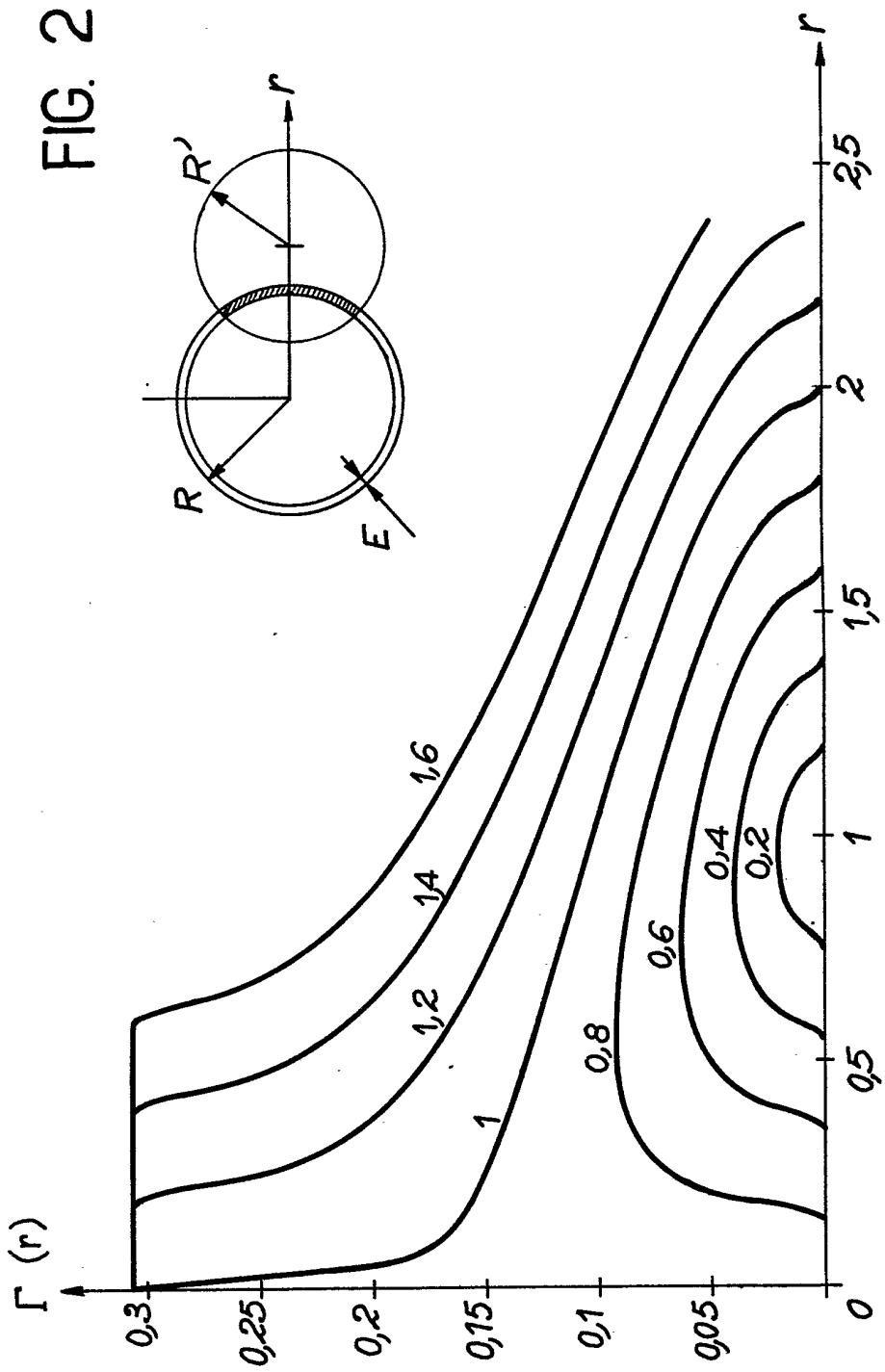


FIG. 2



