Stern-Populationen

Autor(en): **Chalonge, Daniel**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **- (1959)**

Heft 63

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-900319

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

STERN-POPULATIONEN

Von DANIEL CHALONGE, Institut d'Astrophysique, Paris *

Einleitung

Die folgenden Ausführungen haben zum Ziel, die bedeutenden Fortschritte nachzuzeichnen, die unsere Kenntnisse vom Weltall im Laufe der letzten Jahre erfahren haben. Dank den grossen modernen Teleskopen und den vervollkommneten Methoden von Spektroskopie und Photometrie war es möglich, bisher unbekannte Stern-Populationen – Sternfamilien – zu entdecken, ihre Verteilung und Eigenschaften zu studieren.

Gleichzeitig haben die Erkenntnisse der Kern-Physik den Theoretikern wichtigste Grundlagen verschafft, die es erlauben, die Beobachtungstatsachen rasch zu deuten und sie im Rahmen einer Evolution zu sehen. Die Forschung erstreckt sich somit auf den Raum und auf die Zeit, auf die räumliche Verteilung der Sterne und auf ihre Entwicklung.

Dieses Bild der Welt der Sterne und der Entwicklung, die im Verlauf von einigen Milliarden Jahren zum heutigen Universum geführt hat, lässt noch viele Punkte ungeklärt; zahlreiche Verbesserungen werden noch angebracht, manches vielleicht sogar grundlegend umgestaltet werden müssen. Es stellt aber doch eine bemerkenswerte Zwischenbilanz unseres Wissens dar; bereits war es Ausgangspunkt vieler neuer Arbeiten und wird es noch weiter sein.

Auf wenigen Seiten kann freilich nur ein Ueberblick über ein so verwickeltes Problem gegeben werden. Diese Zusammenfassung unserer gegenwärtigen Ansichten über Bau und Entwicklung der Sterngruppen gründet sich auf die kürzlichen Diskussionen über diese Fragen anlässlich der Kolloquien in Rom[1], in Stockholm (1957)[2] und am Kongress der Internationalen Astronomischen Union in Moskau (1958)[3]. Die verschiedenen Entdeckungen werden hier nicht ihrer zeitlichen Reihenfolge entsprechend beschrieben.

Die Galaxien

Schon seit langem weiss man, dass die Sterne nicht einfach einzeln

---

*) Vortrag, gehalten an der 16. Generalversammlung der Schweiz. Astronomischen Gesellschaft in Neuchâtel am 29. Juni 1958.

im Universum zerstreut sind, sondern gewaltige Anhäufungen, die Galaxien, bilden. In gewissem Sinne sind diese die Städte im Weltall, jede Milliarden von Sternen umfassend. Ihr gegenseitiger Abstand ist von der Grössenordnung einer Million Lichtjahre, und um jede von ihnen zu durcheilen, braucht das Licht an die 100 000 Jahre.

Abbildung 1 - Grosser Andromeda-Nebel Messier 31 (NGC 224) mit den beiden elliptischen Nebeln Messier 32 (NGC 147, siehe Abbildung 3) und NGC 205. (Aufnahme Palomar, Schmidt-Kamera 48 Zoll.)

Sie haben aber bei weitem weder alle die gleichen Abmessungen noch dieselbe Zusammensetzung: die Sterne, die sie bevölkern und die in vielen vorhandenen Gas- und Staub-Wolken geben ihnen sehr verschiedenes Aussehen, das, wie wir sehen werden, mit ihrer Entwicklung im Zusammenhang steht.

Die bekannteste Form ist die Spirale, z. B. jene des grossen Andromeda-Nebels Messier 31 (Abb. 1). Sie ist auch die Form der Galaxie, der wir selbst angehören, der Milchstrasse.

In einem Spiralnebel häufen sich die Sterne vorwiegend in einer flachen kreisförmigen «Scheibe» (engl. «disc»), die den etwas dickeren «Kern» umgibt. Eingelegt in die Scheibe, symmetrisch zum Kern liegend, zeichnen sich mehr oder weniger deutlich die «Spiralarme» ab.

