

Im uferlosen Weltraum

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen**

Band (Jahr): **28 (1976)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

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.

Im uferlosen Weltraum

Die Kugelsternhaufen

Wir verlassen die Milchstrasse, der unendliche Raum wartet. Bevor wir uns aber in Gedanken hinausbegeben, schauen wir noch einmal zurück. In unmittelbarer Nähe, rings um die Milchstrasse verteilt, finden wir mehr als hundert selbständige Sternhaufen, allesamt in Kugelform, aber ohne feste Grenzen, die sogenannten Kugelsternhaufen. Sie gleichen einander so vollkommen, dass der Laie sie kaum voneinander unterscheiden kann, Objekte voller Rätsel und Probleme. Nur wenige der hellsten Kugelhaufen am Nordhimmel sind als etwas matte Sternchen von Auge sichtbar, im Prismenglas ein helleres, verdämmerndes Fleckchen. Im kleinen Fernrohr werden im Randgebiet des Fleckchens einzelne sehr schwache Sterne sichtbar, im mittelgrossen Fernrohr beginnt man zu ahnen, was da fern von uns in Zehntausenden von Lichtjahren Entfernung auf uns wartet. Im Fernrohr auf der Sternwarte auf der Steig in Schaffhausen mit seinem Hohlspiegel von 26 cm Durchmesser zeigt sich ein solcher Kugelhaufen, wie z. B. M 13 im «Herkules», in einer klaren, dunklen Nacht wie ein schwach leuchtender glitzernder Brillantheufen, und zwar bis ins helle Zentrum. Im Riesenfernrohr aber, wie es dem Schreibenden 1961 in Flagstaff in Arizona in einer unvergesslichen Nacht vergönnt war, strahlt das ferne Riesengebilde in unerhörter Pracht — unsere Farbaufnahme gibt einen schwachen Begriff davon:

Kugelsternhaufen bestehen aus 50 000 bis über eine Million Sonnen, viele von fast hundertfacher Sonnenhelligkeit, aber kaum eine Spur von Dunkelmassen dazwischen. Ihre Spektren zeigen vereinzelte schwache Metalllinien — ein Beweis, dass es sich um sehr alte Sterne der ersten Generation handelt, die sich wahrscheinlich schon bei der Bildung der Milchstrasse vor mindestens 10 Milliarden Jahren aus den Urmassen von Gas und Staub entwickelten.

Im Zentrum eines Kugelhaufens, Durchmesser ca. 200 Lichtjahre, müssen die Sonnen sehr nahe beieinander stehen, wahrscheinlich nur wenige Lichtwochen statt Lichtjahre voneinander entfernt. Man kann sich vorstellen, welcher strahlende Himmel ständig über einem Planeten im Haufenzentrum herrscht, wenn überhaupt Planeten in einem solchen Inferno existieren können. Man hat in Kugelsternhaufen Hunderte von veränderlichen Sternen gefunden, deren Licht regelmässig in Perioden von durchschnittlich einem halben Tag schwankt. Das Spektrum spricht von etwa hundertfacher Sonnenhelligkeit. Es sind sogenannte «Kurz-Cepheiden», in der Forschung bedeutender Markstein für Entfernungsmessung im Weltall. Sie spielen auch eine grosse

Rolle in der heutigen ausgefeilten Theorie der Sternenentwicklung. Es gelang in den letzten Jahren, in den uns am nächsten stehenden Milchstrassen im Weltall (von nun an stets Galaxien genannt) einzelne Kugelsternhaufen zu identifizieren. Davon sei im nächsten Kapitel die Rede.

Galaxien

Es ist für viele Menschen ein grosses, wenn nicht erschütterndes Erlebnis, wenn sie zum erstenmal von anderen Milchstrassen im Weltall hören. In astronomischer «Nähe» finden wir die beiden «Magellanschen Wolken», zwei kleine auffallende Wölkchen am Südhimmel. Wir sprechen von Wölkchen, in Wirklichkeit sind es zwei gewaltige Sternenheere, die, wohl mit schwachen Ausläufern mit der Milchstrasse verbunden, dennoch selbständige Sternensysteme sind.

Zwei Tatsachen sind es vor allem, die uns hier zu kurzem Verweilen veranlassen. Einmal wurde unter den zwei Milliarden Sternen der grösseren Wolke, Entfernung ca. 210 000 Lichtjahre, eine grosse Anzahl Riesensonnen entdeckt, sogenannte blaue und rote Ueberriesen, deren Helligkeit unsere Sonne um das Hunderttausendfache, wenn nicht Millionenfache übertrifft. Zweitens führten Untersuchungen an der kleinen Wolke — Distanz ca. 235 000 Lichtjahre — zu einem entscheidenden Entfernungsstab in der heutigen Astronomie. Wir haben bereits vorhin, im kurzen Abschnitt «Kugelsternhaufen» von typischen veränderlichen Sternen gesprochen, deren Licht in regelmässigen Perioden von etwa einem halben Tag schwankt. Diese sogenannten «RR Lyrae-Sterne», nach dem Sternbild benannt, in welchem der erste dieser charakteristischen «Veränderlichen» gefunden wurde, erlaubten eine zuverlässige, wenn auch nicht genaue Entfernungsbestimmung der Kugelsternhaufen. Soweit die Vorgeschichte.

Im Jahre 1908 begann die amerikanische Astronomin Miss H. Leavitt die mühsame, fotografische Suche nach «Veränderlichen» in der kleinen Wolke. Sie fand zahlreiche Cepheiden, ähnlich der soeben besprochenen RR Lyrae-Sterne, aber mit viel längeren Perioden in der Helligkeitsschwankung. (Die Bezeichnung «Cepheid» bezieht sich auf den Stern «Delta» im Sternbild Cepheus, eine Riesensonne, deren Licht in einer regelmässigen Periode von $5\frac{1}{2}$ Tagen schwankt.) Zeichnet man die Kurve des Lichtwechsels auf, so findet man einen sehr steilen Anstieg zum Lichtmaximum und langsames Fallen zu einem Minimum, worauf sofort wieder das Licht ansteigt. Man weiss heute, dass sich die Atmosphäre dieses merkwürdigen, grossen Veränderlichen regelmässig

aufbläht und periodisch wieder zusammensinkt, im Ausmass von Millionen Kilometern. Es sind «pulsierende» Sterne in langen oder kurzen Perioden.

