vBs 8-B : une nouvelle planète hors du système solaire

Autor(en): **Grenon, M.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **43 (1985)**

Heft 209

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899197

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

vBs 8-B: une nouvelle planète hors du système solaire

M. GRENON

En décembre dernier la National Science Foundation aux Etats-Unis annonçait que, pour la première fois, une planète était décelée hors du système solaire, par l'équipe de Don McCarthy à l'Université d'Arizona. Cette information est à la fois suffisamment spectaculaire et partielle pour qu'elle mérite d'être analysée plus en détail ici.

La recherche des planètes

L'identification de planètes hors du système solaire est une tâche entreprise depuis plusieurs décennies déjà, bien qu'elle soit l'une des plus difficiles du point de vue instrumental. En effet, les planètes, du type de celles gravitant autour de notre soleil, sont essentiellement des réflecteurs, souvent médiocres, de l'astre central. La lumière réfléchie par les planètes ne représente qu'une infime partie de celle de l'astre qui les illumine. Notre système solaire, placé à la distance de l'étoile la plus proche, Proxima du Centaure, serait perçu comme une étoile brillante de magnitude 0.4 avec, comme satellite le plus lumineux, Jupiter, une source extrêmement faible de magnitude apparente 23 environ. L'éclat de la planète représenterait alors moins d'un milliardième de celui de l'étoile. Le second facteur défavorable est la proximité des sources considérées: dans l'exemple ci-dessus, la distance planète-soleil ne serait que de 4 secondes d'arc; or le parcours de la lumière à travers l'atmosphère terrestre provoque un étalement des images tel qu'un point source sans dimension est perçu comme une tache étendue dont le diamètre à mi-intensité centrale est déjà de l'ordre de 1.5 seconde d'arc. Un satellite comme Jupiter est donc totalement masqué par la lumière diffusée de l'étoile. Des planètes du type Terre ou Mars, plus petites et proches d'un soleil apparaissent strictement indétectables depuis le sol pour le moment.

Les compagnons obscurs

S'il est en général exclu d'observer directement des planètes qui ne soient pas lumineuses par elles-mêmes, il reste cependant possible dans certains cas de déceler leur présence et de préciser quelques-unes de leurs propriétés.

Contrairement à l'image familière d'une planète orbitant autour d'un soleil, on a affaire, dans l'espace, à des systèmes tournant autour d'un centre de gravité immatériel (barycentre). Dans le cas du système solaire, le centre de gravité oscille entre le centre et la surface du Soleil, selon les positions respectives du Soleil et des planètes, sans jamais être situé à l'extérieur de cette surface. Lorsque les masses relatives des planètes et de l'astre stellaire central sont moins dissemblables que dans le cas du système solaire (la masse de Jupiter = 0.1% de celle du Soleil), le barycentre peut être situé à une fraction importante de la distance séparant l'étoile de la ou des planètes principales.

Si de plus un système planétaire est suffisamment proche de nous pour que sa vitesse dans l'espace, relativement au Soleil, – de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres par seconde – se traduise par un déplacement important sur la voûte céleste par rapport aux étoiles distantes, il est alors possible de détecter des perturbations dues à une ou plusieurs planètes massives sur le mouvement apparent d'une étoile centrale seule visible. Ce mouvement apparent est dit mouvement propre. La figure 1 illustre le cas simple d'une étoile ayant comme satellite une seule planète quatre fois moins massive que l'étoile. Alors que le barycentre suit une trajectoire rectiligne, l'étoile visible oscille de part et d'autre de cette ligne avec des phases d'accélération et de ralentissement par rapport au mouvement moyen. Le mouvement apparent de la planète est plus compliqué, souvent avec des boucles. De l'analyse fine d'une trajectoire perturbée, on peut dériver avec plus ou moins de précision le nombre de planètes (principales) perturbatrices, leur période de révolution et une estimation de leur masse minimale. L'amplitude des perturbations reste toujours très petite; elle se traduit sur les plaques photographiques par des déplacements de quelques microns seulement sur des périodes d'une dizaine d'années. Ces perturbations sont normalement inobservables sauf si l'étoile centrale est de petite masse, soit quelques dizièmes de la masse du Soleil, et que, de surcroît, le système est très proche de nous car l'amplitude varie comme l'inverse de la distance au Soleil.