Pl. III - 9

2459449

FIG. 3

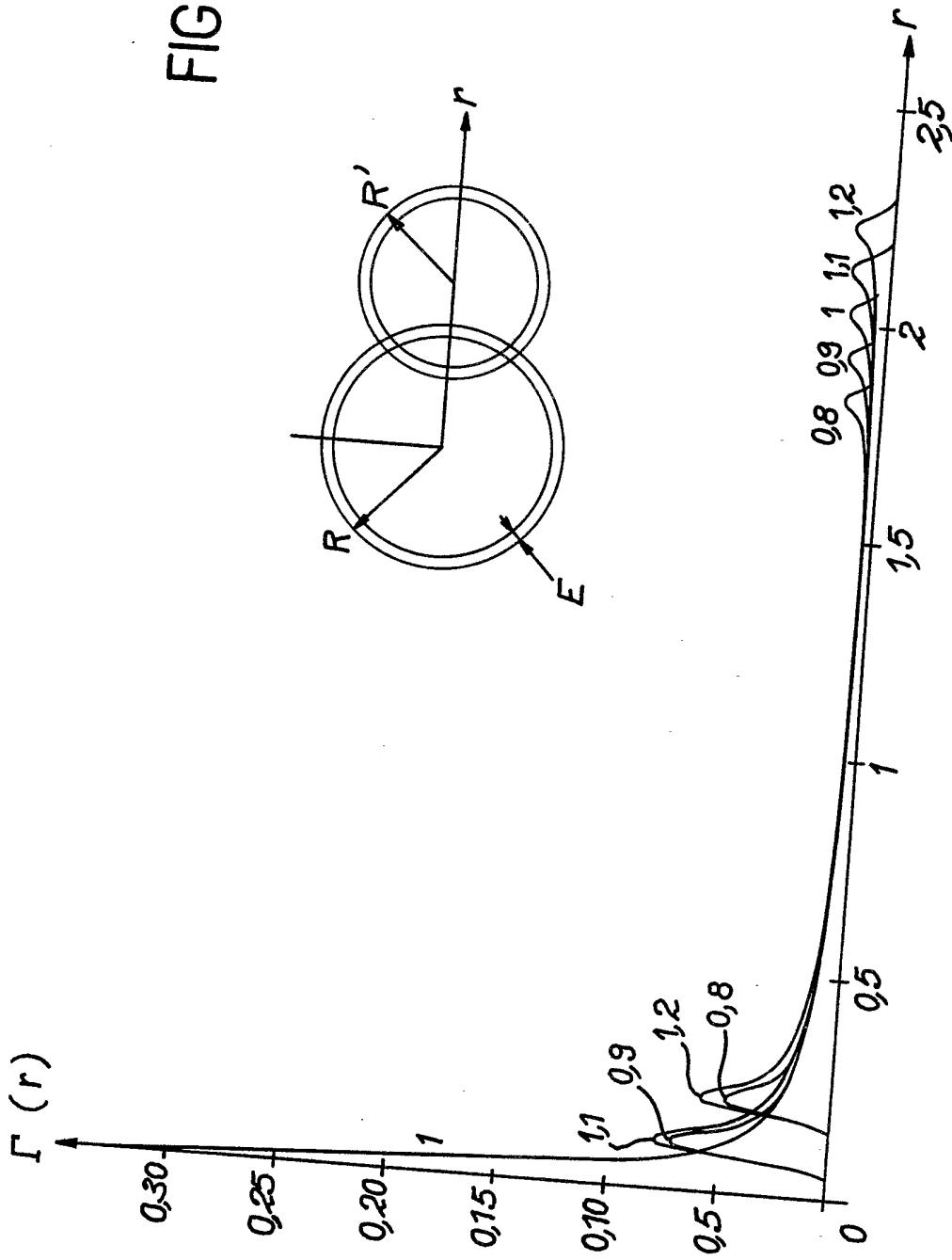


