

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 41 (1983)
Heft: 196

Rubrik: Neues aus der Forschung

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: 25.01.2026

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

Sternentwicklung in Kugelhaufen und das Alter des Universums

Aufgrund von Modellrechnungen zur Entwicklung von Sternen kann man theoretische Aussagen über das Alter von Sternhaufen machen (für Einzelsterne ist das nicht so leicht). Das macht man so. Man nimmt an, die Mitglieder eines Sternhaufens seien zur selben Zeit aus dem selben Material entstanden. Damit vereinfacht man die Vorstellung über die Sterne in Haufen sehr: sie sind alle gleich alt und hatten anfänglich genau die gleiche Zusammensetzung chemischer Elemente. Damit unterscheiden sie sich nur noch in einer wesentlichen Hinsicht, in ihrer Masse. Das heisst nun, dass man Modellrechnungen für ganze Haufen so durchführt, dass Modelle für eine ganze Sequenz verschiedener Massen gerechnet werden, wobei alle anderen Parameter gleich gewählt werden.

In ihrem Leben bewegen sich Sterne, laut den theoretischen Modellrechnungen, auf wohlbestimmten «Pfaden» durch das Hertzsprung-Russel Diagramm (HRD). Sie verweilen zuerst sehr lange auf der Hauptreihe (wo sie ihr Leben als eigentliche Sterne anfangen), bewegen sich dann recht plötzlich und schnell nach rechts oben in die Gegend der roten Riesen. Das passiert, wenn der erste Brennstoff im Inneren, der Wasserstoff, aufgebraucht ist. Sterne in den alten Kugelhaufen (sie sind Sterne der Population II mit wenig schweren Elementen im Vergleich zur Sonne) durchlaufen danach, falls sie nicht zu massiv sind, ein Stadium auf dem Horizontallast im HRD. Es muss noch bemerkt werden, dass sich alle Entwicklungsvorgänge mit steigender Sternmasse rapide beschleunigen.

Dies sind, grob gesagt, die Aussagen der klassischen Theorie der Sternenentwicklung, gefunden durch Tausende und Hunderttausende von Modellrechnungen. Die geschilderten Vorgänge sollten zu einem vom Alter abhängigen Erscheinungsbild des HRD eines Kugelsternhaufens führen. Der Vergleich des HRD mit dem theoretischen (synthetischen) HRD müsste dann über das Alter des Haufens Auskunft geben. Im Alter Null müsste das HRD ja nur aus der Hauptreihe bestehen. Dann bewegen sich die Sterne grösster Masse (frühe Spektraltypen O, B) zuerst von der Hauptreihe weg nach rechts. Es entsteht ein Knie, das sich mit zunehmendem Alter (nun entfernen sich auch schon leichtere Sterne) auf der Hauptreihe nach unten verschiebt. Die Lage des Knie, aber nicht nur sie, ist damit ein Hinweis auf das Alter des Haufens.

Aufgrund des Vergleichs von wirklichen mit synthetischen HRDs hat man schon lange auf das hohe Alter von Kugelsternhaufen (sicher mehr als 10 Milliarden Jahre) verwiesen. Vor kurzem hat D. A. VANDENBERG (Astrophysical Journal Supplement Series 51, 29, 1983) eine Fülle neuer Modellrechnungen und Vergleiche mit Beobachtungen präsentiert. Er hat sich zwar wieder auf das «Standardmodell» gestützt (kugelförmige Sterne, keine Rotation, keine Magnetfelder, keine Pulsationen), dabei aber die wichtigen physikalischen Voraussetzungen über den Zustand im Sterninnern den neuesten Daten angepasst. Für Modellrechnungen (siehe auch FUCHS, ORION Nr. 195, S. 63, 1983) braucht man im wesentlichen Beschreibungen folgender Vorgänge und Zusammenhänge: das thermische Verhalten des Sternengases (Zustandsgleichung); die nuklearen Reaktionen, die natürlich auch von der chemischen Zusammensetzung abhängen und diese ihrerseits verändern; die Art des Energietransportes in äusseren Schichten (Konvektion) und schliesslich die genauen Vorgänge in der Sternatmosphäre (äussere Randbedingungen).

Überall hat VANDENBERG die neuesten Daten genommen. Obwohl die Modelle grundsätzlich immer noch sehr vereinfacht sind, erhielt er gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung, die eine Abschätzung wichtiger und nur ungenau bekannter Grössen (wie die Effizienz der Konvektion, Anteil Helium in den Sternen und Alter des Haufens) zuließ. Ein besonders wichtiges Resultat ist die Altersbestimmung, die bei den ältesten Haufen auf mindestens 15–18 Milliarden Jahre führte, womit einige andere neuere Untersuchungen untermauert werden.