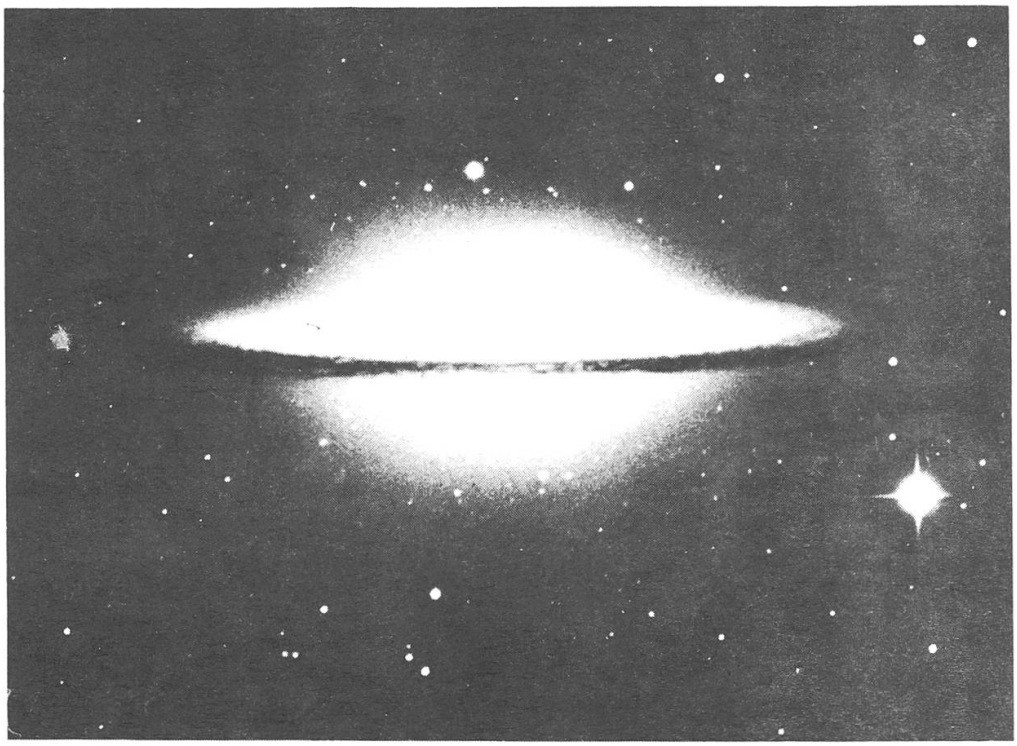

Abbildung 2 - Spiral-Nebel Messier 104 (NGC 4594) im Sternbild Jungfrau. Die einzelnen Teile dieser flach von «oben» gesehenen Galaxie sind deutlich sichtbar: der helle Kern in der Mitte, umgeben von der Scheibe, in die sich die Spiralarme (links und rechts als Knoten angedeutet) einlegen; die Spiralarme enthalten auch die interstellare Materie, die als absorbierende dunkle Masse in Erscheinung tritt; der Halo muss als dünnbesiedelte Fortsetzung des Kerns gedacht werden, die ganze Galaxie einhüllend. (Aufnahme Palomar, Hale-Reflektor.)

Die Scheibe bildet gewissermassen die Mittelebene eines ellipsoidförmigen Raumes, der viel dünner mit Sternen besetzt ist als die Scheibe selbst (Abb. 2). In diesem Gebiet, das als «Halo» (zuweilen als «Aureole») bezeichnet wird, liegen auch die Kugelsternhaufen, dichte kugelförmige Ansammlungen von Millionen von Sternen (Abb. 5). Die Kugelhaufen, von denen wir in unserer Milchstrasse rund 100 kennen, sind sehr klein im Verhältnis zum ganzen Halo.

Ausser den spiralförmigen Galaxien gibt es noch zwei weitere Hauptformen von Weltinseln:

– elliptische Galaxien (Abb. 3), die im wesentlichen die gleiche räumliche Form haben wie der Halo der Spiralnebel;

Abbildung 3 - Elliptische Galaxie Messier 32 (siehe Abb. 1), z.T. in Sterne aufgelöst. Das Fehlen von Scheibe und Spiralarmen ist augenfällig, nur der Halo ist vorhanden (Population II). (Aufnahme Palomar, Hale-Reflektor.)

– unregelmässige Galaxien, die keine Symmetrieachse aufweisen wie die Spiralen und elliptischen Galaxien. Die am südlichen Himmel sichtbaren Magellanschen Wolken sind Beispiele solcher unregelmässiger Zwerg-Galaxien.

Erforschung unserer Milchstrasse in der Sonnenumgebung
Die Population I

Die Erforschung der Sternwelt hat naturgemäss mit der Untersuchung der scheinbar hellsten Sterne begonnen. Diese bevölkern die nächste Sonnenumgebung und sind ein winziges Muster der galaktischen Scheibe. Seit langem bilden diese Sterne Gegenstand unzähliger Untersuchungen, und wir kennen ihre Eigenschaften ziemlich gut. Sie sind klassifiziert nach «Spektraltypen», gemäss dem Aussehen ihres Spektrums, und nach «Helligkeits-Klassen», je nach ihrer Leuchtkraft, der sog. absoluten Helligkeit. Diese beiden Eigenschaften ermöglichen ihre Einordnung in eine zweidimensionale Klassifikation. Die Einfachheit derselben lässt eine gewisse Einheitlichkeit im Aufbau der Sterne dieser Auswahl vermuten, obschon die einzelnen Vertreter recht unterschiedliche Eigenschaften haben. Tatsächlich zeigt die sorgfältige Analyse ihrer Spektren eine sehr konstante chemische Zusammensetzung.

Oft sind diese Sterne im Raum in, nach Form und Grösse sehr verschiedenen, Haufen gruppiert, wie z. B. die Pleiaden, oder in Gesellschaften, Assoziationen, wie jene der Orion-Sterne, die in der Regel von leuchtenden oder dunklen Wolken, den Gas- oder Staub-Nebeln, umgeben sind *.

Diese sog. offenen Haufen und die Stern-Assoziationen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Aussehens und ihrer Zusammensetzung wesentlich von den Kugelhaufen im Halo: ihre Form ist unregelmässig, und sie enthalten viel weniger Sterne als die Kugelhaufen. Die hellsten bekannten Sterne in ihnen gehören zu den Typen, die man mit den Buchstaben O und B bezeichnet. Es sind blaue Ueberriesen. Mit kleiner werdender Helligkeit folgen dann die Typen A (weiss), F, G (gelb), K, M (rot) u.s.w. Jeder Farbe, d. h. jedem Typ, ist ziemlich eindeutig eine Leuchtkraft zugeordnet. So entsteht das sog. Farben-Helligkeits-Diagramm (oder Hertzsprung-Russell-Diagramm, Abb. 4), in welchem jedem Stern ein Punkt genau über seiner Farbe auf der Höhe seiner

*) Die Entdeckung dieser Assoziationen und die Feststellung der Bedeutung ihrer Eigenschaften ist V. AMBARZUMIAN und seinen Schülern zuzuschreiben.

Leuchtkraft zugeordnet ist. Beide Grössen, Farbe und Leuchtkraft, werden heute hauptsächlich photoelektrisch, mit sehr empfindlichen Elektronen-Vervielfachern, bestimmt.

