Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 57 (1999)
Heft: 291

Artikel: L'univers, dis-moi ce que c'est? : Épisode 17 : les galaxies, deuxième partie

Autor: Barblan, Fabio

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-898234

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

L'Univers, dis-moi ce que c'est?

Episode 17: Les galaxies, deuxième partie

FABIO BARBLAN

Fig. 3. La galaxie elliptique NGC 3379 de type E0/1 est un standard photométrique pour la distribution de la luminosité de surface. (source [2])

3. La distribution de la luminosité dans les galaxies

Les propriétés observables les plus simples d'une galaxie sont la luminosité globale, la distribution de la luminosité et la couleur. La connaissance de la distribution de la luminosité, en rapport avec les différentes parties d'une galaxie est un premier pas vers la détermination des masses[1] de ces mêmes parties. Cette distribution des luminosités peut facilement être obtenue par photométrie de la «surface» de la galaxie. C'est donc très tôt, dans l'histoire de l'étude des galaxies, que des lois de distribution de la luminosité ont fait leur apparition.

3.1. Profil de luminosité des galaxies elliptiques

Pour les galaxies elliptiques, la distribution de la luminosité se caractérise par l'existence d'une intensité lumineuse maximale au centre de l'objet et une décroissance rapide et régulière, lorsque la distance d'éloignement au centre augmente; décroissance qui suit approximativement une loi de puissance[2]. Pour décrire cette décroissance deux modélisations sont principalement utilisées:

a) celle de Hubble, qui date de 1930 et qui suit une décroissance caratérisée par la fonction $1/r^2$ ou r, donne la distance d'éloignement à partir du centre de la galaxie,

et

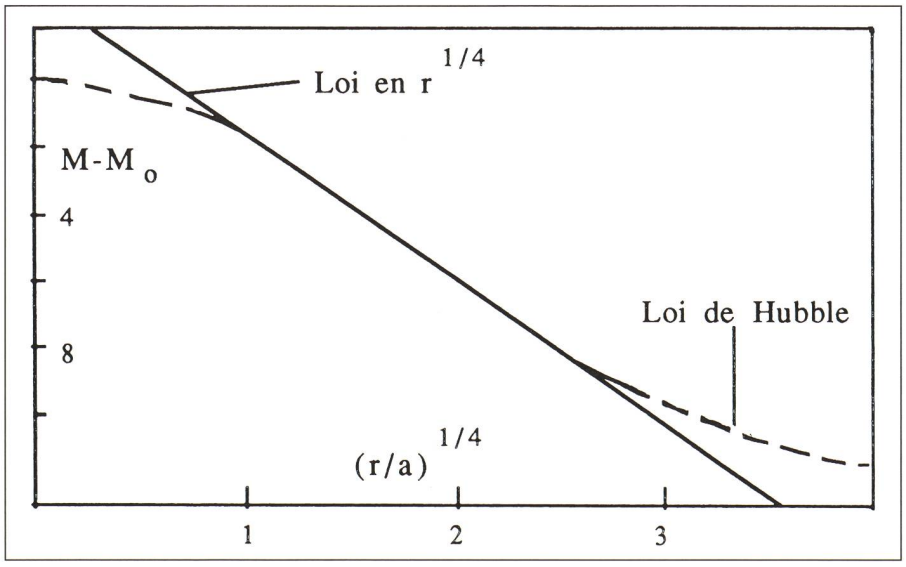
b) celle de De Vaucouleurs, de 1948, dont la décroissance est caractérisée par la fonction $r^{0.25}$.

Contrairement à une «vraie» loi de puissance[2], qui ne contient qu'un paramètre, Hubble et De Vaucouleurs ont été obligés d'introduire deux paramètres[3]. Pour la relation définie par Hubble, ces deux paramètres sont respectivement la luminosité I_o par unité de surface au centre de la galaxie et le rayon de coeur a (rayon qui délimite une surface qui contient environ 1/20 de la luminosité totale) et, pour celle de De Vaucouleurs, le rayon r_e qui délimite une surface qui contient la moitié de la luminosité totale et l'intensité I_e à la distance r_e. L'existence de ces deux paramètres, à la place d'un seul, exprime le fait qu'en réalité une loi de puissance n'est pas parfaitement apte à décrire la décroissance de la luminosité du centre vers le bord d'une galaxie elliptique. Les déviations sont minimes, mais elles existent et, en particulier, les deux modélisations cessent d'être valables au voisinage du centre et à grande distance du centre.