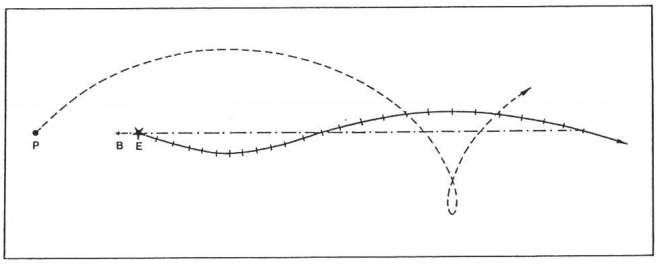

Fig. 1: Exemple de trajectoire apparente sur le ciel d'un système formé d'une étoile E et d'une planète P quatre fois moins massive que l'étoile. En trait-point, déplacement linéaire du centre de gravité B. En tirets, trajectoire de la planète perturbatrice en général invisible. En trait continu, déplacement observable de l'étoile. Les tirets sur cette ligne repèrent des intervalles de temps égaux.

Les planètes compagnes de naines rouges

Les remarques qui précèdent expliquent pourquoi on a dû rechercher des planètes seulement autour des étoiles naines rouges et parmi celles-ci au voisinage des plus proches d'entre elles. Par naines rouges, on entend des étoiles de masse inférieure à une demi-masse solaire. Elles sont caractérisées par des températures de surface inférieure à 4000°K (le Soleil 5800°K), une surface intensément tachée avec une intense activité magnétique associée.

En 1935 déjà, Reuyl découvrait à l'observatoire de McCormick, USA, que l'étoile à grand mouvement propre Ross 614 était perturbée par un compagnon obscur qui s'est révélé par la suite être l'étoile la moins massive connue à ce jour avec une masse de 0.086 masse solaire ($M_\odot$).

Dès 1937, une campagne d'observations systématiques était entreprise à Sproul, USA, par Peter van de Kamp et collaborateurs. Le programme original comportait 250 étoiles proches dont une trentaine sont apparues perturbées par des satellites moins massifs. Parmi ces dernières, cinq possèdent des compagnons de masse si petite qu'ils ne peuvent être que des planètes.

Les désignations de ces étoiles, leurs distances en années-lumière, les masses de leurs compagnons ainsi que leurs périodes de révolution sont listées dans la table 1. Les compagnons détectés sont les plus massifs de chaque système mais rien n'exclut la présence d'autres planètes dynamiquement moins importantes.

Pour apprécier ces résultats à leur juste valeur, il convient de relever l'extrême difficulté de l'entreprise. Dans le cas du système planétaire lié à l'étoile de Barnard, les deux planètes de masse 0.4 et 0.8 fois la masse de Jupiter induisent des perturbations dont les amplitudes ne sont que de 0.0140 et 0.0128 seconde d'arc (″) respectivement. Ces valeurs sont à comparer avec celles des dimensions typiques des images stellaires soit 1 à 2″, du mouvement propre annuel 10.310″, et de l'effet de parallaxe 0.547″. (La parallaxe est l'amplitude du déplacement annuel de la position d'une étoile correspondant à la translation de la Terre sur son orbite. Elle est une mesure directe de la distance des astres).

Etoiles avec compagnons substellaires non détectés en lumière infrarouge

Nom de l'étoile	Distance	Masse des satellites	Période de révolution
CC 1228	39.8 a.l.	$\geq 0.02\ M_\odot$	6.3 ans
G 24-16	28.4	≥ 0.07	1.5
St 2051 A	17.0	≥ 0.02	23.
BD + 43°4305	16.7	≥ 0.009	30.
BD + 68°946	15.3	≥ 0.006	26.4
*de Barnard	5.22	0.0006	11.7
		0.0004	20.

Les compagnons distants

On a vu plus haut que l'observation d'objets faibles est particulièrement malaisée lorsque ceux-ci sont situés très près d'étoiles quelque peu massives. Une approche alternative a consisté à investiguer le voisinage d'étoiles relativement brillantes, proches et connues pour leur grand mouvement propre, en recherchant des objets distants qui montrent un déplacement apparent sur le ciel identique en direction et amplitude. Cette condition assure que les couples ainsi trouvés sont physiquement liés, en particulier que la distance de chaque composante relativement à nous est la même.

En 1961 déjà, van Biesbroek, de Yerkes, publiait les résultats d'une investigation portant sur 650 champs stellaires et annonçait la découverte de 12 compagnons très faibles non détectés jusqu'alors et baptisés du nom de leur découvreur vBs 1 à 12.