Der Leser kann sich kaum einen Begriff machen von der Mühsal dieser jahrelangen Arbeit, damals ohne automatische Messmaschinen. Es galt, im Vergleichen verschiedener Platten, zu verschiedenen Zeiten aufgenommen, unter den Hunderttausenden von Lichtpünktchen diejenigen aufzufinden, deren Licht sich in der Zwischenzeit geändert hat. Dann hiess es, deren **Periode** im Lichtwechsel zu bestimmen und schliesslich die Helligkeiten im Maximum und Minimum zu messen. 1912 veröffentlichte Miss Leavitt das Resultat ihrer Untersuchungen. Es war ihr aufgefallen:

1. Cepheiden von gleicher Periodendauer erscheinen alle gleich hell.
2. Kurzen Perioden entsprachen schwache Helligkeiten.
3. Als entscheidend wichtig: Je länger eine Periode, desto heller leuchtete der Cepheid.

Da nun alle Cepheiden in der kleinen Magellanschen Wolke praktisch in gleicher Entfernung von uns stehen, ergibt sich aus der **Differenz** in der Lichtstärke zwischen den messbaren Helligkeiten der verschiedenen Cepheiden auf der Fotoplatte und der **wahren** Helligkeit des Sternes im Raum die Möglichkeit, die **Entfernung** eines jeden Cepheiden zu bestimmen — sobald die Entfernung und die Periode und die Helligkeit eines **nahen** Cepheiden gemessen werden konnte.

Dies gelang, wenn auch mit grossen Schwierigkeiten. Auf dieser genialen Beobachtung der Cepheidenperioden fusst auch heute noch ein entscheidender Teil aller Entfernungsmessungen im Weltall. Cepheiden mit Perioden von ca. 80 Tagen sind Riesensonnen, etwa 50 000 mal heller als unsere Sonne. Solche Leuchtriesen (selten) sind wie ferne Leuchtfeuer. Sie blinken, messbar, in Galaxien, die gegen 6 Millionen Lichtjahre von uns entfernt sind. Auch wenn andere moderne Methoden an die Seite dieser «Meilenstein»-Messungen getreten sind, öffnete die Entdeckung Miss Leavitts seinerzeit ein grosses Tor in der Weltallforschung. Wir kommen im nächsten Abschnitt auf die Cepheiden und ihre Bedeutung zurück. Wir betrachten, anschliessend an die Magellanschen Wolken, ein paar typische Galaxien in der «Nachbarschaft» unserer Milchstrasse.

M 31

Der «Grosse Nebel» in der «Andromeda»

In jeder klaren, mondlosen Nacht im Herbst und Winter, fernab jedes irdischen Lichtes, sieht ein scharfes Auge im Sternbild «Andromeda» ein schwaches längliches Wölkchen, im Prismenglas deutlich sichtbar, leise verdämmernd

gegen aussen. Je grösser das Fernrohr, desto heller wird die Wolke, vorab ihr Zentrum, aber auch im grössten Instrument ist keinerlei Struktur zu erkennen. Erst die Fotografie enthüllte dem Menschen die wahre Natur des kosmischen Gebildes und klärte 1926 zudem den jahrhundertealten Streit: Sind die vielen «Nebel» im Fernrohr, die sich nicht in Sterne auflösen lassen, Objekte in unserer Milchstrasse oder weit draussen stehende «Weltinseln», wie schon vor mehr als hundert Jahren der grosse W. Herschel vermutete, der Wegbereiter im Fernrohrbau und in der Sternforschung?

Unsere Aufnahme mit der grossen Schmidt-Kamera auf Palomar Mountain in Kalifornien zeigt diesen **Spiralnebel** fast ganz von der Seite, in nächster Nähe zwei dazugehörige Zwerg-Galaxien. Das Bild vermittelt dem Beschauer eigentlich nur den sichtbaren, fotografierbaren Mittelteil dieser Galaxie. Lichtelektrische Messungen der letzten Jahre beweisen, dass die Ausläufer der Spiralarme noch viel weiter in den Raum hinausführen — in Tat und Wahrheit eine Fläche von 7 x 2 Monddurchmessern im Himmel! Die Forscher beziffern heute die Zahl der Sterne im grossen Andromeda-Nebel auf ca. 350 Milliarden Sonnen, also fast zweimal mehr als in unserer eigenen Galaxie! Der Fachmann kann heute über den M 31 ein dickes Buch schreiben — die Erkenntnisse an dieser Riesengalaxie sind heute Legion — die Zahl der Fragen und Probleme im einzelnen und im gesamten ist noch grösser . . . Beschränken wir uns daher auf ein paar interessante Einzelheiten.

An einem schönen Abend im Spätherbst 1885 wollte der deutsche Astronom Hartwig anlässlich eines kleinen Hausfestes seinen Gästen den diffusen Lichtfleck in der «Andromeda» im Fernrohr zeigen. Zu seiner Verblüffung glänzte im Zentrum des verschwommenen Fleckchens ein heller Stern, so hell, dass er fast von blossem Auge sichtbar war. Hartwig hatte im Andromeda-Nebel, Entfernung damals völlig unbekannt, eine **Nova**, einen explodierenden Stern entdeckt. Auf Grund dieser ersten Beobachtung und weiterer sorgfältiger Untersuchungen an den grossen Teleskopen auf Mount Wilson und Palomar Mountain berechnete der amerikanische Astronom Hubble, der mit seinen Forschungen ein weiteres, entscheidend grosses Fenster in die Tiefen des Weltalls öffnete, die Entfernung der grossen Galaxie auf nicht weniger als 700 000 Lichtjahre — eine damals ganz unerhörte Entfernung. Die Nova Hartwigs war keine normale Nova, sondern die erste Supernovae, die ausserhalb unserer Milchstrasse gefunden wurde. Im Laufe der Zeit — besser der letzten Jahre — stellte es sich dann heraus, dass Hubble zu vorsichtig gewesen war. Nicht zuletzt, dass es ihm und seinen Nachfolgern gelang, nach und nach fast hundert helle Cepheiden in dieser fernen Galaxie zu finden, auch das Auftauchen von ca. 30 normaler Novae im Jahr führten später zu der doppelten Entfernung von ca.