Die untersuchten Sterne lassen sich durch Punkte in den schraffierten Gebieten der Abb. 4 wiedergeben. Die meisten von ihnen liegen im Streifen A-B-C-D, der sogenannten Hauptreihe. Man erkennt leicht links oben die hellsten blauen Ueberriesen, daran anschliessend die weissen und gelben Sterne und rechts unten am Ende der Hauptreihe die leucht-

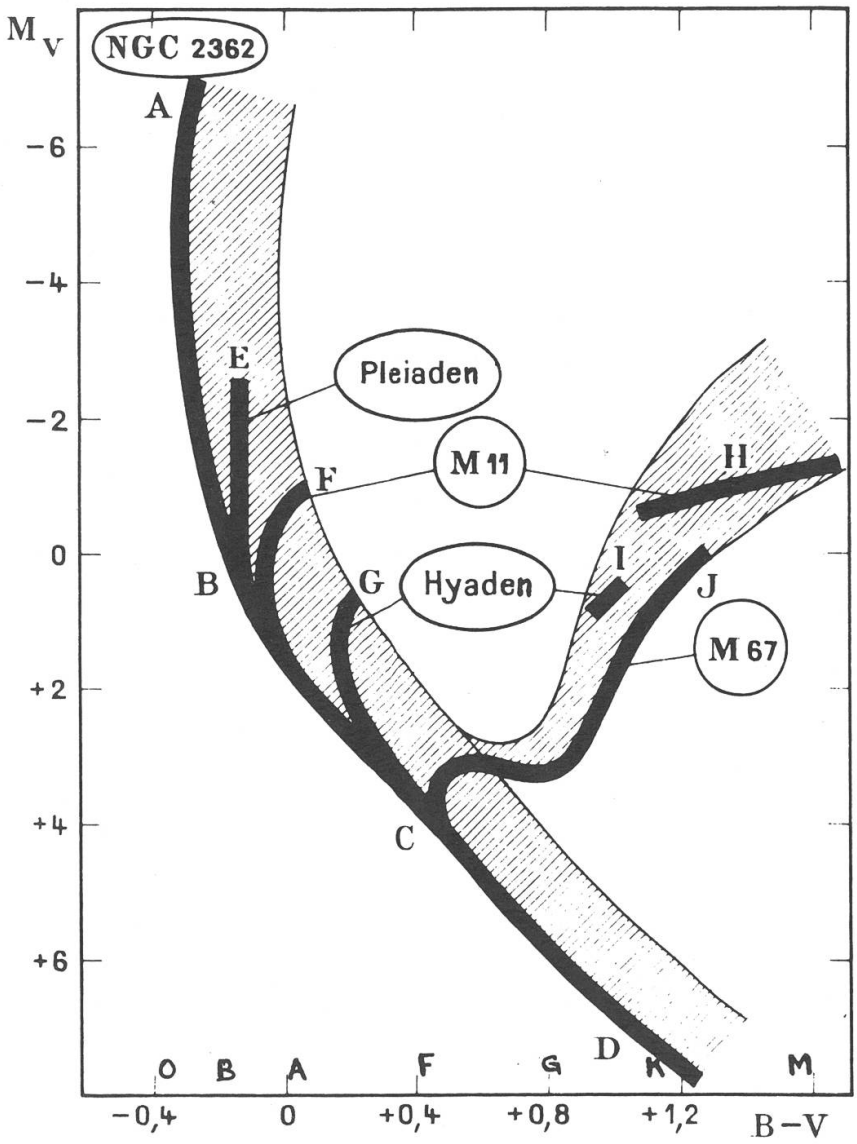

Abbildung 4 - Farben-Helligkeits-Diagramm für Population I. Die Häufungsstellen für Sterne verschiedener offener Haufen sind stark ausgezeichnet. B-V bedeutet die Farbe (Unterschied der Helligkeit in zwei Farben), links weiss-blau, rechts rot; darüber sind die ungefähr entsprechenden Spektraltypen (O, B, A, F, G, K, M) angegeben. (Nach SANDAGE.)

schwachen roten Zwergsterne. Es gibt ausserdem noch gelbe und rote Sterne, die heller sind als die Vertreter gleicher Farbe der Hauptreihe; sie bilden den zweiten, horizontal liegenden Streifen im Farben-Helligkeits-Diagramm: man nennt sie gelbe oder rote Riesen (die roten heller als die gelben), sie bilden den sogenannten Riesen-Ast.

In Abbildung 4 sind die Gebiete in der Hauptreihe und im Riesen-Ast, die von den Sternen offener Haufen besetzt sind, besonders hervorgehoben: der Haufen NGC 2362 (wie auch die nicht dargestellten Gesellschaften von NGC 2264, Orion I, u. a.) besitzt blaue Leuchtriesen vom Typ O und B; die Pleiaden enthalten noch blaue Sterne vom Typ B, aber 50- bis 60-mal lichtschwächer als jene von NGC 2362; in den Hyaden ist Typ B nicht vorhanden, die hellsten Sterne sind vom Typ A, also rund 10-mal weniger hell; die hellsten Vertreter schliesslich vom Haufen M 67 (Hauptreihe) sind gelbe Sterne vom Typ F, also noch 20-mal schwächer, den Typ A gibt es hier nicht mehr. Hingegen ist der Riesen-Ast bei M 67 mehr entwickelt als bei den Hyaden.

Unter sich sind also die offenen Haufen recht verschieden. Mit der Erklärung dieser Unterschiede werden wir uns später befassen.

Ausser den eben betrachteten Sternen verhältnismässig konstanter Leuchtkraft finden sich in der nächsten Sonnenumgebung auch sog. Veränderliche, deren Helligkeit mehr oder weniger regelmässig und mehr oder weniger stark schwankt. Die hellsten unter ihnen gehören zur Klasse der « Cepheiden ».