Les calculs de modèles[4] de galaxies elliptiques permettent de donner une signification physique au fait que la diminution de luminosité suit, avec une très bonne approximation, une loi de puissance pour des distances intermédiaires entre le centre et le bord. Le paramètre de proportionnalité serait une mesure de l'importance des forces de marées subies par les étoiles composant la galaxie.

Si on trace, pour une galaxie elliptique, les lignes isophotales (lignes de même intensité lumineuse), on obtient des ellipses relativement régulières dont on peut déterminer l'ellipticité et l'orientation du grand-axe. On constate que pour environ la moitié des galaxies elliptiques, les grands-axes correspondant à des ellipses isophotales différen-

Fig. 1. La comparaison entre les deux distributions de luminosité de Hubble et de De Vaucouleurs montre leur accord pour les distances d'éloignement intermédiaires entre le centre et le bord de la galaxie elliptique et leur désaccord pour les régions proches du centre et du bord. (source [1])



[1] Le rapport masse/luminosité change en se déplaçant du centre au bord de la galaxie. Pour obtenir effectivement la distribution des masses, des mesures cinématiques sont indispensables.

[2] Une loi de puissance est caractérisée par une expression du type $k\,x^n$ avec n nombre réel positif ou négatif et k paramètre de proportionnalité.

[3] La forme exacte de ces deux lois est:
$I/I_o = (r/a + 1)^{-2}$ (Hubble)
$\log(I/I_e) = -3.33[(r/r_e)^{0.25} - 1]$ (De Vaucouleurs).

[4] Une galaxie est un système stellaire dynamique sans collision. Le mouvement d'une étoile est déterminé par un potentiel gravitationnel moyen créé par l'ensemble des autres étoiles lointaines et par un potentiel plus ou moins fluctuant du aux étoiles proches.

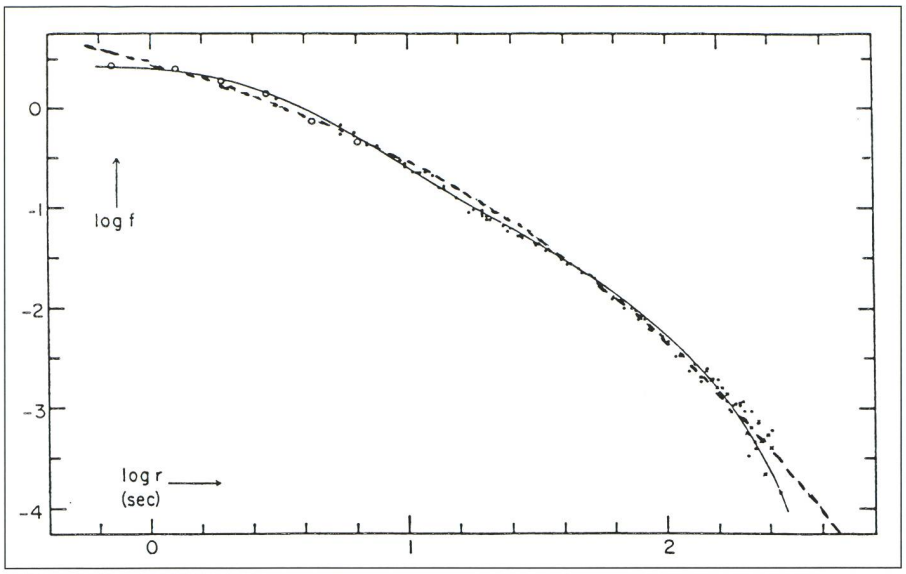
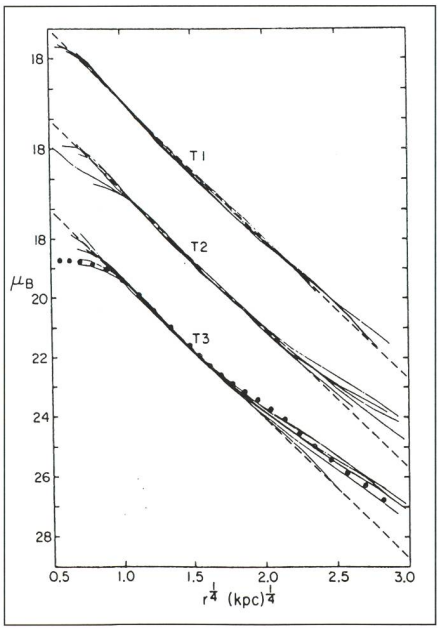