1,4 Millionen Lichtjahren. Heute wird die Distanz dieses enormen Sternsystems, in welchem sich alles vorfindet, was wir in unserer eigenen Milchstrasse kennen, auf 2,2 Millionen Lichtjahre beziffert — wobei wir nicht einmal sicher sind, ob in den nächsten Jahren eine nochmalige Erhöhung der Distanz ins Auge gefasst werden muss. (Damit zugleich ein neuer Massstab für alle Weiten im All.)

Sehr deutlich heben sich im äussern Spiralarm ungeheure Massen von Dunkelwolken, Staub- und Gasmassen ab, die «Geburtsstube» der jungen Sterne, die nicht im Zentrum einer Galaxie, sondern in den Spiralarmen zur Welt kommen. Die Zentrumsscheibe ist in der Fotografie «ausgebrannt», überbelichtet. Es ist der Schwarzweissfotografie bis in die allerjüngste Zeit nie gelungen, die sehr grossen Lichtunterschiede zwischen dem sehr hellen Zentrum und dem schwach leuchtenden Sternenheeren weitab vom Zentrum zu überbrücken. Entweder hatten wir in extremer Kurzbelichtung nur den eigentlichen Kern, das eigentlich kleine Kerngebiet, im Bild, weiter draussen nichts. Oder aber, wie in der vorliegenden Aufnahme, deutlich die Spiralarme und ein «ausgebranntes» Zentrum.

Es war geradezu eine astronomische Sensation, als vor wenigen Jahren meinem Freund Arthur A. Hoag (damals Direktor der neuen, noch kleinen Sternwarte der USA-Navy in Flagstaff, Arizona) in seiner neuentwickelten Tiefgefrieretechnik des Farbfilms eine Aufnahme in Farben der ganzen Zentralscheibe glückte. Man sieht in der Farbaufnahme deutlich den gelben Kern der Riesengalaxie, ringsum das intensive Leuchten von Milliarden von Einzelsonnen und sogar dunkle Wolken innerhalb des ersten Spiralarms.

Der gelbe Kern (Farbe ist richtig, alles gelbe Sterne!) ist heute Gegenstand intensivster Forschung. Jede Galaxie besitzt einen solchen Kern, auch die unsrige. Er ist jedoch hinter dunklen Staub- und Gasmassen im Sternbild «Schütze» verborgen, heute aber ebenfalls Ziel ausgedehnter Untersuchungen. Hier sei nur kurz erwähnt, was im Kern der grossen «Andromeda»-Galaxie heute spektralanalytisch gesichert ist: Der Kern allein besitzt einen Durchmesser von etwa 35 Lichtjahren. In ihm befinden sich 160 Millionen Sonnenmassen ausserordentlich dicht gedrängt. Der Kern rotiert als starrer Körper in etwa 35 000 Jahren. Die Umdrehungsgeschwindigkeit am Rande des gelben Kernkörpers wird in der Spektralanalyse mit 104 Kilometern pro Sekunde gemessen.

Milchstrassenkerne gehören in unseren Tagen zu den wirklich grossen Fragen und Problemen der Astrophysik, sowohl in den Theorien der Entstehung als auch in der Entwicklung dieser unfassbaren Massen. Es kann in ihnen zuweilen zu ebenso unfassbaren Katastrophenexplosionen kommen — Grund sehr umstritten — wahrscheinlich in Explosionen von Millionen Sonnen in Kettenreaktion. Hier ist heute noch manches nicht zu durchschauen.

Unsere dritte Aufnahme zeigt die benachbarte Zwergmilchstrasse NGC 205, auf der ersten Aufnahme etwas oberhalb der grossen Spirale sichtbar. Sie wurde am grössten heute arbeitenden Fernrohr, dem oftgenannten 5-Meter-Spiegelteleskop auf Palomar Mountain, gewonnen. Zum erstenmal gelang es, das im kleinen Fernrohr kaum erkennbare winzige Objekt in seine Sternenheere aufzulösen.

Der Leser erinnere sich: Die zahlreichen kleineren und grösseren Scheibchen, im ganzen Bild verteilt, sind samt und sonders Sterne **unserer** eigenen Milchstrasse, heller und daher in der Fotografie zu Scheibchen verbreitert. Sie haben mit der Sternwolke nichts gemeinsam. Dahinter jedoch wimmelt es von feinsten Pünktchen, sehr zart, aber deutlich, die Riesenschar der Sterne dieser kleinen Galaxie — und wiederum Rätsel und Fragen. Die Probleme beginnen bereits mit der Bestimmung der Zahl der Sonnen in diesem Gebilde. Die Schätzungen bewegen sich zwischen 200 Millionen und mehr als 1 Milliarde. Eines jedoch ist sicher: was wir in der grossartigen Aufnahme als sehr feine Punkte erkennen, sind in Wirklichkeit Sonnen von 50- bis 100facher Sonnenhelligkeit — unsere eigene Sonne ist viel zu schwach, als dass sie in dieser Distanz von etwa 2 Millionen Lichtjahren mit heutigen Mitteln fotografiert, also sichtbar gemacht werden könnte. Unsere Sonne ist ein ganz normaler Zwergstern im All und nichts Besonderes. Die Erde wollen wir jetzt ganz «beiseite» lassen — man wird bescheiden . . .

