

Durchmusterung der Himmelsobjekte

Bild der Wissenschaft 3(1964 (Juli-September), 30-41 (ohne Abbildungen)
Nachdruck in: Mit der Erde durchs All. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 1969

Bisher wurden die meisten Entdeckungen in gewissem Sinne zufällig gemacht, oder es ging ihnen nur eine relativ rudimentäre Planung voraus. Die morphologische Methode dagegen, angewendet auf die Astronomie, lehrt uns heute, systematisch nach allen Arten und Grössen von Materieansammlungen im Weltall zu suchen.

Es ist Aufgabe des Astronomen, herauszufinden, welche Körper das Weltall bevölkern und welche Strahlen den Weltraum durchkreuzen. Er interessiert sich weiter für die Verteilung der Körper, der Strahlen und der elektromagnetischen Felder im Raum. Schliesslich erforscht er die Wechselwirkungen zwischen den mannigfachen Formen der kosmischen Materie einerseits und den Kraftfeldern andererseits.

In der vorliegenden Studie wollen wir insbesondere die Natur einiger wesentlicher Himmelskörper besprechen sowie die Methoden, welche zu ihrer Entdeckung geführt haben. Ganz grob umschrieben sind diese Methoden:

1. Beobachtung mit dem unbewaffneten Auge;
2. Beobachtung mit dem bewaffneten Auge, das heisst mit Instrumenten, zum Beispiel mit Teleskopen;
3. systematisch geplante Suche nach theoretisch zu erwartenden Objekten;
4. die sich neuerdings eröffnende Möglichkeit eines Marsches ins Weltall, verbunden mit Beobachtungen von extraterrestrischen Standorten sowie der Durchführung direkter Experimente auf und mit gewissen Himmelsobjekten.

Wie bei der Erforschung der Gegenstände auf oder nahe der Erdoberfläche hat der Mensch zur Entdeckung der Körper im extraterrestrischen Raum seine verschiedenen Sinne eingesetzt. Dabei erwiesen sich allerdings Gefühl, Geschmack, Geruch und Gehör von geringem Nutzen, wenn man von den seltenen Fällen sich hörbar machender Meteore oder von der Untersuchung der auf der Erde gelandeten Meteoriten absieht. Unsere Kenntnisse der Himmelskörper wurden uns deshalb wesentlich durch das von ihnen zu uns kommende Licht übermittelt. Mit dem unbewaffneten Auge beobachteten schon die Männer der Antike die Sonne, den Mond, die helleren Planeten, die Kometen, die vielen Sterne und Sternhaufen der Milchstrasse sowie den grossen Nebel im Sternbild der Andromeda, der sich später als eines der unserer Galaxie benachbarten extragalaktischen Sternsysteme herausstellte.

Die eigentliche wissenschaftliche Erforschung des Weltalls begann mit *Galilei*, dessen vierhundertjährigen Geburtstag wir dieses Jahr feiern. Auf ihn fussend sind zusätzlich zur Beobachtung, und zwar diese führend und ergänzend, drei weitere Methoden entwickelt worden, welche es uns erlaubt haben, immer neue Himmelskörper in ständig steigender Zahl zu entdecken.

Diese drei Methoden beruhen erstens auf der Einführung neuer Instrumente spezifischer Leistungsfähigkeit, zweitens auf der theoretisch begründeten Voraussage der Existenz vorher unbekannter Körper, ausgehend von den von der Physik und Chemie entdeckten Gesetzen, und drittens auf den Mitteln, die uns durch Raketenflüge an die Hand gegeben wurden.

Wir streifen hier nur kurz die mit Hilfe von neuen Instrumenten erzielten Leistungen, indem wir uns besonders auf die durch morphologisches Denken geplante Beobachtung und die dabei gemachten

Entdeckungen konzentrieren wollen.

Da sind zunächst jene *Entdeckungen, die als Folge der Erfindung und Benutzung von neuen Instrumenten* gemacht worden sind. Der erste wichtigste Schritt, den wir *Galilei* verdanken, war die Einführung des Teleskops. Ein Teleskop erlaubt uns nicht nur, schwächere Lichtquellen zu sehen als das blosse Auge, es löst insbesondere nahe beieinander liegende Objekte auf und lässt uns dieselben als Vielfache erkennen, wo das Auge nur ein Objekt sieht. Zum Beispiel erscheinen die Scheinwerfer eines genügend weit entfernten Automobils dem Auge als ein einzelner Lichtfleck, während ein Teleskop diesen Fleck in zwei oder mehrere Scheinwerfer auflöst.

Auf diese Weise erkennt das mit einem guten Teleskop bewaffnete Auge nicht nur schwach leuchtende Objekte, wie etwa die Monde des Jupiter, die äusseren Planeten Uranus, Neptun und Pluto oder schwach leuchtende ausserordentlich entfernte Galaxien; das Teleskop trennt auch nahe beieinander liegende Sterne, zum Beispiel das *Hale*-Teleskop solche, deren Abstand nur eine zehntel Bogensekunde beträgt. Dieses Auflösungsvermögen entspricht der Trennung zweier Autoscheinwerfer über eine Entfernung von etwa 2500 Kilometern.