Fig. 2. Le profil de luminosité réel de la galaxie elliptique NGC 3379 est comparé d'un côté avec celui que l'on obtient en appliquant la loi empirique en r 1/4 (ligne pointillé) et de l'autre côté à celui obtenu en modélisant théoriquement une galaxie elliptique (ligne pleine). (source [1])

tes ne sont pas alignés. Il y a une rotation régulière du grand-axe qui peut s'accentuer lorsqu'on approche du bord de la galaxie et atteindre dans certains cas 60°. On pense que ce phénomène pourrait être en relation avec la triaxialité de ce type d'objet (la galaxie aurait une forme d'ellipsoïde dont les trois axes sont tous de longueur différente). D'autres interprétations sont aussi possibles. Comme celle due à une déformation réelle de la galaxie par effet de marée à cause de l'existence d'un compagnon voisin[5].

Fig. 4. La déviation, par rapport à la loi de De Vaucouleurs, des profils de luminosité pour les galaxies elliptiques est montrée ici pour des galaxies ayant un environnement différent. Les galaxies T1 sont des galaxies isolées, par contre les galaxies appartenant au groupe T3 possèdent une galaxie compagnon très proche. (source [1])



En ce qui concerne la distribution de couleur, on constate qu'elle est pratiquement constante sur toute la surface de la galaxie avec toutefois un léger rougissement de quelques centièmes de magnitude vers le centre. Ce fait indique une certaine homogénéité dans la population stellaire d'une galaxie elliptique.

3.2. Profil de luminosité des galaxies spirales.

Le bulbe d'une galaxie spirale montre une certaine ressemblance avec les galaxies elliptiques puisque, le long du grand-axe, la décroissance de la luminosité suit la loi en $r^{1/4}$. Par contre on remarque aussi des différences, à savoir:

- le long du petit-axe du bulbe la loi en $r^{1/4}$ n'est pas valable,
- la luminosité des bulbes est plus petite que celle des galaxies elliptiques de même luminosité totale,
- les bulbes sont en moyenne plus aplatis (en projection) que les galaxies elliptiques.

Des études ont mis en évidence que la variation de luminosité du disque subit une décroissance exponentielle lorsque l'éloignement au centre augmente. Mais nombreuses sont les exceptions à cette loi: l'existence d'une barre, d'anneaux, de régions de formation stellaire et de bras spiraux, sont tous des facteurs pouvant produire des déviations plus ou moins prononcées par rapport à la décroissance exponentielle de la luminosité.

Les galaxies spirales qui sont vues par la «tranche» (l'angle que fait la ligne de visée Terre-galaxie avec la plan de la galaxie est compris entre 80° et 90°) permettent d'étudier le profil de luminosité dans la direction perpendiculaire au plan galactique. Pour des distances d'éloignement intermédiaires à partir du centre de la galaxie (on évite le bulbe central et les bords), on observe le long d'une perpendiculaire au plan galactique une décroissance exponentielle de la luminosité avec une tendance vers une distribution gaussienne au voisinage du plan galactique. Ce résultat peut s'expliquer théoriquement en considérant la structure verticale d'un disque d'étoiles autogravitant en équilibre,

Fig. 5. Cette image donne, pour la galaxie elliptique NGC 4697, la modélisation en courbes isophotales. La correspondance entre les lignes théoriques et la «réalité» est remarquable. On constate toutefois un léger excès de luminosité le long du grand-axe qui pourrait indiquer la présence d'un disque lumineux. (source [1])

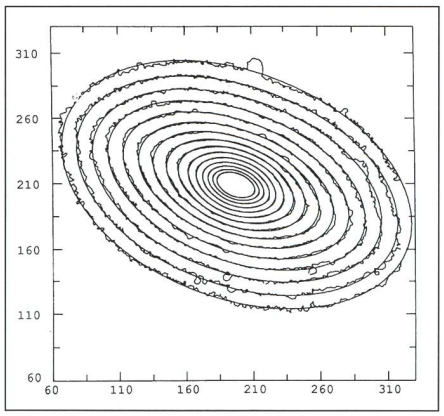


Fig. 6. NGC 4697 est une galaxie elliptique de type E6 essentiellement constituée d'étoiles jaunes. (source [2])