Parmi ceux-ci, vBs 8 et vBs 10 sont d'un intérêt tout particulier car leur luminosité intrinsèque et leur température de surface les placent très près de la limite entre étoiles et planètes. Ces deux objets ont été inclus dans le programme de mesures de l'Observatoire Naval de Washington pour déterminer plus précisément leurs parallaxes et mouvements propres.

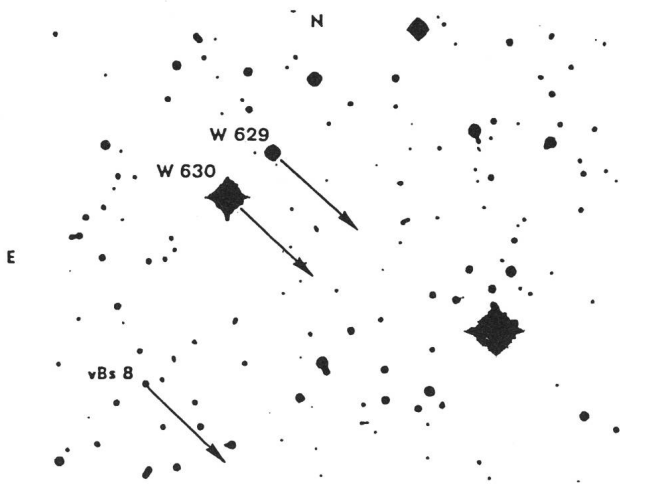

Fig. 2: Le système multiple vBs 8, W 630 et W 629 à grands mouvements propres communs. Les flèches indiquent le sens du mouvement apparent sur la sphère céleste et leurs extrémités repèrent les positions des composantes de ce système dans un siècle, les positions des autres étoiles restant pratiquement inchangées.

En analysant les résultats de 10 ans d'observations, R. Harrington est arrivé en mars 1983 à la conclusion que ces deux objets étaient perturbés par des compagnons obscurs, non détectés en lumière visible. La période de révolution du satellite de vBs 10 a été estimée à environ 4.9 ans et sa masse à quelques fois celle de Jupiter. Dans le cas du système vBs 8, la période de révolution apparaît plus longue que l'intervalle de temps durant lequel l'étoile a été sous surveillance.

Les détecteurs infrarouges à la rescousse

Pour détecter optiquement un satellite de basse température à petite distance angulaire d'une étoile, il y a deux techniques particulières à mettre en oeuvre. La première revient à s'affranchir, en partie du moins, des effets perturbateurs de la turbulence atmosphérique en effectuant des prises de vue à une vitesse supérieure à celle qui caractérise l'agitation des images produite par les mouvements internes de l'atmosphère terrestre. Instantanément, vue du sol, l'image d'une étoile est en fait une distribution de petites taches, dites tavelures, qui conservent chacune approximativement la structure spatiale de l'objet observé. Il est possible de reconstituer a posteriori numériquement l'allure des sources telles qu'elles apparaîtraient hors de l'atmosphère.

La seconde technique consiste à optimiser le contraste entre planète et étoile, c'est-à-dire à observer la planète dans un domaine de longueur d'onde où le flux lumineux émis est maximum. Si pour le Soleil le maximum d'énergie est émis dans le vert à une longueur d'onde de 0.5 micron (μ), pour une planète de température 1400°K, le maximum est déplacé dans l'infrarouge à 2.1μ.

C'est une instrumentation combinant les avantages des deux techniques mentionnées qu'a utilisée Don McCarthy pour rechercher le compagnon de vBs 8. Les campagnes d'observation ont eu lieu de mai à juillet 1984 aux télescopes de 2.3 m de Steward (longueur d'onde 2.2μ) et de 4.0 m de Kitt Peak National Observatory (1.6μ), aux USA toujours.

Aux deux longueurs d'onde utilisées, vBs 8 est apparu résolu en deux sources distinctes séparées d'environ 1″, soit une séparation de 6 unités astronomiques. A 2.2μ la différence de

magnitude entre la composante brillante vBs 8-A et la faible vBs 8-B n'est plus que de 3 magnitudes alors qu'elle atteint 12 magnitudes en lumière verte, ce qui explique sa non-détection antérieure. Des rapports d'intensité lumineuse à 1.6 et 2.2μ, on a pu déduire une température de 1360°K pour vBs 8-B.

La même technologie appliquée à vBs 10 n'a pas révélé de compagnon détectable aux longueurs d'ondes utilisées. Ceci laisse présumer pour vBs 10-B des propriétés physiques plus proches de celles des planètes géantes du système solaire. Jupiter placé à la distance de vBs 10 ne serait pas détectable non plus.

