

[0001] L'invention se rapporte à un dispositif optique se composant de 3 miroirs réflecteurs, pouvant être classé parmi les télescopes à miroirs inclinés. Ces appareils servent à pouvoir réaliser des observations astronomiques et terrestres. L'optique utilisée se passe d'image intermédiaire et met en oeuvre des miroirs à symétrie de révolution, le plus souvent sphériques. Les sommets des miroirs se trouvant alors sur un plan commun et les normales étant inclinées envers l'axe optique.

[0002] La forme la plus simple d'un télescope à plusieurs miroirs inclinés avec le 1^{er} miroir concave et un 2^{ème} miroir convexe a été mentionnée par A. Kutter (Der Schiefspiegler, chez F. Weichert, 1953. Par l'obliquité du 1^{er} miroir se produisent des défauts axiaux de l'image, pour l'essentiel coma et astigmatisme, qui se laissent compenser en partie par l'inclinaison, les écarts et rayons de courbure adéquats des deux miroirs. Par des ouvertures jusqu'à 125 mm environ et un taux d'ouverture typique de F/20 le défaut d'image restant est inférieur au disque de diffraction correspondant.

Pour les télescopes à plusieurs miroirs inclinés plus grands on utilise une lentille correctrice dans la trajectoire du faisceau (Schiefspiegler catadioptrique selon A. Kutter, v. Telescopa Optica, H. Rutten, M. van Venroolj, chez Willmann-Bell, 1988, p. 113) ou un miroir concave supplémentaire. Ce dernier système nommé aussi Tri-Spiegler a été développé par R. A. Buchroeder (Design Examples of TCT's v. OSC Technical Report # 68' University of Arizona, mai 1971, p. 19) et A. Kutter (Sky and Telescope 1975, I, p. 46). Une meilleure rectification des défauts d'image pour les plus grandes ouvertures fut offerte par M. Brunn, d'après DE-PS 394 32 58, selon lequel 4 réflexions sont effectuées en utilisant un 3^{ème} miroir concave et un miroir plan lui succédant. Mais l'inconvénient en est la grande longueur de construction et les frais élevés de fabrication et de réglage.

Une autre solution qui fut publiée est celle de A. S. Leonhard. Il a également développé une variante à 3 miroirs du télescope à miroirs inclinés aussi connu sous le nom de réflecteur Solano. (publié dans Advanced Telescope Making Technics, A. Mackintosh (E.D.), maison d'édition Willmann-Bell, 1986, Optics, vol. 1 p. 231). Ce système met en oeuvre 2 miroirs concaves et un miroir convexe. Les diverses inclinaisons du miroir convexe en combinaison avec un miroir plan supplémentaire permettent différentes directions d'observation. On peut utiliser des paires de miroirs concaves et convexes sphériques avec des rayons de courbures

de même valeur, pour réduire les dépenses. Toutefois le 1^{er} miroir nécessite une conformation hyperbolique et l'on ne peut réaliser que des rapports d'ouverture inférieurs à F/15.

Un mode de construction plus compact est proposé par E. Herrig selon DE 196 49 841 A1. On y trouve des miroirs faiblement inclinés, si bien qu'il se produit une double réflexion sur le 1^{er} ou le 2^{ème} miroir (ou sur les deux). On utilise un 1^{er} miroir convexe et un 2^{ème} miroir concave et dans quelques variantes de plus un 3^{ème} pour réaliser 4 réflexions en tout et obtenir une image sans ombragement. Ici aussi la taille, en particulier du miroir convexe, est désavantageuse car elle est de jusqu'à 50% plus grande que l'ouverture d'entrée.

L'invention a ainsi pour tâche de réduire les inconvénients connus de la manière décrite à une mesure plus favorable économiquement et du point de vue de la fabrication et de développer un système de miroirs compact et exempt d'ombragements, se contentant de peu de miroirs sphériques en règle générale et qui donne même avec de grandes ouvertures une qualité d'image de diffraction limitée.