Erwähnen wir sogleich, dass die eben in grossen Zügen beschriebene Stern-Bevölkerung eine Gesamtheit bildet, die im Weltall häufig anzutreffen ist; BAADE hat ihr den Namen «Population I» gegeben. Die ihr angehörenden Sterne konstanter Leuchtkraft sind gekennzeichnet durch das Farben-Helligkeits-Diagramm der Abbildung 4.

Als hellste Objekte der Population I kennen wir die blauen Ueberriesen, die Cepheiden und die Nebel; sie alle beschreiben nahe der Mittelebene der Scheibe fast kreisförmige Bahnen um das Milchstrassen-Zentrum.

Erforschung des Halo unserer Milchstrasse
Die Population II

Schon seit längerer Zeit können noch andere Mitglieder unserer Milchstrasse, wenigstens teilweise, untersucht werden. Es sind die uns am nächsten liegenden Kugelsternhaufen im Halo unserer Galaxie.

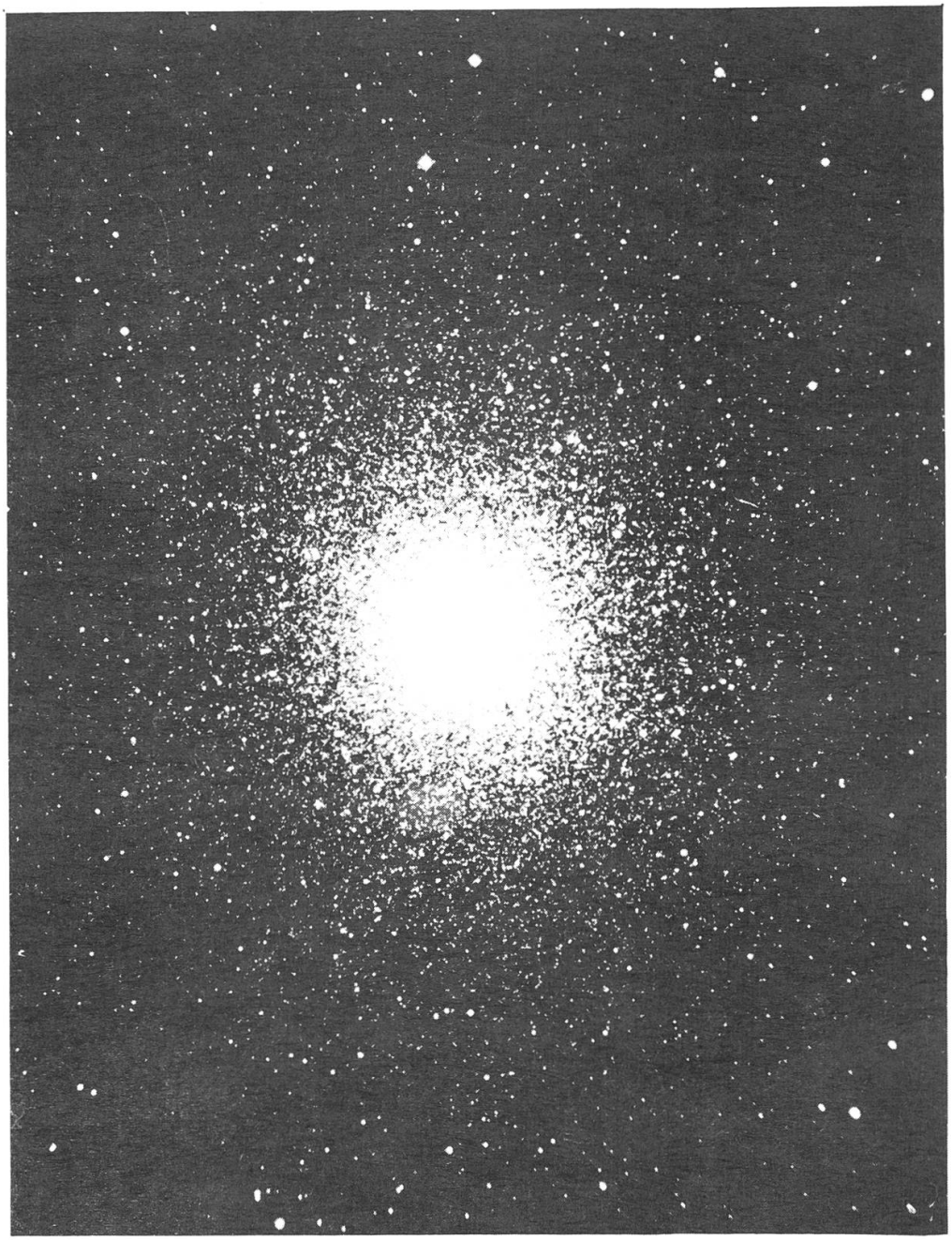

Abbildung 5 - Kugelsternhaufen Messier 13 im Sternbild Herkules, ähnlich dem im Text erwähnten Haufen M 3. (Aufnahme Palomar, Hale-Reflektor.)

Sehr bald erkannte man, dass die Farben-Helligkeits-Diagramme der Kugelhaufen unter sich wohl nahezu gleich sind, sich aber von jenem der Sterne der Sonnenumgebung in der Scheibe unterscheiden. Abbildung 6 gibt ein solches Diagramm wieder, nämlich des von SANDAGE untersuchten Kugelhaufens Messier 3. Die Aehnlichkeit mit jenem von Messier 67 ist augenfällig, enthalten doch beide weder blaue noch

weisse Sterne. Hingegen sind die roten Riesen in M 3 sehr viel heller als jene von M 67; aber immer noch sind diese hellsten Sterne rund 100-mal lichtschwächer als die blauen Uebergiganten von Population I.