Naine brune ou planète?

Avec sa température superficielle et sa luminosité totale déduite notamment de sa parallaxe, soit environ 0.00003 fois celle du Soleil, vBs 8-B est située dans le diagramme luminosité-température, cf. Fig. 3, bien en dessous de la séquence des étoiles vraies en phase de combustion de l'hydrogène.

Pour que la réaction de fusion de l'hydrogène dans le noyau stellaire puisse s'amorcer, il faut que la masse d'un astre soit d'au moins 0.085 masse solaire ($M_\odot$). Si la masse d'un astre en contraction gravitationnelle, sa phase de formation, est supérieure à cette masse critique, elle atteint, après une centaine de millions d'années de contraction, une luminosité et une température stables sur quelques dizaines de milliards d'années pour les étoiles peu massives. Pour 0.085 $M_\odot$, ces conditions d'équilibre correspondent à une température de 2750°K et une luminosité de 0.0005 $L_\odot$. L'intervalle 2750 à 4000°K correspond au domaine des naines rouges proprement dites.

Lorsque la masse d'un astre est inférieure à cette masse critique, on a alors affaire à des objets dits substellaires. La phase de contraction n'étant plus stoppée par l'allumage de la fusion nucléaire, leurs éclat et température décroissent rapidement, leur énergie étant alors fournie uniquement par la contraction gravitationnelle, source vite épuisée. Ces objets restent détectables en lumière infrarouge durant quelques centaines de millions à quelques milliards d'années selon leur masse. On parle alors volontiers de naines brunes. Elles occupent la zone hachurée de la figure 3. Plus âgées, les naines brunes deviennent inobservables optiquement, elles sont alors qualifiées de naines noires.

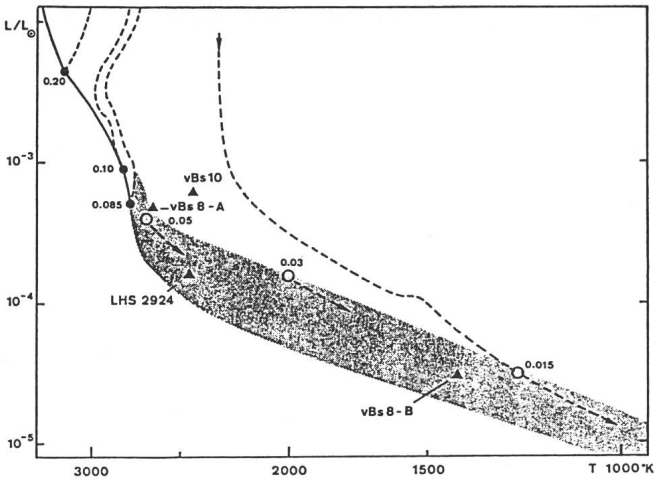

Fig. 3: Diagramme luminosité relative (en unités de luminosité solaire) en fonction de la température superficielle. Les tirets indiquent les séquences évolutives, durant la phase de contraction initiale, d'astres de diverses masses libellées en unités de masse solaire. La ligne continue est la séquence d'étoiles vraies alimentées en énergie par la fusion nucléaire. La zone ombrée est le domaine d'existence des astres substellaires, naines brunes ou protoplanètes en cours de refroidissement. Les cercles repèrent les positions de naines brunes de trois masses différentes âgées de 100 millions d'années. Les triangles correspondent aux objets décrits dans le texte.

Les propriétés physiques de vBs 8-B en font donc une naine brune typique. Les valeurs actuelles des paramètres température et luminosité de vBs 8-A semblent indiquer que celle-ci serait aussi une naine brune, plus massive que vBs 8-B, mais les incertitudes qui subsistent sur ces paramètres ne permettent pas de considérer cette classification comme définitive.

De fait, il n'y a pas de différence fondamentale entre une naine brune, une naine noire et une planète géante, si ce n'est le stade évolutif. On peut être tenté de réserver le terme de planète à un astre substellaire satellite d'une étoile, bien que des astres de même nature existent à l'état libre dans l'espace. Dans ce sens, vBs 8-B est à la fois une naine brune et une planète.