[0003] Conformément à l'invention la tâche sera résolue par le fait que l'on travaille avec une combinaison de miroirs possédant multiples degrés de liberté, en ce qui concerne la géométrie, la grandeur de l'ouverture d'entrée et l'intensité lumineuse, ainsi que permettant différentes positions de mise au point. Les paramètres mis à disposition améliorent la qualité de l'image même dans la condition que les miroirs sont utilisés avec des rayons de courbure de même valeur. Cette liberté de mise en oeuvre a l'avantage particulier d'une part d'influencer favorablement les tolérances de fabrication des miroirs sur le plan économique et d'autre part de représenter un instrument à haute qualité d'image en cas de divergences des rayons de miroirs fabriqués au moyen de la post optimisation de la géométrie.

[0004] Dans la figure 1 est représentée la forme de base appropriée de réalisation de l'invention comme exemple de réalisation sur laquelle s'appuient d'autres variantes dans les figures de 2 jusqu'à 6.

Leurs explications sont données par la suite.

La représentation de la figure 1 montre la forme de base du télescope compact à plusieurs miroirs inclinés. Tous d'abord un faisceau lumineux parallèle (10) tombe avec son rayon principal (00) sur un miroir concave 1. Celui-ci est incliné vers la direction d'incidence de telle manière que le miroir 2 se trouve à l'extérieur du faisceau lumineux incident (10) et n'en est ainsi pas influencé. Pour d'autres réflexions il existe selon l'angle d'inclinaison du miroir 2 différentes formes techniques d'exécution. Une double réflexion sera alors réalisée sur le miroir 2. Il en résultera 4 réflexions avec un miroir 3. La mise en valeur des degrés de liberté

existants offre suffisamment de possibilités pour la correction de défaut de l'image. Dans la figure citée ci-dessus est effectuée la double réflexion sur le miroir 2, lequel dispose d'une surface de réflexion convexe et possède un angle de rotation à peu près de même valeur que le miroir 1 et se trouve incliné contre l'axe optique. Ce dernier est formé par le rayon principal (00) du faisceau lumineux parallèle (10) et relie les points des sommets des surfaces de réflexion des miroirs. Les inclinaisons des miroirs a se font autour de ces points des sommets et seront mesurées entre les normales des sommets et l'axe optique. La déviation du rayon lumineux donne ainsi 2 a. Les inclinaisons sont effectuées dans les plans communs des sommets de miroir et du foyer. Après la réflexion sur le miroir 2 le faisceau lumineux parvient au miroir 3, que l'on trouve de préférence à proximité du miroir 1. Dans ce cas l'inclinaison du miroir 3 n'est que faible et ainsi le faisceau lumineux tombe sur un secteur non central de la surface du miroir 2. La condition pour la réflexion prévoit ensuite une déviation du faisceau lumineux dans un des espaces non touchés par la lumière, se trouvant sur l'autre côté du faisceau lumineux parallèle (10). Ce faisceau lumineux convergent est dirigé devant le miroir 1 et parvient au foyer non loin de celui-ci. La construction permet un parcours des rayons exempt d'ombragement et une direction d'observation correspondant à peu près à celle d'un réfracteur. La correction du défaut d'image se fait avec succès dans cette combinaison avec le miroir concave parabolique 3. D'autres conformations de la forme de base de la fig. 1 sont présentées dans les figures de 2 jusqu'à 6.