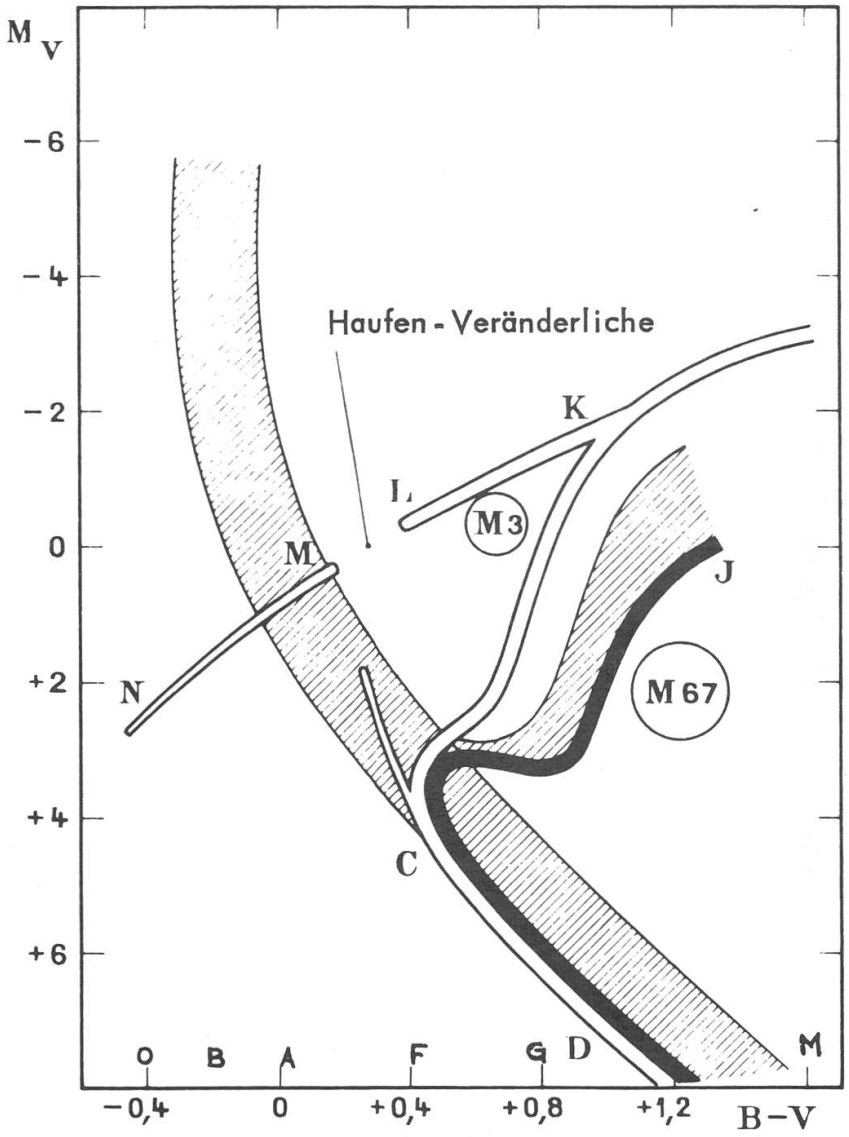

Abbildung 6 - Farben-Helligkeits-Diagramm für den offenen Haufen M 67 (Population I, schwarz ausgezogen) und den Kugelhaufen M 3 (Population II, weisses Gebiet D - C - K - L - M - N). Koordinaten wie Abb. 4. (Nach SANDAGE.)

Ferner enthalten die Kugelhaufen eine besondere Sorte kurzperiodischer veränderlicher Sterne, die sog. Haufen-Veränderlichen, die in offenen Sternhaufen nicht vorkommen.

Auch spektroskopisch bestätigt sich der Unterschied zwischen den Sternen der Kugelhaufen und jenen der Population I, obschon die Spektren der ersteren, ihrer bescheidenen Leuchtkraft und grossen Distanz wegen, nur sehr schwer aufzunehmen sind. Die Spektren der Kugelhaufen-Sterne sind so verschieden von jenen der Population I, dass die vorher besprochene zweidimensionale Klassifikation (Farben-Helligkeits-Diagramm) für sie nicht mehr genügt. Die chemische Zusammensetzung der Haufensterne unterscheidet sich wesentlich von jener der Population I; vor allem ist der Anteil der Metalle am Aufbau der Kugelhaufen sehr viel kleiner (schwache Metall-Linien) als an der Population I.

Wenden wir uns schliesslich noch den im Halo spärlich verteilten Einzelsternen zu. Einige von ihnen nähern sich der Sonne genügend, dass eine spektroskopische Untersuchung möglich ist. Sie sind gekennzeichnet durch ihre gegenüber den andern Sternen scheinbar sehr grosse Geschwindigkeit und durch die starke Elliptizität ihrer Bahnen, die überdies gegen die Milchstrassenebene stark geneigt sind. Dies ist auch ein Hauptmerkmal ihrer Zugehörigkeit zum Halo; sie durchqueren die Scheibe auf ihrem Umlauf nur kurz, während die Bahnen der Mitglieder von Population I ganz in der Milchstrassenebene liegen. Zu diesen Halo-Sternen gehören solche unveränderlicher Leuchtkraft, wie die normalen Unterzwerge und die sehr blauen Unterzwerge von ZWICKY und HUMASON, sowie kurzperiodische Veränderliche vom Typ RR Lyrae. Ihre Spektren unterscheiden sich ebenfalls von jenen der Population I und können in der zweidimensionalen Klassifikation keinen Platz finden. Ihre Metall-Linien sind schwach und deuten, wie bei den Kugelhaufen, auf einen kleinen Metall-Anteil hin.