Der Forscher sucht im NGC 205 vergebens nach Riesensonnen, das ungeheure Sternenheer scheint auch von allen dunklen Staub- und Gasmassen leergefegt zu sein. Nur die Flagstaff-Farbfotografie beweist wiederum das Vorhandensein des gelben, sternartigen Kerns genau wie in der grossen Galaxie.

Als weiteres Beispiel:

M 51

Betrachten wir noch eine andere Galaxie, den Spiralnebel M 51, etwas näher, früher unter dem Namen «Fragezeichen-Nebel» bekannt. Er leuchtet im Sternbild «Jagdhunde». Wir sprachen von «leuchten», aber im kleinen wie im grossen Fernrohr sind nur zwei sehr matte Lichtscheibchen erkennbar. Die eine grösser, die zweite etwas kleiner. Sonst kaum etwas.

Eine interessante Geschichte ist mit dem M 51 sehr eng verbunden. Als der reiche Astroamateure Lord Ross in Irland 1845 das damalige Weltwunder eines Riesenspiegelteleskopes von 1,8 Metern Durchmesser baute, gelang es anschliessend seinen wissenschaftlichen Mitarbeitern, im M 51, in der grösseren Scheibe, eine kaum erkennbare Spiralstruktur auszumachen. Es war damals wissen-



M 51. Sternbild «Jagdhunde». Sternsystem NGC 5191 anhängend (26)

schaftlich eine Sensation, aber erst die Fotografie führte in der Neuzeit zu der herrlichen klaren Aufnahme, die wir reproduzieren.

Wir sehen im Bilde diese normale Galaxie, einen Spiralnebel, direkt von «oben». Ein Zentrum mit Milliarden Sonnen, genau wie im Andromeda-Nebel, daraus entspringend die beiden normalen Spiralarms. Am äusseren Arm liegt unten im Bild ein zweites Sternsystem, in den Katalogen heute mit NGC 5195 bezeichnet. Das Ganze, sowohl der Spiralnebel wie sein Anhänger, von blossen Auge nicht sichtbar.

Man hat unwillkürlich den Eindruck, diese riesigen Massen drehen sich wie ein Rad. Neue Messungen bestätigten die Vermutung: die Spirale dreht sich genau wie ein Feuerwerks-Sonnenrädchen unserer Buben am 1. August. Der einzige Unterschied ist die Grösse. Hier eingeschaltet, als Beispiel aus unserer eigenen Milchstrasse: Fast alle Sterne, die wir von blossen Auge sehen, stehen uns sehr nahe, auch wenn vielleicht Hunderte von Lichtjahren entfernt. Insgesamt bilden diese paar tausend Sterne nur einen kleinen Knoten innerhalb des zweiten Spiralarms unserer eigenen Galaxie. Auf das Bild des M 51 übertragen, entspricht das ungefähr dem hellen Punkt im zweiten Spiralarms links. Der Forscher kann heute die Geschwindigkeit berechnen, in der diese winzige Sternwolke, der Punkt, in seiner Bahn um das Zentrum kreist: etwas über 200 Kilometer pro Sekunde. Eine gewiss sehr ansehnliche Geschwindigkeit, wenigstens für menschliche Begriffe. Aber was bedeutet dieses atemberaubende Tempo im Weltall! Ein einziger Umgang um das Zentrum unserer Milchstrasse dauert in diesem Tempo mindestens 200 Millionen Jahre . . .

Die M-51-Galaxie, geradezu Musterbeispiel eines normalen Spiralnebels, steht in einer Entfernung von ungefähr 32 Millionen Lichtjahren (bis vor kurzem wurden knapp 10 Millionen genannt). Die prachtvolle Farbaufnahme, gewonnen von Hoag am grossen 1-Meter-Spiegelteleskop in Flagstaff, zeigt entschieden mehr als die übliche Schwarzweissaufnahme. Wiederum erscheint der rätselhafte gelbe Kern der Galaxie im Licht, aber auch das blaue Leuchten der Spiralarms, der «Geburtsstube» der jungen blauen Sterne ist gut erkennbar. Ebenso aussagekräftig und wissenschaftlich interessant — wenn auch umstritten — ist das schwache grünliche Licht zwischen den Spiralarms, Sternen-«Mischvolk» mit alten gelblichen Sternen und jungen blauen «Auswanderern» aus den Spiralarms.

Es gelang den Forschern, im M 51 auch eine Anzahl von Sternhaufen usw. zu identifizieren. Unerwartet war auch das Sichtbarwerden eines gelben Kerns im Begleitsystem und unmissverständlich die Tatsache — in Schwarzweiss nicht erkennbar —, dass die Sternpopulation des Begleiters total anders aussieht als

im grossen Spiralnebel. Der Leser spürt allein aus diesen summarischen Angaben, wie sich wiederum die Rätsel und Probleme häufen.

M 81

Im Sternbild «Grosser Bär» oder «Grosser Wagen» finden wir im Prismenglas ein mattes, unscharfes Sternchen, das sich im grösseren Fernrohr zu einem länglichen, schwachen Flecklein vergrössert, ohne jede Struktur. Unsere Aufnahme, am 5-Meter-Palomar-Teleskop gewonnen, offenbart in einmaliger Weise die Grossartigkeit eines normalen Spiralnebels. Das Zentrum ist leider überbelichtet wie üblich; aber wiederum erscheinen, in unendlicher Vielfalt, Dunkelwolken in den Spiralarmen bis zu kaum erkennbaren dunklen Bändern — in Wirklichkeit ja ungeheure Massen von Staub und Gas. In den Spiralarmen werden bereits einzelne Sonnen erkennbar, samt und sonders Riesen. Bereits vor Jahren gelang es, in dieser Galaxie ein paar langperiodische Cepheiden zu finden, wie im Kapitel «Magellansche Wolken» näher ausgeführt. Diese Leuchtriesen in ihrer über 10 000fachen Sonnenhelligkeit ermöglichten, die Entfernung der Galaxie zu bestimmen. Die schöne M 81 strahlt in einer Distanz von etwa 8 Millionen Lichtjahren, die Zahl der Sonnen wird auf etwa 160 Milliarden geschätzt, also mit den Sternenheeren unserer eigenen Milchstrasse vergleichbar. Sonderbar — aber nur in wirklich guten Reproduktionen zu erkennen — sind im Bild die fast parallelen, schwachen Dunkelbänder, die neben dem überstrahlten Zentralgebiet quer über das ganze helle Gebiet laufen. Es müssen dies dunkle Wolkenzüge von kosmischem Staub sein, die nur hier in diesem Glücksfall, vor dem hellen Teil der M 81, sichtbar werden. Erneut ein Hinweis, was am unsichtbaren Nachthimmel noch der kommenden Forschung harret. Zweifellos wird da die Infrarot-, aber auch die Radioastronomie Neues, Ueberraschendes ans Licht fördern, genau wie ein paar Jahre vorher die neue Farbaufnahmetechnik im Zentrum der Andromeda-Galaxie und im M 51 die Kerne in Farben aufzeichnete.