[5] On constate en effet que pour plus des 2/3 des galaxies elliptiques, montrant une rotation des grands-axes isophotaux, il existe une galaxie compagnon proche.

dont la dispersion des vitesses selon l'axe vertical z est indépendante de z. Il donne pour la distribution de la densité des étoiles les deux comportements asymptotiques suivants: pour des faibles distances z au plan galactique une densité proportionnelle à $1 - k z^2$ (comportement gaussien) et pour des grandes distances une densité à décroissance exponentielle.

4. La distribution de couleur

La couleur d'une étoile est déterminée par son type spectral, sa masse et son âge. La couleur «globale» d'une galaxie est évidemment le reflet de la couleur d'une certaine population d'étoiles (de «même» couleur) qui est largement majoritaire par rapport à d'autres populations possibles ayant une couleur différente. En 1940, Baade a remarqué l'existence dans les galaxies de deux populations d'étoiles bien distinctes: l'une constituée d'étoiles brillantes bleues, chaudes et massives (dite population I) et l'autre constituée de géantes rouges, froides (dite population II). Les étoiles de la population I sont des étoiles jeunes, celles de la population II sont des vieilles étoiles. La classification morphologique des galaxies de Hubble peut être interprétée comme une variation continue de l'importance relative des deux populations (I et II) lorsqu'on passe des galaxies elliptiques E aux galaxies irrégulières Irr. En effet les galaxies elliptiques sont essentiellement constituées d'étoiles de population II et à l'autre extrémité de la classification morphologique de Hubble, les galaxies irrégulières comprennent essentiellement des étoiles de la population I[6].

Revenons donc à la couleur d'une galaxie. Il apparaît évident que la proportion respective des différentes populations stellaires qui peuvent cohabiter dans une galaxie détermine sa couleur globale et les éventuelles variations lorsqu'on se déplace du centre vers les bords. Une photométrie multicouleur peut donner des renseignements sur les proportions respectives des différentes populations. Elle peut même établir une cartographie de la distribution de ces populations et ainsi donner par exemple les régions de formation stellaire.

Ainsi les galaxies elliptiques constituées essentiellement de vieilles étoiles sont d'une couleur rouge, avec un léger gradient vers le bleu lorsqu'on passe du noyau au bord. Ceci n'est pas dû, comme on pourrait le croire, à l'existence de jeunes étoiles formées à partir des gaz rejetés par les autres. Mais tout simplement à la variation de la métallicité[7] des étoiles entre le centre et le bord.

Dans une galaxie spirale, les couleurs apparentes changent globalement du rouge au bleu, en passant du centre au bord. Ce changement de couleur est dû à la présence du bulbe central constitué essentiellement de vieilles étoiles. Mais d'une façon générale, on n'observe pas de variation significative de la couleur du disque entre le centre et le bord de la galaxie. Ce fait signifie que le taux de formation stellaire y est pratiquement constant et uniformément distribué, indépendamment des zones de concentration de gaz. On pense qu'il doit exister une accumulation progressive et constante du gaz dans le disque galactique. Il existe plusieurs indices en faveur de mouvements radiaux de gaz au cours du temps. La répartition et la concentration actuelles de gaz ne sont qu'une image instantanée, elle ne renseigne en aucune manière sur les distributions anciennes, ni futures.