So erweist sich also die Bevölkerung des Halo (Mitglieder der Kugelhaufen und isolierte Sterne) als von ziemlich einheitlicher Natur, aber von der Population I sehr verschieden. Die hellsten Halo-Sterne, die roten Riesen der Kugelhaufen, sind grössenordnungsgemäss 100-mal lichtschwächer als die blauen Uebergiganten der Population I. Zum grossen Teil rühren diese Abweichungen von der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung her. Gegenüber der Population I weist die Halo-Population einen viel geringeren Metall-Anteil auf (verglichen mit dem Wasserstoff-Anteil); BAADE nennt sie «Population II».

Im folgenden werden wir sehen, dass diese Population II eine sehr weite Verbreitung hat.

Erforschung der andern Galaxien

Mit Hilfe der modernen grossen Teleskope wurde auch das Studium benachbarter Galaxien möglich. Dieses hat sich als äusserst fruchtbar erwiesen, da es leichter ist, die Struktur einer Milchstrasse von aussen zu erkennen als die unserer eigenen, die wir immer nur von innen sehen.

HUBBLE gelang 1925 mit dem 100-Zoll-Teleskop von Mount Wilson die Auflösung der Spiralarme des grossen Andromeda-Nebels M 31. Er fand darin blaue Supergiganten, Cepheiden-Veränderliche, Sternhaufen und Nebelwolken, alles für die Population I (z.B. Sonnenumgebung) charakteristische Objekte, was uns vermuten lässt, dass wir selbst in einem Spiralarm unserer eigenen Milchstrasse sitzen.

Die andern Teile von M 31 konnten hingegen erst 1944, (durch BAADE) aufgelöst und darin die roten Riesen, als Charakteristikum der Population II, festgestellt werden. Die roten Riesen, 100-fach lichtschwächer als die blauen Ueberriesen, erforderten sehr lange Belichtungszeiten. Um das Verschleiern der Platten, durch das Leuchten der höchsten Atmosphärenschichten, zu vermeiden, verwendete BAADE eine Kombination von rotempfindlichen Emulsionen und von Rot-Filtern, welche das störende Licht fernhalten. Die roten Riesen erschienen auf den Photographien in der ganzen Ausdehnung der Mittelebene, der Scheibe, des Andromeda-Nebels, also nicht nur im Kern, sondern auch in den Zwischenräumen zwischen den Spiralarmen, ja sogar bis in 2° Entfernung vom Zentrum längs der grossen Achse.

Diese roten Riesensterne der Population II tragen aber nur einen kleinen Teil bei zum Licht, das von der Scheibe (mit Ausnahme der Spiralarme) stammt. Die Gesamtstrahlung der Scheibe, d.h. das von den unzähligen und einzeln nicht sichtbaren Sternen stammende Licht, zeigt nach neuen Untersuchungen von MORGAN, dass diese Sterne hauptsächlich den Spektraltypen F und G (Population I) angehören, also den hellsten Sternen entsprechen, die wir im offenen Haufen M 67 angetroffen haben. Die Scheibe ausserhalb der Spiralarme stellt somit ein Gemisch dar von Riesen der Population II und sehr zahlreichen Sternen der Population I.

Diese Beobachtung, gestützt durch eine Reihe anderer, hat dazu geführt, die Population I in «extreme Population I» der Spiralarme (blaue Ueberriesen, Cepheiden, ...) und in «Scheiben-Population» (z.B. hellste Sterne von M 67), über die ganze Scheibe verbreitet,

aufzuteilen * .

Es scheint immerhin, dass die Populationen I und II in den Zentralteilen der Scheiben verschiedener Spiralnebel unterschiedlich vertreten sind. So besteht der Kern unserer eigenen Milchstrasse mehrheitlich aus Population II, im Gegensatz zu Messier 31.

Gleichzeitig mit M 31 gelang BAADE auch die Auflösung der beiden benachbarten Galaxien Messier 32 (NGC 147, Abb. 3) und NGC 205. Beide scheinen ganz von Population II erfüllt zu sein, wie die elliptischen Galaxien in Sculptor und Fornax, beide von HUBBLE und BAADE einige Jahre früher aufgelöst. Bis jetzt hat keine weitere Untersuchung in den elliptischen Systemen das Vorhandensein von Population I nachgewiesen; diese beschränken sich also anscheinend auf den Halo der Spiralnebel.

Die unregelmässigen Galaxien, die Magellanschen Wolken z. B., bestehen aus vorwiegender Population I, durchsetzt von spärlicher Population II, die aber nicht sehr leicht erkannt werden kann.

Der interstellare Wasserstoff

Ausser Sternen begegnet man in den Milchstrassen noch den Nebeln, mehr oder weniger ausgedehnten und mehr oder weniger dichten Wolken von interstellarem Staub und Gas, am häufigsten Wasserstoff.

Die modernen Methoden der Radio-Astronomie eignen sich ausgezeichnet für die qualitative und quantitative Untersuchung dieser Wasserstoff-Wolken, die ihr Vorhandensein durch eine Radio-Strahlung von 21 cm Wellenlänge verraten. Diese Wolken kommen nachweisbar nur mit der Population I zusammen vor; insbesondere variiert ihre Mächtigkeit im gleichen Sinne wie jene der extremen Population I. So kommt es, dass ein beträchtlicher Anteil der Masse einer unregelmässigen Galaxie (ausgeprägte extreme Population I) durch diese Wasserstoff-Wolken geliefert wird, während in den gewöhnlichen Spiralnebeln (kleine Population I) dieser Anteil, lokalisiert in den Spiralarmen, kaum einige Prozent ausmacht. Die elliptischen Nebel, ohne Population I, enthalten praktisch auch keine Wasserstoff-Regionen.