Unendliche Vielfalt

Es ist verständlich, dass in der unendlichen Vielfalt der Millionen und aber Millionen von Galaxien im Weltall die Zahl merkwürdig gestalteter Galaxien unabsehbar ist, die vom üblichen Schema abweichen. Der Astronom bezeichnet solche rätselhaftige Galaxien in seinen Katalogen einfach mit dem Buchstaben «p» — «peculiar», «andersartig». Der beschränkte Raum verbietet uns ein näheres Eingehen auf diese ungewöhnlichen Gebilde.



Quasare

Mit diesem Kapitel begeben wir uns tatsächlich auf schwankenden Boden. Wenn heute auch manches in diesen vor 13 Jahren noch völlig unbekanntem Himmelsobjekten gesichert erscheint, hat man andererseits den Eindruck, dass die Fragen, Rätsel und Probleme lawinenartig anwachsen. So ist es verständlich, dass die Quasare mit den Neutronensternen und den Schwarzen Löchern zu Zielen erster Ordnung in der modernen Astrophysik wurden.

Quasare, heute allgemeine Bezeichnung, ist eine Abkürzung des Namens, geprägt von den Entdeckern: «Quasi-Stellar Objects» = Objekte, die im Fernrohr sternartig, also punktförmig erscheinen. Bevor wir jedoch auf das Kapitel der Quasare näher eingehen können, muss das heute entscheidende «Streitobjekt» der Forscher, die «Rotverschiebung» der Spektrallinien, ausführlicher klargelegt werden. Sie ist von fundamentaler Bedeutung für das Verstehen der Quasare und sehr entfernter Galaxien. Es sei uns daher gestattet, dem Leser in Erinnerung zu rufen: Das Spektrum und seine Zerlegung ins normale Farbenband und den wenigen oder Tausenden von Linien ist heute unentbehrliches Werkzeug in der Hand des Astrophysikers. Jedes glühende Gas im Weltall zeigt im Spektrum seine bestimmte Linie oder Liniengruppe. Wir haben gesehen, dass das genaue Ausmessen dieser Linien, die aus der Tiefe des Raums kommen, manchmal auf $\frac{1}{1000}$ Millimeter genau, dem Forscher eine Ueberfülle an Informationen liefert.

Von den früher genannten Untersuchungsmöglichkeiten wollen wir hier allein das **Verschieben** der Linien betrachten, das dem Forscher sofort zeigt, ob es sich um einen Einzelstern oder sehr enge Doppelsterne handelt oder — hier wichtiger — ob sie sich uns nähern oder entfernen. Das gilt sowohl für Sterne wie auch für Galaxien. **Nähert** sich uns ein Stern oder eine Galaxie, sind alle Spektrallinien gegen **Violett** verschoben. **Entfernt** sich der Stern, verschieben die Linien nach **Rot**.

Werden die Spektren der uns nahe stehenden Galaxien (in der sogenannten «lokalen Gruppe») nach Linienverschiebungen untersucht, treffen wir auf das gleiche wie bei den Sternen: einige Galaxien nähern sich uns, andere entfernen sich.

Untersucht man jedoch Spektren von **Galaxien** in **größerer** Entfernung als 20—25 Millionen Lichtjahre — Entfernungen bestimmt teilweise durch helle Supernovae usw., so stellt sich heraus, dass **alle** Galaxien ohne jede Ausnahme von uns wegfliegen. Das führte vor 50 Jahren unweigerlich zur Annahme, dass das Weltall sich ausdehne. Man nennt diese einseitige Verschiebung

aller Linien nach Rot im Spektrum entfernter Galaxien als «Rotverschiebung». Sie spielt in unserer Zeit, besonders aber in den letzten Jahren eine entscheidende, aber hart umstrittene Rolle, nicht nur bei den Quasaren und Galaxien, sondern auch allgemein in den Theorien über das Weltall, von der Entstehung des Kosmos bis zu seinem «Ende».

Der amerikanische Astronom Hubble stellte im Jahre 1928, gestützt auf Tausende von Messungen, die These auf: Je grösser die Linienverschiebung gegen Rot in den Spektren, desto schneller entfernt sich die Galaxie von uns und desto grösser die Entfernung. Hubble berechnete damals die **Zunahme** der «Fluchtgeschwindigkeit» auf 174 km pro Sekunde für jede Million Lichtjahre grösserer Distanz. Anders ausgedrückt: die Hubblesche Konstante gestattet die **Entfernung** einer Galaxie aus der Vermessung der Rotverschiebung der Spektrallinien zu bestimmen, und das bis in die fernsten Tiefen des Welt-raums, wenn auch mit wachsender Unsicherheit.

Im Laufe der letzten 40 Jahre ergab sich, schrittweise, dass Hubbles Massstab zu vorsichtig angesetzt war. Sorgfältigste, umfassende Untersuchungen des amerikanischen Astrophysikers Sandage und des schweizerischen Astrophysikers Tammann ergaben vor 2 Jahren, dass die Hubble-Konstante auf etwa 17 km pro Million Lichtjahre zu reduzieren sei — 10 mal weniger, als Hubble seinerzeit berechnete. Dieses heutige Resultat wird zu einer allgemeinen Erweiterung der bisher berechneten Distanzen im Weltall führen. Andere Auswirkungen in den Theorien über Entstehung, Alter, Grösse des Universums, Zeitablauf usw. sind jetzt noch nicht zu übersehen.