FIG. 4

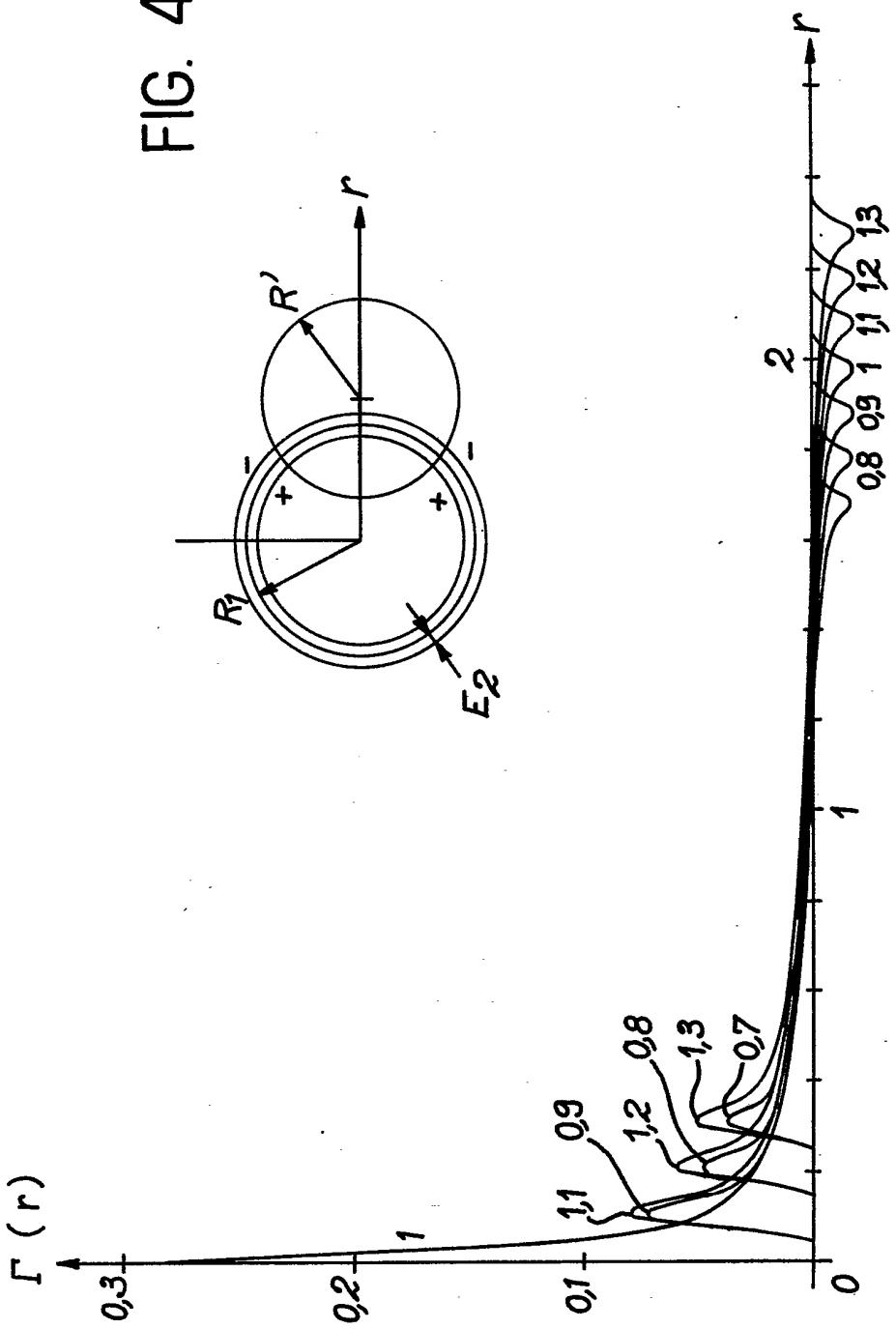