Schön und gut. Nun zeigt sich aber immer deutlicher, dass ein bedeutendes Problem mit dem Alter des Universums auf uns zukommt. Sind die ältesten Teile des Universums 15 oder mehr Milliarden Jahre alt, so ist das Ganze sicher mindestens so alt. Altersbestimmungen des Universums auf kosmologischer Grundlage (Ausdehnung des Weltalls) geben aber Werte von 10–20 Milliarden Jahren, wobei die 10 Milliarden Jahre aus neueren Untersuchungen hervorgehen (siehe auch FUCHS, ORION, «Die Hubble-Konstante und das Alter der Welt»). Wenn sich dieser Verdacht, dass die Hubble-Konstante (die die Ausdehnungsrate des Weltalls beschreibt) eher 100 km/s Mpc als 50 km/s Mpc sein sollte, bestätigt, so dürfte die Astronomie in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten noch sehr spannend werden. An grundsätzlichen Dilemmata mangelt es uns wahrlich nicht. Es dürfte lustig werden, den oder die Würmer zu finden, die noch im Gebäck sitzen.

H. U. FUCHS

Eigenschaften von Begleitern von Galaxien

Halton ARP von den Mount Wilson und Las Campanas Observatories hat seit mehr als 10 Jahren Galaxien und ihre (wirklichen oder vermuteten) Begleiter untersucht. Das wesentliche Resultat dieser Anstrengungen war es zu zeigen, dass die Begleiter gegenüber den Zentralgalaxien höhere Rotverschiebungen (mit dem Buchstaben z bezeichnet) ihrer Spektrallinien zeigen. In einigen Fällen sollen die Unterschiede in z bis zu +4000 km/s entsprechen. So etwas verursacht grundsätzliches Kopfzerbrechen. Anhand normaler Galaxien hatte schon HUBBLE festgestellt, dass die Materie im Weltall von uns wegfliest, und zwar desto schneller je weiter die Objekte von uns entfernt sind. Würde man nun die von ARP gemessenen Rotverschiebungen als Ausdruck dieser allgemeinen Expansion deuten, so hiesse das, dass die «Begleiter» sich in sehr viel grösserer Entfernung von uns befinden als ihre «Muttergalaxien». Nun besteht ARP aber darauf, dass seine Begleitgalaxien wirkliche Begleiter sind, sich also in der Nähe ihrer Zentralgalaxien befinden.

Schon die Begleiter von M31 und M81 zeigen positive Abweichungen der Rotverschiebung, die allerdings relativ klein sind. Andere, krassere Fälle wurden von ARP berichtet. Nun präsentiert er eine Menge neuer und unabhängiger Daten, um seine Behauptung zu untermauern (Astrophysical Journal, 256, 54, 1982). Eine Untersuchung des Südhimmels lieferte ihm beinahe 90 Fälle von Begleitern. ARP zeigt in seinem neuesten Aufsatz, dass diese 90 Galaxien mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit mit den Zentralgalaxien assoziiert sind.

Die Daten der Rotverschiebungskremente (z) zeigen zwei Klassen von Begleitgalaxien: (A) solche mit z im Bereich von –800 km/s bis +800 km/s und (B) solche mit z zwischen –4000 km/s und etwa +4000 km/s. Die Klasse A würde man

sowieso zu Begleitgalaxien rechnen, da z zu klein ist, als dass diese Objekte aufgrund der Expansion des Weltalls in viel grösserer Entfernung anzutreffen wären als ihre Zentralgalaxien. Die Lücke bis zu $+4000$ km/s untermauert zusätzlich andere Messungen, die von der Existenz einer Gruppe A zeugen.

Das faszinierende an der Gruppe A ist, dass schon hier die positiven Rotverschiebungskremente z stark überwiegen. Für die 51 Mitglieder aus ARP's Gruppe A gilt als Mittelwert von $+122$ km/s ± 34 km/s für z . Zudem zeigen die positiven z eine gewisse Quantisierung, d.h. sie häufen sich bei Werten von $+72$ km/s, $+144$ km/s, $+216$ km/s, $+288$ km/s.

ARP zeigt, dass auch die Mitglieder der Gruppe B Begleiter sein sollten. Ihre Häufigkeitsverteilung, ihre Spektren (die oft spezieller Natur sind) und oftmals ihre auf Photographien sichtbaren Verbindungen zu Muttergalaxien sprechen seiner Meinung nach dagegen, dass er Hintergrundgalaxien erwischt hat, die nur zufällig in derselben Richtung liegen.

Nun hat man also nach ARP eine eindrückliche Zahl von Fällen, in denen die Rotverschiebung nichts mit der Flucht der normalen Galaxien (Expansion des Weltalls) zu tun haben kann. ARP argumentiert so: wenn es sich schon bei Begleitgalaxien der Gruppe A bewahrheiten sollte, dass diese gegenüber ihren Muttergalaxien zusätzliche Rotverschiebungen zeigen, die nichts mit der Hubble-Flucht zu tun haben, so könnte der gleiche Effekt, nur grösser, auch in anderen und kompakteren Begleitern auftreten. Und schliesslich wiederholt ARP, was er schon so oft gesagt hat, dass derselbe Effekt in Quasaren auftrete, womit diese Objekte nicht in kosmologischen Distanzen zu finden seien, sondern viel näher bei uns zu liegen kämen. Was dieser Effekt allerdings ist, weiss er auch nicht.