---

*) Die Wahl dieser letzten Bezeichnung ist vielleicht nicht sehr glücklich: auch die extreme Population I gehört zum Bestand der Scheibe, allerdings nur zu einem Teil, den Spiralarmen, während die Scheiben-Population die ganze Scheibe, nicht nur die Spiralarme, überzieht.
Weitere Untersuchungen haben übrigens OORT zum Vorschlag einer noch feineren Unterteilung geführt. Auf die Notwendigkeit einer solchen haben unabhängig voneinander F. ZWICKY und russische Astronomen bereits vor einigen Jahren hingewiesen. Wir gehen aber hier nicht auf diese Einzelheiten ein.

Die Menge der Staub-Wolken schwankt mit jener des interstellaren Wasserstoffs.

In unserer eigenen Milchstrasse haben MORGAN und holländische Radio-Astronomen das Vorhandensein mehrerer Spiralarme mit den für die reine Population I charakteristischen blauen Riesensonnen und den Wasserstoff-Wolken nachgewiesen. Das bestätigt die Meinung, dass unsere Milchstrasse in die Kategorie der Spiralnebel gehört. In den Spiralarmen liegen auch die galaktischen Nebel. Im Gegensatz dazu sind Halo und Kugelsternhaufen frei sowohl von Wasserstoff-Wolken als auch von interstellarer Materie (reine Population II).

Alter der Stern-Populationen

Alle diese Feststellungen lassen uns vermuten, dass die beiden Stern-Populationen verschiedenes Alter haben. Tatsächlich enthält ja Population I blaue Riesensterne, die so verschwenderisch strahlen, dass ihr Energievorrat sehr schnell aufgebraucht wird; sie müssen deshalb rasch altern und dann in einen Zustand geringerer Leuchtkraft übergehen. Das setzt aber voraus, dass diese sterbenden Ueberriesen fortwährend durch neue ersetzt werden, die sich aus der hier vorhandenen interstellaren Materie heraus bilden.

Die Population I, vor allem aber die extreme Population I, muss deshalb jung sein und aus der interstellaren Materie stammen.

Im Halo, in den Kugelhaufen und in den elliptischen Nebeln, die keine interstellare Materie enthalten, hat die Neubildung von Sternen seit langem aufgehört, was den Gedanken nahelegt, die Population II sei bedeutend älter als die Population I.

Die Scheiben-Population, mit den leuchtschwächeren Sternen von Population I und den Riesen von Population II, würde einem Zwischenstadium entsprechen.

Diese allgemeinen und ein wenig gewagten Schlüsse, die allein aus der astronomischen Beobachtung gezogen sind, wurden durch die Theorie bestätigt, welche u. a. auch die Kern-Physik zu Hilfe nimmt *. Die Theorie weist nach, dass die offenen Haufen, denen man längs der Hauptreihe von Abbildung 4 begegnet, sehr jung im oberen und älter im unteren Teil sind. Ihr Alter wäre rund eine Million Jahre für NGC 2362,

*) Diese Theorie ist hauptsächlich durch M. SCHWARZSCHILD und HOYLE entwickelt worden.

20 Millionen Jahre für die Pleiaden und 200 Millionen für die Hyaden, bis zu 5 oder 6 Milliarden Jahre für M 67, den ältesten offenen Haufen, den wir heute kennen.

Fünf bis sechs Milliarden Jahre wäre auch das Alter der Kugelsternhaufen und der Grössenordnung nach jenes der Sterne von Population II.

Obschon die Theorie die Sternentwicklung noch nicht sehr weit zu verfolgen vermag, scheint es, dass die weissen Zwerge einen äussersten Zustand des Sterndaseins darstellen, und dass die Mehrzahl der Sterne diesem zustrebt (die weissen Zwerge befinden sich in Abbildungen 4 und 6 im linken untern Teil). Es versteht sich von selbst, dass die weissen Zwerge der Population II zuzuordnen sind.

Die vorangegangenen Ueberlegungen machen uns die Unterschiede zwischen den Populationen I und II verständlich. Es sind Verschiedenheiten der Zusammensetzung und der Verteilung. Sie zeigen auch, dass die beiden Populationen sich in der Scheibe der Spiralnebel treffen, dort, wo Vertreter vergleichbaren Alters beider Populationen vorkommen.

Entwicklung der verschiedenen Galaxien
Noch ungelöste Probleme

Viele Fragen sind noch ohne Antwort. Die verschiedenen Milchstrassen-Typen, unregelmässige Galaxien, Spiral- und elliptische Nebel, enthalten alle in mehr oder weniger grosser Zahl Vertreter der Population II. Man kann deshalb annehmen, dass in allen die Bildung von Sternen fast gleichzeitig begonnen haben muss. Warum aber erfolgte dieser Vorgang in den erstgenannten Systemen, mit dünner Population II (also alten Sternen) so langsam, und warum war sie so schnell in den letztgenannten, mit reicher, ja ausschliesslicher Population II ?

Wie soll man andererseits die unterschiedliche chemische Zusammensetzung der Populationen I und II erklären, wenn sich eine Reihe ihrer Mitglieder vor fünf oder sechs Milliarden Jahren gleichzeitig gebildet haben sollen ?