Noch vor wenigen Jahren bedeutete die «Fluchtgeschwindigkeit» entferntester Galaxien mit 60 000 Kilometern pro Sekunde einen «Rekord». Heute kennen wir Riesengalaxien in den Tiefen des Raumes, die mit mehr als 150 000 Kilometern pro Sekunde enteilen, also in halber Lichtgeschwindigkeit, und daher, nach der messbaren Rotverschiebung in den Spektren, etwa 2 Milliarden Lichtjahre von uns entfernt sind. Es sei aber ausdrücklich wiederholt, dass sich das fundamentale Gebäude der Entfernungsmessungen in den Tiefen des Universums fast ausschliesslich auf die Deutung der Rotverschiebung stützt!

Dies klargestellt, können wir uns endlich mit den Quasaren befassen. Im Jahre 1963 untersuchte der holländisch-amerikanische Astrophysiker Maarten Schmidt einen schwachen Stern von 13. Grösse, also nur im mittleren oder grossen Fernrohr als feiner Lichtpunkt zu sehen — auf der Fotoplatte ein Pünktchen wie die tausend anderen Sterne ringsum. Die Radioastronomen hatten ungefähr an dieser Stelle eine Quelle von Radiostrahlung ausgemacht. Schmidt erhielt ein gutes Spektrum des Sternchens — stand aber wie vor einer Wand. Das Muster der wenigen Linien im blauen Spektrum liess sich nirgends einordnen.

Es gab unter den Tausenden bekannter Sternspektren nichts Derartiges. Da kam schliesslich Schmidt auf die ausgefallene Idee, ob vielleicht das ganze Linienmuster so weit gegen Rot verschoben sei, dass die sonst normal sichtbaren Linien im Infrarot stünden, also auf der Fotoplatte gar nicht mehr sichtbar wären. Und dass die ungewohnten Linien im sichtbaren Teil des Spektrums aus dem sonst unsichtbaren Bereich des **Ultravioletten** ins Sichtbare verschoben seien. Es war tatsächlich so: Sobald das Linienmuster nach dem Muster der im Labor ermittelten Linien verschoben wurden, stimmten alle Linien überein! Es war eine wissenschaftliche Sensation. Die unwahrscheinlich grosse Rotverschiebung stellte das unscheinbare Sternchen in eine Entfernung von etwa 1 Milliarde Lichtjahre. Dieses Ergebnis hatte wiederum zur logischen Folge, dass die **wahre** Helligkeit des winzigen Punktes — auch im grossen Fernrohr nur ein dimensionsloser Punkt — in Wirklichkeit heller war als unsere gesamte Milchstrasse mit ihren 200 Milliarden Sonnen . . . Die Aufregung in wissenschaftlichen Kreisen war verständlich.

Heute kennt der Astronom bereits mehrere hundert solcher Quasare, alle ohne jede Ausnahme nur Punkte im grossen Fernrohr. Nur ein Bruchteil der Quasare sind zugleich Radiostrahler, wenn auch die Suche zuerst bei den verdächtigen Radiosternen einsetzte und heute noch die Regel ist.

Die Hauptfragen «Was sind Quasare?» sind heute noch nicht gelöst. Sicher ist nur, dass die Herkunft, die Quelle der ungeheuren Energie, die ein Quasar in seiner enormen Entfernung aus kleinstem Gebiete abstrahlt, mit den heute bekannten physikalischen Kräften nur schwer erklärt werden kann, handle es sich um «Impllosionen» wie bei den Supernovae-Explosionen oder um nicht-thermische Synchrotronstrahlung unvorstellbarer Magnetfelder.

Das zweite grosse Rätsel, das bereits kurz nach der Entdeckung der wahren Natur der Quasare dem Forscher zu schaffen gab, war in vielen Fällen ein Schwanken des ungeheuren Energieflusses innert weniger Wochen um fast 10 Prozent! Das setzt voraus, dass der Ausgangspunkt dieser vollkommen unvorstellbaren Energie nur einen Durchmesser von 1—2 Licht-Wochen — nicht Licht-Jahre! — aufweisen muss. Das Ganze, mit bekannten physikalischen Vorgängen nicht erklärbar, wurde immer aufregender. Die Tatsachen liessen Zweifel aufkommen an der Deutung der Rotverschiebung als Entfernungsstab angesichts der ungeheuerlichen Energie. Dies gilt weniger für die Entfernungsbestimmung fernster Galaxien durch die Rotverschiebung, da die einzelnen «Schritte hinaus» eher gesichert sind und weniger angefochten werden.

Der ganze verwirrende, hier nur angedeutete Theorienkomplex, ob vielleicht die Quasare nur 1—200 Millionen Lichtjahre entfernt seien, läuft auf die Frage hinaus: gilt die bisherige Deutung der Rotverschiebung auch für die

Quasare? Man fand z. B. in den letzten Jahren ein paar Quasare in sehr entfernten Haufen von Galaxien, die samt und sonders die gleiche Rotverschiebung aufweisen wie der Quasar selber. Andererseits sind Quasare in Galaxienhaufen entdeckt worden, die die mehrfache Entfernung anzeigen als die Haufen, in denen sie stehen! Dies nur als Beispiel der Situation heute.