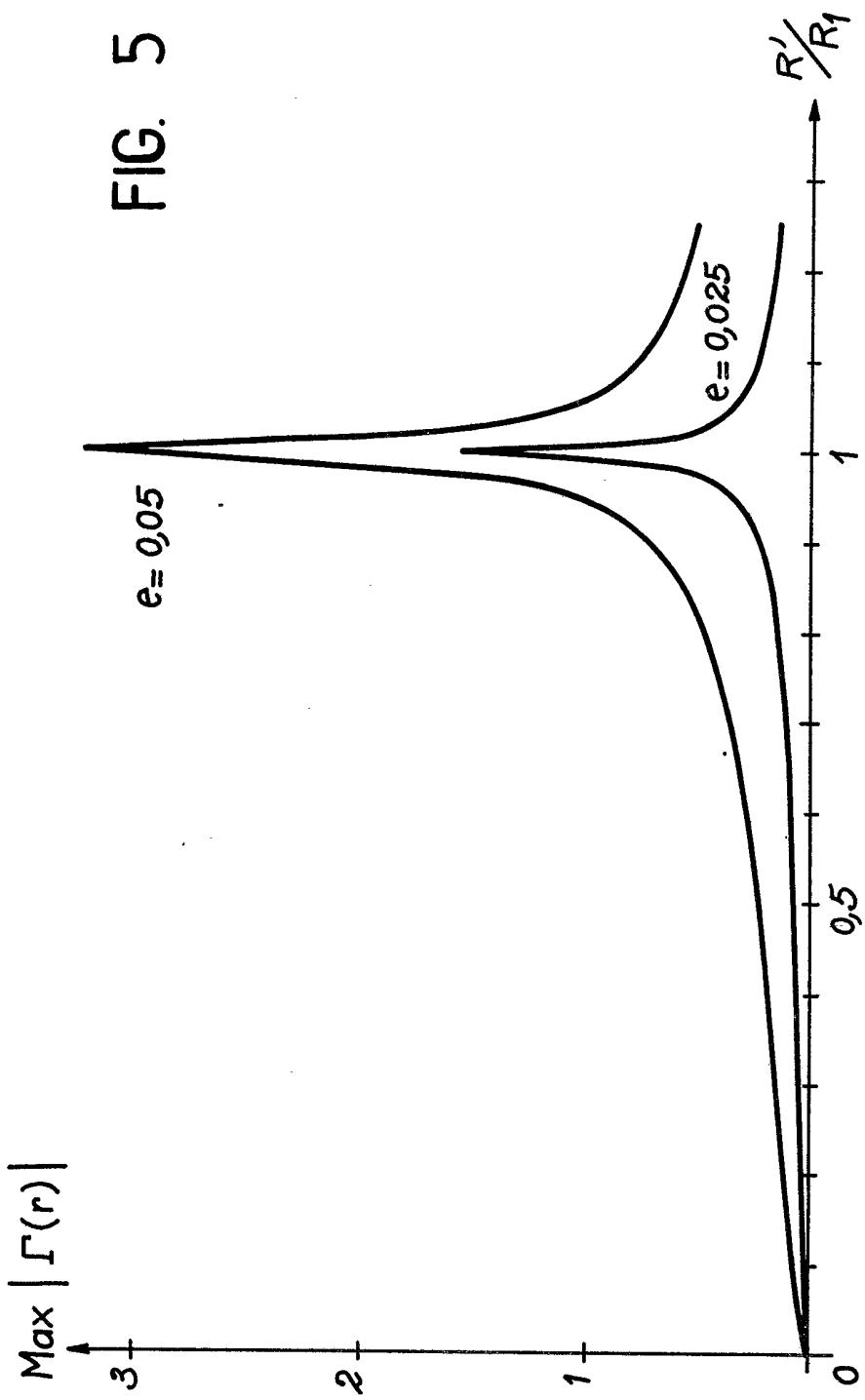