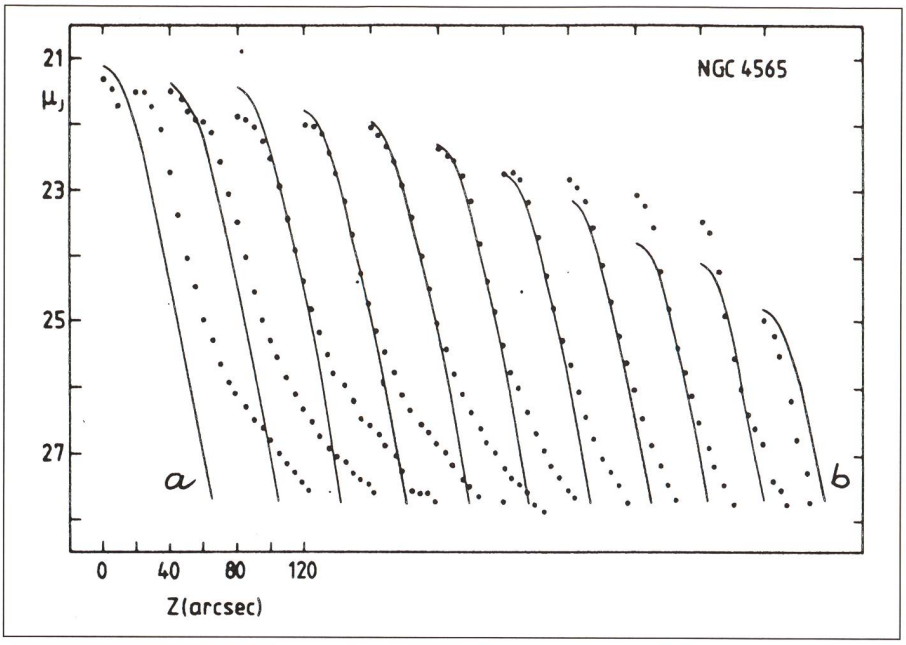


*Fig. 8. Comparaison entre modélisation et réalité pour la galaxie spirale NGC 4565. Une ligne pleine donne l'évolution théorique de la luminosité en fonction de l'élévation au dessus du plan galactique pour un éloignement au centre donné. La ligne pointillée donne l'évolution observée. L'éloignement à partir du centre de la galaxie augmente en passant de la courbe **a** à la courbe **b**. (source [1])*

Fig. 7. La rotation des ellipses isophotales n'est pas nécessairement due, comme le montre ce schéma, à une déformation de la galaxie elliptique par la présence d'une galaxie compagnon proche. Des effets de projections peuvent induire le même effet. Il s'agit alors d'une rotation apparente et non réelle. (source [1])

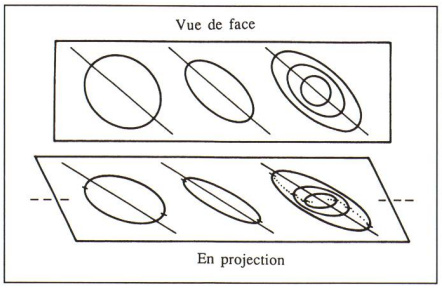


Fig. 9. La galaxie spirale NGC 4565 est probablement de type SA(s)b. Sur cette image est bien visible la bande de gaz et poussières interstellaires, située dans le plan galactique. (source [3])

[6] Remarquons, que depuis l'introduction par Baade de ces deux catégories, la classification en populations stellaires s'est affinée, elle comporte maintenant cinq classes.

[7] La métallicité d'une étoile exprime le pourcentage, par rapport à l'hydrogène et par rapport à l'abondance solaire, des métaux lourds (fer, etc.) qu'elle contient.

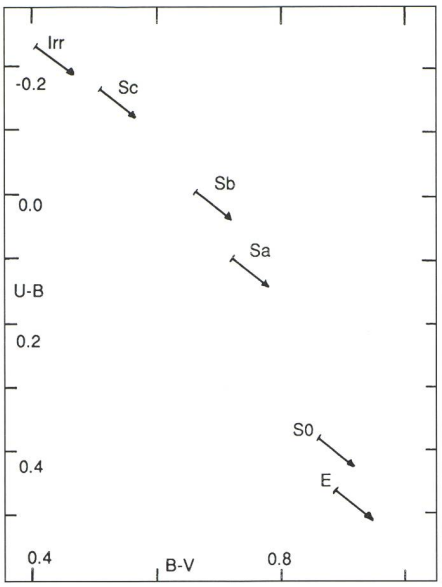


Fig. 11. Distribution des différents types morphologiques de galaxies dans un diagramme couleur - couleur. On remarque l'accroissement progressif des étoiles de la population I (bleues et chaudes) en passant d'une galaxie de type E à une galaxie de type Irr. (source [1])