Jetzt, in diesen Tagen, scheint sich ein Weg zu zeigen, der am Ende vielleicht das grosse Rätsel der Rotverschiebung lösen wird. Praktisch gesehen: Uebergang der diesbezüglichen, bisherigen **optischen** Untersuchungen ins weite Gebiet der **Radioastronomie**. Versuchen wir zu erklären:

Wir haben bereits früher den Begriff der Interferenzmethode in der Messung extrem kleiner Winkel gestreift. Sie erlaubte in den letzten 2 Jahren, die wahren Durchmesser einer wachsenden Zahl von Sternen zu messen — am Riesenfernrohr optisch praktisch nur dimensionslose Punkte, wie mehrmals erwähnt. Theoretisch — in Wirklichkeit aber nur sehr selten infolge steter Luftunruhe — kann der Beobachter am Riesenfernrohr 2 gleich helle Sternchen «trennen», also einzeln sehen, die in einer Distanz von 0,2 Bogensekunde getrennt sind. Dies entspricht dem Durchmesser eines Grashalms in etwa 1000 Metern Entfernung. Das sind Extremwerte. Je grösser der Durchmesser der Fernrohroptik, desto kleiner wird theoretisch der Bruchteil der beobachtbaren Bogensekunde.

Hier nun besteht das Interferenzprinzip in der Aufgabe, eine Verbreiterung der Basis — **optisch** von 5 Metern beim Spiegelteleskop auf Palomar zu einer **Radiobasis** von 8000 Kilometern zwischen Australien und den USA zu schaffen. Statt der Kurzwellen des sichtbaren Lichtes im optischen Fernrohr werden Radiowellen im 1—2- und 8-cm-Wellenbereich aufgezeichnet. Das gleichzeitige Auftreffen von Strahlung in den beiden weit auseinander liegenden Instrumenten erzeugt natürlich keine «Bilder» wie im optischen Fernrohr, sondern Muster von ganz bestimmten Streifenbreiten, die schliesslich dem schnellen Computer zugeführt werden. Grundbedingung jeder erfolgreichen Messung ist **gleichzeitige** Registrierung, sowohl in Australien als auch in den USA, und das in der Genauigkeit einer milliardenstel Sekunde. Diese Präzision gelang erst, als bei der Zeitmarkierung der aufnehmenden Magnetbänder Atomuhren eingesetzt wurden, die eine in Parkes (Australien), die zweite in Green Bank (USA).

Die Resultate dieser neuen Messtechnik sind geradezu revolutionär: das optische Auflösungsvermögen der Grossteleskope wird um das Tausendfache übertroffen. Winkelmessungen von $1/1000$, ja $1/10\,000$ Bogensekunde werden möglich. Astronomisch heisst das, dass jetzt Untersuchungen gemacht werden können, die noch vor ein paar Jahren als Utopie galten. Bereits ist es gelungen, einzelne Strukturen auf der Oberfläche von Sternen sichtbar zu machen — auf

den für uns dimensionslosen Lichtpünktchen! Ebenso wird man den mysteriösen «kleinen» Strahlungsgebieten auf den Quasaren, den merkwürdigen Zentren der sog. Kompaktgalaxien, wie den Galaxienkernen auf den Leib rücken. Wir können uns noch auf allerlei Ueberraschungen gefasst machen. Und damit endet vielleicht auch der grosse Disput über die wahre Bedeutung der Rotverschiebung der Spektrallinien.

Um dem Leser einen Begriff zu geben, um welch grossartige Leistung es sich bei der 8000-km-Interferenztechnik handelt, sei hier ein Beispiel aus «menschlicher Sphäre» angeführt: wenn die Erde flach wäre, würde die 8000-km-Basis-Interferenz es ermöglichen, von der **Schweiz** aus auf einer «strahlenden» Briefmarke in **Brasilien** den postalischen Nennwert zu erkennen, ob 1 oder 10 Cruzeiros . . .

Kosmogonie — Kosmologie

In der Geschichte der modernen Kosmologie spielt die Zeit, als vierte Dimension, eine entscheidende, dem Laien meist schwer zugängliche Rolle. Dass dem Ablauf der Zeit im Universum, als vierte Dimension, die gleiche Bedeutung zukomme wie den drei Dimensionen, in denen wir leben, ist für den «normalen» Leser fast so unanschaulich, wie wenn er versucht, sich einen «gekrümmten Raum» vorzustellen. Selbstverständlich: Eine gekrümmte Fläche wie die Oberfläche der Erde — ja, und dass man in aller Ewigkeit um die Erde wandern kann, ohne an ihr Ende zu kommen, das weiss und versteht ein jeder. Aber ein «gekrümmter Raum», da hört die Anschaulichkeit auf. Hier helfen leider auch die Analogien nicht viel, mit denen berühmte Physiker das Wesen und die Folgerungen der Relativitätstheorie dem interessierten Laien näherbringen — ohne Mathematik. So anschaulich sie scheinen, führen sie den Suchenden vielfach in ein Dickicht, in dem er sich schliesslich verliert, entmutigt, wenn nicht völlig resigniert.

Hier aber öffnet sich erst recht das wahrhaft uferlose Gebiet der Theorien über Wesen, Entstehung, Bau und Ende des Weltalls. Schon Andeutungen der zahllosen mathematischen «Weltmodelle» würden bereits den Umfang dieser kleinen Schrift sprengen.

So will denn der Schreibende, selbst ein «Blinder», den «blinden Leser» nicht zum Marsch in die Nacht des Nichtverstehens, des Unbegreiflichen verleiten. Wer es dennoch selber tut, mathematisch besser vorbereitet, wird sich kaum über Langeweile beklagen können. Statt dessen sei es uns gestattet, an einem einzigen Beispiel zu zeigen, wie ein paar Beobachtungen der letzten

Jahre den Leser zum besinnlichen Nachdenken führen können. Dieses Beispiel vermag vielleicht dem Leser das grosse Unbekannte in der Nacht vor ihm blitzartig erhellen, um vielleicht wieder zu verlöschen — das grosse Dunkel vor uns, in welchem die Forscher unserer Tage in Mühen und Mühseligkeit die ersten Fusswege suchen . . .