[0005] Dans la figure 2 on présente une variante de la forme de base selon la fig. 1, le télescope compact à plusieurs miroirs inclinés ayant une ouverture de 200 mm et un miroir concave sphérique 1 et un miroir sphérique convexe 2. Le miroir 2 est incliné de telle manière que le faisceau lumineux est dirigé vers le miroir 3 qui se trouve à proximité du miroir 1. Le miroir 3 possède ici une surface de réflexion concave parabolique, grâce à laquelle on réalise une correction de l'aberration sphérique. Par rapport à la lumière de l'objet, les miroirs 2 et 3 se trouvent du même côté. Le miroir 3 ne possède qu'une faible inclinaison par rapport à l'axe optique et renvoie le faisceau lumineux par réflexion sur un secteur non central du miroir 2. De là, il parvient latéralement au foyer, en passant devant le miroir 1. On peut prévoir la présence de diaphragmes B devant le foyer pour limiter la lumière diffuse. Les miroirs mis en oeuvre peuvent en plus de la surface de réflexion sphérique proposée posséder aussi par exemple des surfaces de réflexion elliptiques ou hyperboliques. En raison de la réflexion double sur le miroir 2, la surface de celui-ci possède un diamètre de 7 % plus grand que celui du miroir 1. Les rayons de courbure des miroirs 1 et 2 ont ici la même valeur. Le diagramme spot

correspondant est calculé pour un champ visuel de 1° et montre une qualité d'image limitée par diffraction.

L'exemple de démonstration dans la fig. 3 dévie également de la forme de base selon la fig. 1 et se sert de différents rayons de courbure des miroirs 1 et 2. Le dispositif possède avec une ouverture de 600 mm et un champ visuel de $0,5^\circ$ une qualité d'image encore meilleure selon le diagramme spot ci-joint. Cette réalisation donne des instruments particulièrement performants, bien indiqués en particulier pour la recherche. L'inclinaison du champ visuel avec $1,3^\circ$ peut être considérée comme faible. Les instruments de cette exécution peuvent disposer d'une ouverture d'entrée circulaire de la taille du miroir principal. Celle-ci devrait se situer au-dessus du miroir 2. Les diaphragmes circulaires B et le miroir 3 disposés de manière analogue à la fig. 2 ainsi qu'à proximité du foyer réduisent les influences de la lumière diffuse.

La fig. 4 montre une autre variante de la forme de base selon la fig. 1, dans laquelle l'écart entre les miroirs 2 et 3 est plus court. La correction des défauts de l'image demande ici que le miroir 1 soit hyperbolique et exige un miroir 2 convexe sphérique avec un grand rayon de courbure. L'exécution de la fig. 5 se rapproche aussi de la forme de base selon la fig. 1. L'inclinaison du miroir 3 se faisant dans le sens de rotation contraire. Après la double réflexion sur le miroir 2, le faisceau lumineux passe entre les miroirs 1 et 3 et parvient au foyer. Cette combinaison permet de concevoir des instruments compacts à longue distance focale en particulier. Tous les miroirs possèdent des surfaces de réflexion sphériques.

[0006] La fig. 6 est une autre exécution qui s'appuie sur la forme de base de la fig. 1. Contrairement aux exemples des fig. de 2 à 5 l'inclinaison du miroir 2 se fait dans le sens de rotation inversé. De cette façon les miroirs 2 et 3 se trouvent sur des côtés opposés par rapport à la lumière de l'objet. La lumière est menée vers le foyer entre les miroirs 1 et 3. Les miroirs 1 et 2 sont dans ce cas de forme sphérique et le miroir 3 de forme elliptique.

[0007] Pour résumer, les avantages particuliers du télescope compact comportant plusieurs miroirs inclinés peuvent être décrits comme suit:

- Avec des surfaces simples sphériques et paraboliques de réflexion des ouvertures libres de plus de 600 mm se laissent réaliser. L'inclinaison du champ visuel restant faible.
- Souvent des paires de miroirs convexes et concaves avec des rayons de courbure de même valeur peuvent être utilisées.
- La construction est compacte.
- Fabrication d'instrument à luminosité relativement grande (jusqu'à F/9).