Un système stellaire multiple

La planète géante vBs 8-B est l'astre le plus récemment découvert dans un système stellaire multiple étudié depuis 1919 déjà. A cette date Wolf trouvait que deux étoiles W 629 et W 630 possédaient des mouvements propres communs et de grande amplitude, soit 1.19″/an. En 1934, Kuiper résolvait visuellement W 630 en deux composantes orbitant l'une autour de l'autre en 1 an 8 mois et 17 jours et séparées de 1.3 unité astronomique. Ces composantes sont des naines rouges de masse 0.4 $M_\odot$ et température 3340°K en moyenne. Leur luminosité équivaut à 1/230ème de celle du Soleil. Toutes deux sont des variables éruptives, c'est-à-dire qu'à intervalles irréguliers elles forment des protubérances gigantesques accompagnées d'une intense émission de lumière ultraviolette. W 629 est aussi une naine rouge de température plus basse, soit 3250°K et non active.

En 1947, Joy, en mesurant les vitesses radiales (vitesse le long de la ligne de visée déduite du décalage des raies spectrales), démontrait que W 629 d'une part était elle-même double et que l'une des composantes de W 630 devait aussi être double.

Le compagnon distant trouvé par van Biesbroek en 1961 se présente comme un astre de 17e grandeur. En lumière visible, sa luminosité n'est plus que de 1/182000ème de celle du Soleil et sa température de 2640°K seulement. vBs 8 est située à 221 secondes d'arc de W 630, le sous-système le plus massif de ce mini-amas stellaire. Sur les plaques photographiques, les systèmes W 629, W 630 et vBs 8 apparaissent tous comme des sources ponctuelles, cf. Fig. 3.

La planète géante est encore 12 magnitudes plus faible en lumière visible que vBs 8-A. Elle est ainsi la première planète trouvée dans ce système de six étoiles animées de mouvements relatifs complexes.

vBs 8-B, un cas unique?

Si l'on considère que les naines brunes ne sont observables que durant un laps de temps court astronomiquement parlant et qu'elles ne sont détectables que dans le proche voisinage du Soleil, on pourrait s'attendre à ce que cette découverte ait un caractère assez unique.

En fait, un autre objet LHS 2924, isolé dans l'espace cette fois, a été identifié en 1983 comme une naine brune de température 2450°K et luminosité 0.0016 $L_\odot$.

En se basant sur les découvertes de compagnons obscurs observés ou prédits actuellement, il est possible de chiffrer la densité des naines brunes ou noires dans l'espace et cette valeur apparaît impressionnante. Pas moins de 70% des astres pourraient être des naines brunes ou noires. Moyennant certaines hypothèses sur la distribution de leurs masses, elles représenteraient alors environ 20% de la masse totale de notre Galaxie, masse définitivement piégée sous forme d'astres en voie de refroidissement.

Vers une nouvelle planétologie

Même si vBs 8-B possède des caractères assez exotiques par rapport à ceux des planètes du système solaire, à savoir une sphère gazeuse avec une température de surface similaire à celle de la lave en fusion, c'est bel et bien d'une planète qu'il s'agit.

Adresse de l'auteur:
M. Grenon, Observatoire de Genève, CH-1290 Sauverny.

vBs 8-B: ein neuer Planet ausserhalb des Sonnensystems (Zusammenfassung)

Im Dezember letzten Jahres wurde angekündigt, dass zum ersten Mal ein Planet ausserhalb unseres Sonnensystems entdeckt worden ist. Die Suche nach solchen Planeten gehört wohl zu den schwierigsten Aufgaben der beobachtenden Astronomie. In der gleichen Entfernung gesehen wie Proxima Centauri, unser nächster Stern, würde Jupiter nur die Helligkeit von 23 haben! Die grosse Nähe des Zentralgestirns würde zudem eine Beobachtung praktisch unmöglich machen.

Sind die relativen Massen des Sternes und seines Begleiters weniger ungleich als in unserem Sonnensystem, und liegt der gemeinsame Schwerpunkt in einer gewissen Entfernung des Sterns, so kann man aus seiner Eigenbewegung den Einfluss eines oder mehrerer massiver Begleiter feststellen, sofern der Zentralstern nicht sehr massiv ist (einige Zehntel unserer Sonne). Das ist der Grund, warum sich die Suche nach Planeten auf nahe rote Zwerge beschränkt (ca. ½ $M_\odot$).