H. U. FUCHS

Die Hubble-Konstante und das Alter des Universums

E. P. HUBBLE entdeckte schon Ende der zwanziger Jahre, dass sich Galaxien allgemein von uns weg bewegen und zwar um so schneller, je weiter weg sie sind. Der Zusammenhang ist linear, die zwei Grössen sind direkt proportional zueinander. Die Hubble-Konstante ist der Proportionalitätsfaktor, d.h. sie beschreibt, wie schnell die Fluchtgeschwindigkeit sich mit der Entfernung vergrössert. Das Phänomen der Flucht der Galaxien wird heute allgemein als Expansion des Weltalls ausgelegt. Danach muss dieses einen Anfang gehabt haben; es hat also ein Alter, das sich aus der Rückwärtsrechnung der Expansion ermitteln lässt. Die einfachsten Modelle für das Universum, erstellt auf der Basis von Einsteins Gravitationstheorie, ergeben einen einfachen Zusammenhang zwischen Alter und Hubble-Konstante: ist die Konstante $H = 50$ km/s Mpc (Megaparsec), so muss das Alter kleiner als 20 Milliarden Jahre sein; bei $H = 100$ km/s Mpc reduziert sich dieses auf weniger als 10 Milliarden Jahre.

Also ist die Bestimmung der momentanen Ausdehnungsrate des Weltalls, der Hubble-Konstante, von äusserster Bedeutung. In den siebziger Jahren wurden hauptsächlich zwei grosse Untersuchungen durchgeführt, die auf $H = 50$ (SANDAGE und TAMMANN) und $H = 100$ (de VAUCOULEURS) führten. Warum so eine grosse Diskrepanz?

M. AARONSON und J. MOULD (Astrophysical Journal 265, 1, 1983) haben das Problem neu diskutiert und Probleme

zusammengefasst. Die Bestimmung der Hubble-Konstante ist aus zwei Gründen von grosser Ungenauigkeit begleitet:

- Eine mögliche Eigenbewegung der Milchstrasse in eine bestimmte Richtung (auf den Virgo-Haufen zu) muss in die Rechnung einbezogen werden; falls diese existiert, ist die Fluchtgeschwindigkeit für verschiedene Himmelrichtungen auch verschieden (Anisotropie): SANDAGE und TAMMANN haben eine solche Bewegung unbeachtet gelassen;
- Entfernung zu Galaxien sind sehr schwer zu bestimmen; ein Entfernungsmassstab muss an nahen Galaxien geeicht werden; hier unterscheiden sich die beiden Untersuchungen wieder stark: de VAUCOULEURS plaziert die Galaxien näher als SANDAGE und TAMMANN.

Neue Untersuchungen mit neuen Methoden zeigen nun, dass die Milchstrasse mit $v = 330 \pm 40$ km/s auf den Virgo-Haufen zufällt (AARONSON et al., Astrophysical Journal 258, 64, 1982). Das Problem der Kalibrierung des Entfernungsmassstabes hingegen ist noch nicht gelöst. AARONSON und MOULD fügen eine Kalibrierung hinzu, die zwischen der von SANDAGE/TAMMANN und de VAUCOULEURS liegt. Berücksichtigt man die Lösung des ersten Problems (Einfallgeschwindigkeit auf Virgo zu), so ergeben sich drei Werte für die Hubble-Konstante und damit für das Alter des Universums nach dem Standardmodell:

SANDAGE/TAMMANN	$H = 76 \pm 7$ km/s Mpc ($t < 13$ Milliarden Jahre)
AARONSON/MOULD	$H = 82 \pm 10$ km/s Mpc ($t < 12$ Milliarden Jahre)
de VAUCOULEURS	$H = 103 \pm 9$ km/s Mpc ($t < 10$ Milliarden Jahre)

Sehr bedeutend ist, dass damit $H = 50$ km/s Mpc (der ursprüngliche Wert von SANDAGE und TAMMANN) ausgeschlossen scheint. Man kommt also nicht mehr auf ein Alter von etwas weniger als 20 Milliarden Jahren. Das wiederum steht in Konflikt mit Altersbestimmungen auf der Basis von Sternentwicklungsrechnungen (siehe FUCHS, ORION, «Sternentwicklung in Kugelhaufen und das Alter des Universums»), die ein Alter von 15–18 Milliarden Jahren verlangen.

H. U. FUCHS

Meteorit vom Mond?

Im Januar 1982 fanden Wissenschaftler auf der Suche nach Meteoriten in den antarktischen Allen Hills ein Meteoritenstück, das unter dem Namen ALHA 81005 katalogisiert wurde.

Eingehende Untersuchungen lassen nun darauf schliessen, dass es sich bei diesem Meteoriten um ein Stück Mondgestein handeln könnte, das durch einen Vulkanausbruch auf die Erde geschleudert wurde.

Der Aufbau des Meteoriten ALHA 81005 weist nach ersten Untersuchungsergebnissen grosse Ähnlichkeiten mit den Gesteinsproben, die die Apollo-16-Astronauten aus den Hochländern des Mondes mitgebracht haben. Der letzte Beweis, dass ALHA 81005 vom Mond stammt, liegt jedoch noch nicht vor.

W. LÜTHI