Eine etwas genauere Abschätzung dieses Alters von fünf oder sechs Milliarden Jahren wird sicher erlauben, auch die weiter oben genannten Altersangaben zu verbessern. Wenn z. B. die alten Sterne der Population I (Typen F und G des Haufens M 67) eine Milliarde Jahre jünger sind als jene der Population II, würde man auch verstehen, dass die chemische Zusammensetzung der interstellaren Materie sich in dieser

Zeit verändert haben kann. Die Zunahme ihres Metall-Gehaltes könnte durch die Materie bewirkt werden, die von den Sternen in gewissen Entwicklungs-Stadien ausgestrahlt wird*.

Ausblick auf zukünftige Forschungen

Das Studium von Sternhaufen und Galaxien als Ganzes allein genügt nicht, diese und zahlreiche weitere Fragen einer Klärung näher zu bringen. Auch die Untersuchung der sie bildenden Einzelsterne muss weitergetrieben werden. Es wäre u. a. wünschenswert, zu einer Klassifikation zu gelangen, die eine Einordnung aller Stern-Typen gestattet; wir haben ja gesehen, dass die Sterne der Population II nicht mit jenen der Population I zusammen in einer zweidimensionalen Klassifikation dargestellt werden können.

Im Farben-Helligkeits-Diagramm (Abb. 6) erkennt man, dass die beiden Populationen (I vertreten durch M 67 und II durch M 3) wohl einen gemeinsamen Teil haben (unterer Abschnitt der Hauptreihe). Ein und derselbe Punkt des Diagrammes kann somit zwei grundverschiedene Sterne repräsentieren, was deutlich die Unvollkommenheit einer solchen Darstellung aufzeigt. Mindestens ein weiterer Parameter ist erforderlich, um diese Sterne ihren Eigenschaften gemäss einzuordnen.

Am Institut d'Astrophysique in Paris wird z. Zt. der Versuch einer Klassifikation mit Hilfe von drei quantitativen und eindeutigen Parametern unternommen**. Bereits ist es möglich, in diesem System nicht nur die Sterne der Population I, sondern auch eine grosse Zahl aus der Population II einzuordnen. Diese Weise der Darstellung, die noch grosser Vervollkommnung bedarf, wird zweifellos das Gemeinsame und die Unterschiede der Stern-Typen klarstellen und uns erlauben, ihre Evolution in der Zeit besser verfolgen zu können[4].

In den vorstehenden Ausführungen wurde auf die veränderlichen Sterne nur hingewiesen, ohne auf die fundamentale Bedeutung ihres Studiums im Zusammenhang mit der Stern-Entwicklung einzugehen. Unerwähnt sind auch jene Sterne geblieben, die so jung sind, dass in ihnen die Energiequellen der Kern-Reaktionen noch nicht erschlossen sind. Unter diesen befinden sich die Veränderlichen vom Typ T Tauri, deren eingehende Untersuchung sich als bedeutungsvoll erweist (sie bilden bereits Forschungsgegenstand der russischen Schule).

*Diese Emission von Materie spielt in der Stern-Entwicklung eine grosse Rolle. In zahlreichen Arbeiten wird versucht, ihren Mechanismus zu ergründen und ihre Bedeutung klarzustellen (A.G. MASEVICH, O. STRUVE u. a.).

** Ueber diese Klassifikation wird in einem nächsten Artikel berichtet.

Gehen wir noch weiter zurück, kommen wir, vor den Sternen, zur interstellaren Materie, aus der sie sich bilden. Deren Eigenschaften sind noch kaum bekannt; nicht nur über ihre Zusammensetzung, auch über ihre Gleichförmigkeit, besteht Unklarheit. L. DIVAN hat Beobachtungstatsachen zusammengetragen, die alle auf einförmige Eigenschaften in allen Richtungen hindeuten[5].

Wie sollen diese positiven Feststellungen mit den Unterschieden im Aufbau der beiden Populationen vereinbart werden? Das kaum begonnene Studium der interstellaren Materie muss mit allen Kräften gefördert werden, wie auch das der Wechselwirkungen der Sterne mit ihrer interstellaren Umgebung, vor allem der Materie-Emission, die eine langsame Veränderung der chemischen Zusammensetzung der interstellaren Materie erklären könnte.

Dieser summarische und unvollständige Ueberblick über unsere Kenntnisse vom Bau und von der Entwicklung des Weltalls führt uns das Ausmass des bereits Erreichten vor Augen; im gleichen Zuge ermessen wir, wie unvollkommen das vorläufige Gebäude unseres Wissens noch ist, wie viele seiner Teile noch gebrechlich sind und grosse Anstrengungen verlangen, um gefestigt oder gar umgebaut zu werden.

Die unaufhörliche Vervollkommnung der Technik und der Ausbau der internationalen Zusammenarbeit weisen bereits auf neue, rasche und wesentliche Fortschritte hin.

LITERATURVERZEICHNIS

1) Ricerche Astronomiche, Vol. 5, Stellar Populations, Specola Vaticana, 1958.
2) Report on the Second I.A.U. Conference on Coordination of Galactic Research, Saltsjöbaden 1957.
3) Colloque sur le diagramme Hertzsprung-Russell, Xème Congrès de l'U.A.I. Moscou 1958.
4) D. CHALONGE, Astronomitscheskii Journal, XXXIII, 1956, 456.
5) L. DIVAN, Ann. d'Astrophys., 17, 1954, 456.

Als wertvolle Hilfe beim Studium dieses Artikels erweisen sich:

STUMPFF, Astronomie, Fischer-Lexikon, 4, 1957 (s. «Orion» 60, 422).
STEINLIN, Sternphotometrie, «Orion» 55, 189; Hertzsprung-Russell-Diagramm, «Orion» 59, 361.
R.A. NAEF, Auslese lohnender Objekte (Jahrbuch «Der Sternenhimmel»).

Uebersetzung von F. EGGER

Die Photographien wurden vom Bilderdienst der SAG zur Verfügung gestellt.