Schon im Jahre 1961 hat van Biesbroek (Yerkes) die Resultate von Untersuchungen von 650 Sternfeldern veröffentlicht und die Entdeckung von 12 sehr schwachen Begleitern angekündigt, die bisher noch nicht entdeckt wurden; sie tragen die Bezeichnung vBs 1 bis 12. Darunter sind vBs 8 und 10 von besonderer Bedeutung, da ihre Helligkeit und Temperatur sie auf die Grenze zwischen Stern und Planet legen. R. Harrington kommt zum Schluss, dass diese beiden Objekte von unbekannten Begleitern beeinflusst werden; die Umlaufzeit des einen beträgt 4.9 Jahre, die des anderen über 10 Jahre.

Um optisch Begleiter mit niedriger Temperatur und kleinem Winkelabstand zum Hauptstern zu entdecken, werden zwei Verfahren angewendet: um die atmosphärische Turbulenz teilweise auszuschalten, werden Aufnahmen in einem schnelleren Rhythmus gemacht als die Turbulenz. Auf numerischem Wege kann dann das Objekt so dargestellt werden, wie es ausserhalb der Atmosphäre aussehen würde. Um den Kontrast zwischen dem Stern und dem Begleiter zu erhöhen, werden zudem Infrarot-Aufnahmen gemacht.

Eine Apparatur, die die Vorteile dieser beiden Verfahren vereint, hat Don McCarthy verwendet, um den Begleiter des vBs 8 aufzuspüren. Bei vBs 10 konnte dagegen kein Begleiter erkannt werden.

Gemäss seiner Oberflächentemperatur und Helligkeit liegt vBs 8-B im Diagramm unterhalb der wahren Sterne und kann daher keinen Wasserstoff verbrennen. Bei solchen Sternen spricht man oft von braunen Zwergen; älter geworden werden sie unsichtbar. Wenn man annimmt, dass die braunen Zwerge nur während relativ kurzer Zeit beobachtbar sind, könnte man annehmen, dass es sich bei dieser Entdeckung um einen Einzelfall handelt. Man glaubt aber, dass nicht weniger als 70% der Himmelsobjekte braune oder schwarze Zwerge sein könnten und 20% der Gesamtmasse unserer Milchstrasse ausmachen könnten. WERNER MAEDER

Buchbesprechung

HOFFMEISTER C. / RICHTER G. / WENZEL W: *Veränderliche Sterne.* 334 Seiten, mit 170 Abbildungen und 64 Tabellen, gebunden. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, zweite völlig überarbeitete Auflage 1984. ISBN 3-540-13 396-8. Preis DM 66.—.

Die Originalausgabe erscheint beim Johann Ambrosius Barth-Verlag in Leipzig (DDR), wo bereits 1968 die 1. Auflage des Buchs erschienen ist.

Inhaltsübersicht:
Allgemeine Hinweise (Grundbegriffe, Lichtkurven und Perioden, Julianisches Datum, Zeitangaben, Benennung der Veränderlichen) / Zur Typologie der Veränderlichen Sterne (Gliederung im wesentlichen nach den physikalischen Hauptursachen der Helligkeitsänderung):

- Pulsierende Veränderliche (8 Untergruppen)
- Eruptive Veränderliche (15 Untergruppen)
- Bedeckungsveränderliche

Ergänzung zur Typologie / Entdeckung Veränderlicher Sterne / Bedeutung der Veränderlichen Sterne für die Erforschung des Baus der Galaxis und der Sternentwicklung / Beobachtungsmethoden und Organisation / Umfangreiches Literaturverzeichnis / Sachregister und Sternregister. Bei den Abbildungen handelt es sich zum grössten Teil um Lichtkurven zu den verschiedenen Sterntypen.

Das ansprechende und anspruchsvolle Buch berichtet von der Erforschung der Veränderlichen Sterne vor allem im «optischen» Spektralbereich, d.h. in einem Bereich, der teilweise auch Amateuren mit einfachen Instrumenten zugängig ist. Dabei wird auf Fragen der Entwicklung und Physik der Sterne und der Galaxien sowie auf Fragen der mathematischen Statistik eingegangen und auch auf Röntgenbeobachtungen von Satelliten und Raumstationen aus.

Es verwundert nicht, dass der Mitarbeit des Amateurs ein besonderes Kapitel gewidmet ist, denn die Wissenschaft kann aus dieser weit gestreuten Beobachtungsarbeit grossen Nutzen ziehen. Das Buch wendet sich an Fachastronomen und Studenten der Astronomie und Physik. Wer sich als Amateur für die Veränderlichen interessiert, dem steht hier ein sehr umfassendes und reichhaltiges Nachschlagewerk und Lehrbuch zur Verfügung. E. LAAGER