FIG. 5



PI: VI - 9

2459449

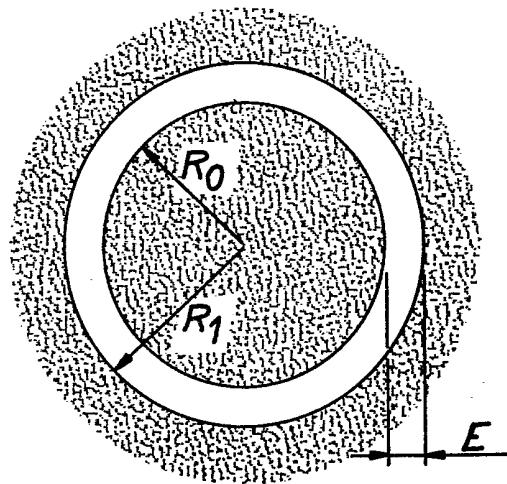


FIG. 6

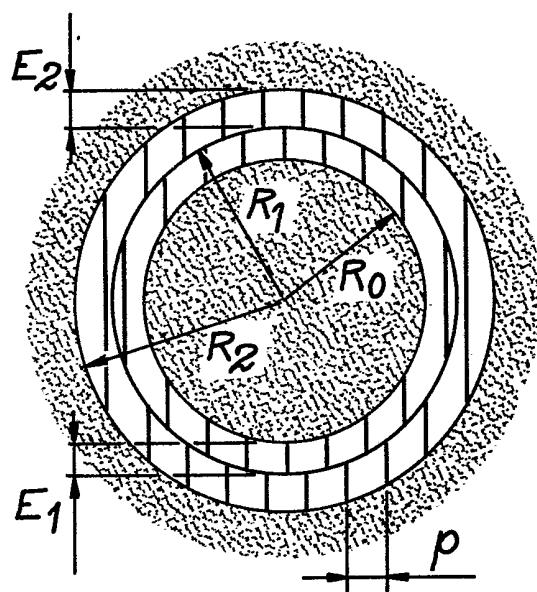