Population	Catégorie d'étoiles (typiques)	Dispersion de vitesse ΔV (km/s)	Forme du système	Abondance des éléments lourds (par rapport à l'hydrogène)
Population II du halo	Amas globulaires, géantes rouges	130	sphérique	0.003
Population II intermédiaire	Etoiles à grandes vitesses	50	intermédiaire	0.01
Population « disque »	Etoiles à raies faibles	30	intermédiaire	0.02
Population I intermédiaire	Etoiles à raies fortes	20	intermédiaire	0.03
Population I extrême	Supergéantes bleues	10	plate	0.04

Fig. 10. Quelques caractéristiques des étoiles de population I et II. (source [1])

La compréhension de la couleur globale d'une galaxie peut se faire en essayant de reproduire la luminosité observée à partir des contributions de plusieurs générations successives d'étoiles. Les modèles sont généralement construits à partir de données sur le taux de formation des nouvelles étoiles, sur la distribution en fonction du temps du nombre d'étoiles formées ayant une masse donnée, sur les chemins d'évolution des étoiles dans le diagramme HR, sur le taux d'augmentation des métaux dans les gaz dus aux étoiles massives et sur les contributions non stellaires à la luminosité d'une galaxie. Ils ont permis de conclure que toutes les galaxies ont environ le même âge de 10^{10} ans et que les couleurs des galaxies elliptiques, spirales et irrégulières peuvent être interprétées en prenant en considération un taux de formation des étoiles décroissant exponentiellement au cours du temps.

Dans le prochain épisode, nous parlerons des problèmes de rotation et de masse des galaxies.

FABIO BARBLAN
17, route de Vireloup
CH-1293 Bellevue/GE

Bibliographie

Atlas of Galaxies, ALLAN SANDAGE ET JOHN BEDKE, NASA SP-496, 1988

Exploring the Southern Sky, S. LAUSTSEN, C. MADSEN, R. M. WEST, Springer-Verlag 1987

Galaxien, T. FERRIS, Birkhäuser Verlag, 1983

Voyage through the Universe, A. FRAKNOI, D. MORRISON, S. WOLFF, Saunders College Publishing, 1997

[1] *Astrophysique, Galaxies et cosmologie*, F. COMBES, P. BOISSÉ, A. MAZURE, A. BLANCHARD, InterEditions 1991.
Galaxy Morphology and Classification, S. VAN DEN BERGH, Cambridge University Press, 1998

[2] *The color Atlas of Galaxies*, J. D. WRAY, Cambridge University Press, 1988

[3] *The Hubble Atlas of Galaxies*, ALLAN SANDAGE, Carnégie Institution of Washington, 1961

Materialzentrale SAG

SAG-Rabatt-Katalog «SATURN», mit Marken-Teleskopen, Zubehör und dem gesamten Selbstbau-Programm gegen Fr. 3.80 in Briefmarken:

Astro-Programm SATURN
1998 neu im Angebot: Zubehör (auch Software) für alte und neuste SBIG-CCD-Kameras. Refraktoren, Montierungen und Optiken von Astro-Physics, Vixen, Celestron und Spectros; exklusives Angebot an Videos u. Dia-Serien für Sternwarten, Schulen und Private usw.

Selbstbau-Programm
Parabolspiegel (ø 6" bis 14"), Helioskop (exklusiv!), Okularschlitten, Fangspiegel- u. -zellen, Hauptspiegelzellen, Deklinations- u. Stundenkreise usw. Spiegelschleifgarnituren für ø von 10 bis 30cm (auch für Anfänger!)

Profitieren Sie vom SAG-Barzahlungs-Rabatt (7%).
(MWST, Zoll und Transportkosten aus dem Ausland inbegriffen!)

Schweizerische Astronomische Materialzentrale SAM
Postfach 715, CH-8212 Neuhausen a/Rhf, Tel 052/672 38 69

METEORITE

Urmaterie aus dem interplanetaren Raum
Direkt vom spezialisierten Museum
Neufunde sowie klassische Fund- und Fall- Lokalitäten
Kleinstufen - Museumsstücke

Verlangen Sie unsere kostenlose Angebotsliste!

Swiss Meteorite Laboratory
Postfach 126 CH-8750 Glarus
Fon: 079 657 26 01 – Fax: 055 640 86 38
e-mail: buehler@meteorite.ch
Internet: http://www.meteorite.ch