Pour compléter, les remarques suivantes devraient être faites :

[0008] Le n° de réflexion donné dans les tableaux compte les suites de réflexion, alors que le n° du miroir indique sur quel miroir la réflexion se produit. Les miroirs sont marqués, dans les figures, du n° de miroir. Concernant les diamètres de miroir indiqués, il fut pris considération de la plus grande surface de réflexion lors de la réflexion de retour et en raison du champ visuel exigé. L'écart donné dans les tableaux de données est mesuré le long de l'axe optique entre les sommets des surfaces de réflexion considérées. L'écart est toujours donné entre la surface de réflexion actuelle et la suivante. Une exception est faite avec l'écart après la réflexion qui donne la distance à partir de la 4^{ème} surface de réflexion jusqu'au foyer. Les rayons de courbure des surfaces concaves sont pourvus de nombres négatifs, et ceux de surfaces convexes de nombres positifs. Les inclinaisons de miroirs tournant vers la gauche sont comptées négativement, celles tournant vers la droite positivement. La constante conique c définit la surface de réflexion à symétrie de rotation du miroir. Le rapport: $c = (\text{excentricité})^2$. Les diagrammes spot représentés décrivent la reproduction d'un faisceau de rayons parallèles dans le plan du foyer pour les rayons proches de l'axe (spot central) et pour 8 faisceaux de rayons parallèles extra-axiaux de différentes directions qui présentent une divergence angulaire de $0,5 \times$ champ visuel de l'axe optique. La direction méridionale correspond à une ligne horizontale au travers du spot central, les directions sagittale et tangentielle correspondent à une ligne verticale. Le double disque de diffraction (2 AD) est caractérisé une fois dans tous les diagrammes spot par un cercle à l'échelle, dont le diamètre est de plus indiqué en mm. Le plan d'illustration du diagramme spot est incliné en fonction de l'inclinaison du champ visuel.

REVENDICATIONS

1. Miroir compact multi-schiefspiegler avec
 - disposés dans un plan commun les premier,
5 deuxième et troisième miroirs (1), (2), (3) inclinés l'un par rapport à l'autre ;
 - le premier miroir (1) étant orienté vers le faisceau incident et le deuxième et troisième miroir (2), (3) étant disposés hors du faisceau lumineux de
10 telle manière que le faisceau de lumière incident soit réfléchi du premier miroir (1) sur le deuxième miroir (2), sur le troisième miroir (3) et en retour sur le deuxième miroir (2), si bien que par la double utilisation du deuxième miroir (2) on réalise les
15 propriétés d'un télescope à 4 miroirs avec cours plié du rayon et l'on produit après la quatrième réflexion une image réelle de l'objet observé :
 - le premier miroir (1) présentant une surface de réflexion concave ;
 - 20 - le deuxième miroir (2) présentant une surface de réflexion convexe ;
 - le troisième miroir (3) présentant une surface de réflexion concave.
 - 2. Miroir compact multi-Schiefspiegler selon la
25 revendication 1, **caractérisé par le fait** qu'une minimalisation des'erreurs de représentation est prévue par le choix adéquat des distances focales, des distances de miroirs, des angles d'inclinaison et en cas de besoin par une déformation symétrique de
30 rotation adéquate des surfaces de réflexion.

Traduction des légendes des figures

Figure. 1 :

Forme de base
Télescope compact à plusieurs miroirs inclinés
Réflexion double sur le deuxième miroir

Figures 2 à 6 :

(note : le texte allemand est identique pour les 5 figures, seuls les chiffres changent)

Télescope compact à plusieurs miroirs inclinés
Conception N° 1 : ouverture 200mm
Toutes les indications de longueurs sont en mm, les angles en degrés, pour les indices voir les définitions
N° de réflexion
N° de miroir
Diamètre de miroir
Rayon de courbure
Distance par rapport à la face suivante
Angle d'inclinaison α
Constante conique

Diagramme spot pour champ visuel de 1°

Inclinaison de champ visuel tangentiel
Inclinaison de champ visuel sagittal
Distorsion d'image