FIG. 7

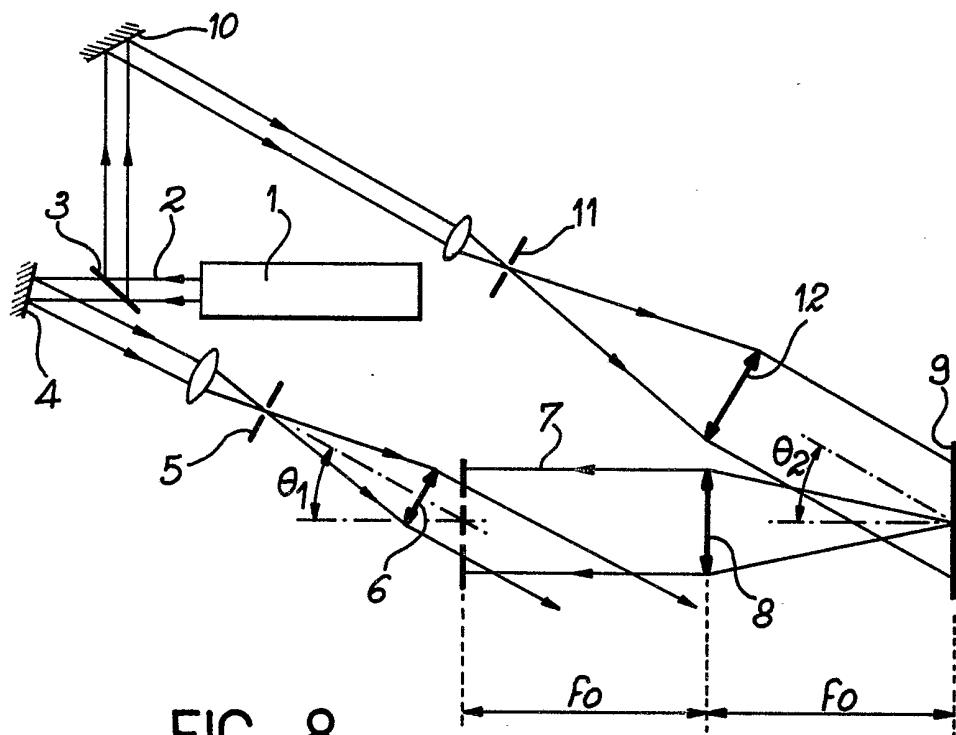


FIG. 8

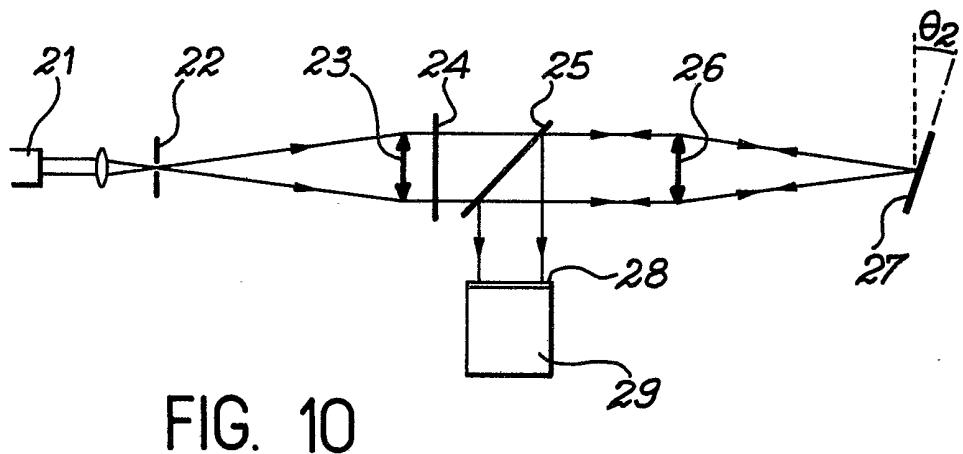