Vor ungefähr einem Jahr wurde ein Quasar entdeckt, OQ 172, dessen Spektrum die grösste bisher gemessene Rotverschiebung aufweist. Sie ist nach dem Doppler-Effekt gleichbedeutend mit einer Fluchtgeschwindigkeit von mehr als 250 000 Kilometern pro Sekunde, also nahe der Lichtgeschwindigkeit. Anders ausgedrückt, sollte das Licht, das wir heute empfangen, den Quasar vor fast 9 Milliarden Jahren verlassen haben. Die Presse meldete die neue astronomische Sensation bezeichnenderweise unter dem Titel «Am Rande des Weltalls». Stimmt das? Taucht da im «normalen» Menschen nicht automatisch die Frage auf: «Was ist denn hinter dem Rande?»

Hier sind wir schon mitten drin im Wirbel, im Zwiespalt: im gekrümmten Raum, vielleicht bereits in «gelebter Zukunft». Sollten wir doch, nach Theorien, schliesslich in der Gegenrichtung den Quasar eines Tages «von hinten» sehen . . . Aber da kommt bereits der Einwand des anderen Theoretikers: «. . . selbstverständlich aus einer noch grösseren Entfernung, wo die Doppler-Fluchtgeschwindigkeit die Lichtgeschwindigkeit überschreiten würde (was nach Einstein niemals der Fall sein kann), oder aus Räumen, von wo uns kein Licht, keinerlei Strahlung je erreicht.»

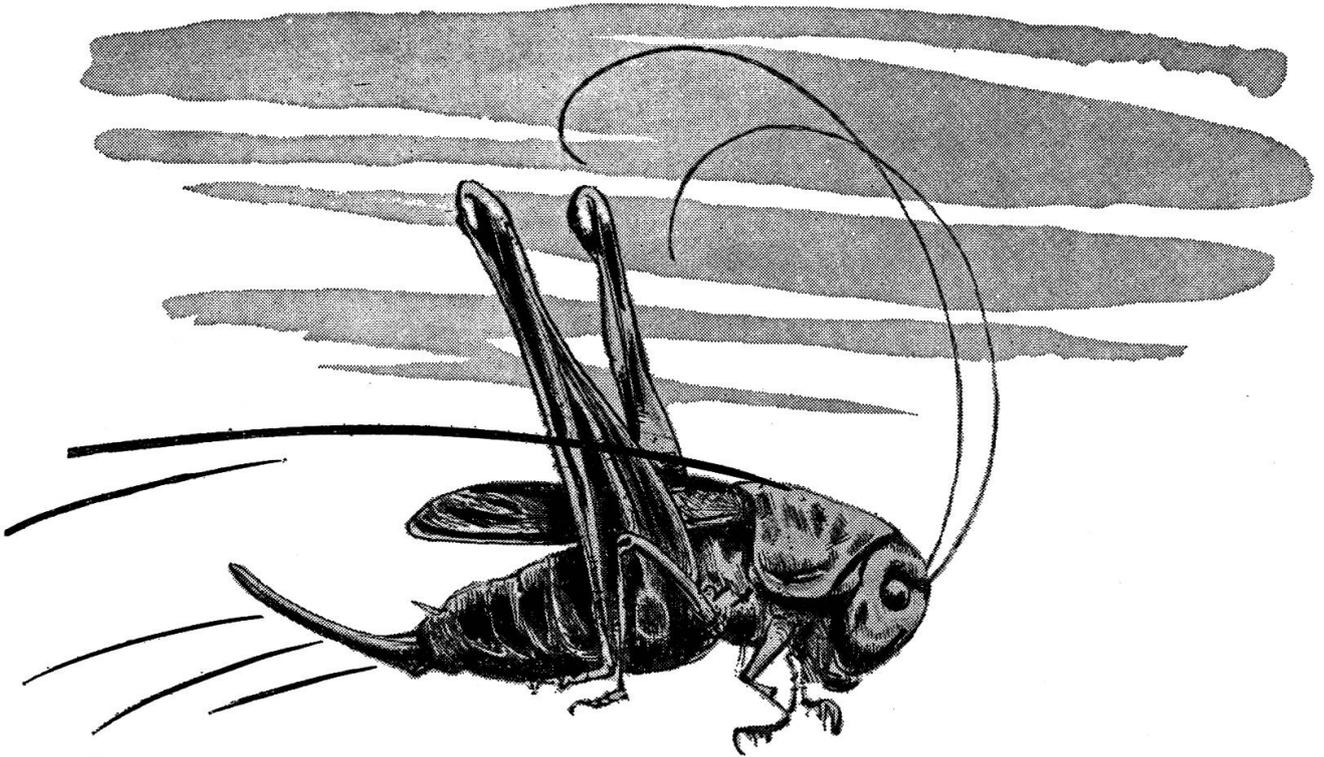
Aber: Wer beweist uns mit **Sicherheit**, dass Lebewesen auf einem Planeten in der Umgebung des fernen Quasars nicht auch in einem ebenso grossen **eigenen** Weltall leben wie wir? Sieht dieses Lebewesen in der Umgebung des Quasars uns nicht ebenfalls am «Rande» seiner Welt und sieht es — in der Gegenrichtung von uns weg — nicht 10 Milliarden Lichtjahre weiter hinaus, mit Wundern, die direkt uns niemals zugänglich sein werden?

Solche Gedanken führen den Suchenden nun wirklich ins Unendliche. Dürfen wir, der eigenen Lichtgeschwindigkeit und der Relativitätstheorie verhaftet, die Möglichkeit anderer, unsichtbarer Welten **um** unser Weltall, mit gleichen Durchmessern von 20 bis 22 Milliarden Lichtjahren, einfach ausschliessen, ohne einen einzigen sicheren Beweis? Wir wissen es nicht.

Nur **das** wissen wir mit Sicherheit, dass wir im Vielwissen unserer Tage dennoch herzlich wenig wissen . . .

Mit dieser Bemerkung, die eigentlich erstaunen sollte angesichts des ungeheuren Reichtums des forschenden Geistes, der uns Menschen, einem Nichts auf einem Nichts im Weltall, geschenkt wurde — mit diesen besinnlichen Gedanken sei das letzte Kapitel geschlossen.

Ostern 1975 H. R.



«Wo kommst du denn her?» «Ich habe den Weltraum erforscht!»