FIG. 10

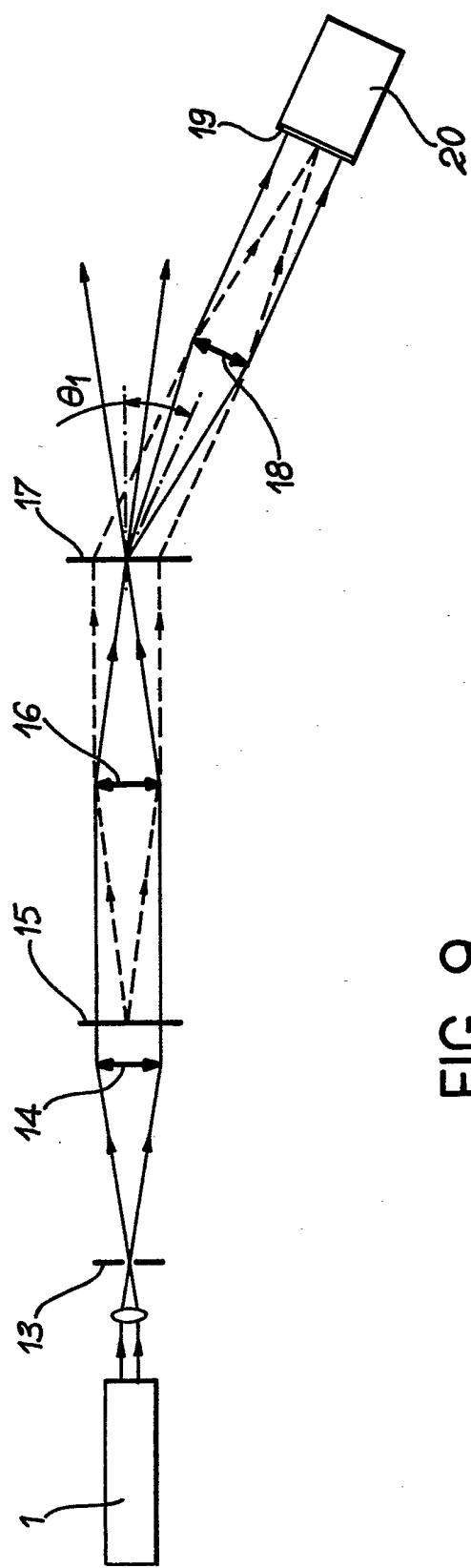


FIG. 9

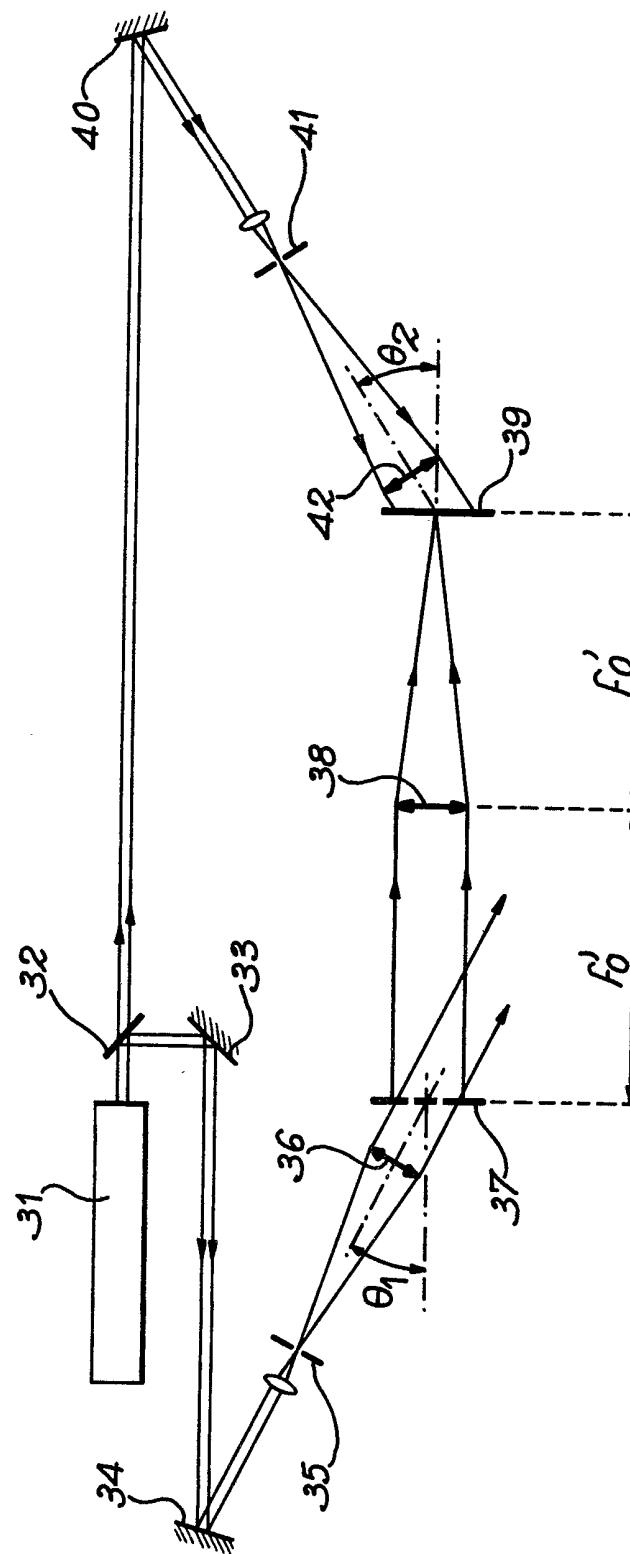


FIG. 11