Der nächste und vielleicht fruchtbarste instrumentelle Schritt bestand in der Erfindung des Spektroskops und später, nach Einführung der photographischen Platte, des Spektrographen. Wie kein anderes Mittel hat die Analyse des von den Himmelskörpern zu uns kommenden und durch Prismen und Beugungsgitter*

(* Es sei nebenbei bemerkt, dass nach der persönlichen Ansicht des Verfassers das *Schmidt*-Teleskop von 120 Zentimeter Öffnung des Mount Palomar Observatoriums hinsichtlich der Entdeckung unzähliger neuartiger Objekte sowie deren weitgehender Untersuchung der Leistungsfähigkeit der Gesamtheit aller Teleskope auf der Erde gleichkäme oder ihnen sogar überlegen wäre, falls man es mit einem geeigneten Transparentgitter voller Apertur (sogenanntes Objektivgitter) ausrüstete und einem erfahrenen Beobachter in die Hand gäbe.

Ein solches Gitter wurde vom Verfasser schon vor 25 Jahren geplant. Dass es sehr wohl konstruierbar ist, zeigten *R. W. Wood* von der Johns Hopkins University und der Verfasser durch die Anfertigung dreier Mosaikgitter von 45 Zentimeter Durchmesser für das *Schmidt*-Teleskop derselben Öffnung. Eines dieser Gitter ist zur Zeit in der Exposition Nationale in Lausanne zu sehen.)

in Farben zerlegten Lichtes uns über die physikalische Natur dieser Körper aufgeklärt. Als fundamentalste Erkenntnis ergab sich dabei, dass diese Körper bis zu den grössten, mit unseren Riesenteleskopen erforschbaren Entfernungen von Milliarden von Lichtjahren aus den gleichen chemischen Elementen aufgebaut sind, wie wir sie auf der Erde kennen.

In den letzten Jahren wurden durch die Benutzung von Photozellen, des Photoelektronenteleskops und insbesondere der Radioteleskope wichtigste Entdeckungen gemacht. Wir erwähnen die Durchmusterung des Milchstrassensystems sowie benachbarter Galaxien nach atomarem Wasserstoff, der den gewöhnlichen Teleskopen verborgen blieb, falls er nicht durch ultraviolette Strahlung oder durch molekulare Zusammenstösse zur Fluoreszenz angeregt worden war.

Von grösster Wichtigkeit sind weiter die Entdeckungen der verschiedenen Arten von Radiogalaxien und insbesondere der kompakten und überhellen unter ihnen, von denen weiter unten noch die Rede sein soll.

Was im Zusammenhang mit dem jetzt begonnenen Marsch ins Weltall möglich werden wird, soll hier vorläufig nicht besprochen werden, verdient aber unbedingt einen besonderen Artikel in dieser Zeitschrift. Wie schon am Anfang erwähnt, konzentrieren wir uns in dieser Studie auf die durch „prophetische“ Voraussage systematisch geplante Entdeckung neuer Himmelsobjekte.

Wir kommen auf die morphologische Methode zu sprechen. Die meisten Entdeckungen in der Vergangenheit wurden in gewissem Sinne zufällig gemacht, oder es ging ihnen nur eine relativ rudimentäre Planung voraus. Die Frage, ob Entdeckung, Erfindung und Forschung sowie auch praktische Konstruktionen nicht integral geplant und realisiert werden können, führten den Autor zum morphologischen Ausblick und zur Entwicklung der morphologischen Methode, die im wesentlichen Totalitätsforschung darstellt.

Es kann hier nicht davon die Rede sein, den ausserordentlich fruchtbringenden morphologischen Ausblick in seinem ganzen Umfang eingehend zu beschreiben. Indem wir uns auf das Thema „Entdeckung von neuen Himmelskörpern“ beschränken, können wir etwa die von der morphologischen Forschung bis anhin gemachten Beiträge durch folgende umfassenden Fragestellungen charakterisieren:

1. Welches sind alle Arten von materiellen Gebilden, die im Weltall existieren müssen oder existieren können? Wo und in welcher Anzahl sind sie zu finden, und was ist ihre Lebenszeit?
2. Welche der verschiedenen Himmelskörper können mit einem gegebenen Instrument aufgefunden werden?
3. Welche Kombinationen von Instrumenten und von sie bedienenden Beobachtern müssen uns zur Verfügung stehen, falls wir alle Körper, die wir uns ausdenken können, entdecken wollen, und welche Standorte und Beobachter müssen für diese Instrumente ausgewählt werden?

Der fundamentalste Grundzug der morphologischen Forschung ist, dass sie sich unter keinen Umständen von Vorurteilen blaffen lässt. Ein französischer Schriftsteller (*Pierre de Latil: Quinze Hommes, Un Secret*. Gallimard, Paris 1956) schrieb: „Der Morphologe fängt dort an, wo die anderen aufgehört oder die Hoffnung aufgegeben haben, denn er ist der geborene oder der trainierte Spezialist des Unmöglichen.“

Die morphologische Astronomie, soweit die Entdeckung und Erforschung neuer Himmelskörper in Frage steht, ging und geht immer noch von folgenden einfachsten Prinzipien aus:

1. Welche mikroskopischen Körper existieren im Weltall, und wo und in welcher Anzahl sind sie zu finden?
2. Welche makroskopischen Körper können aus den Elementarteilchen aufgebaut werden, und wo und unter welchen Umständen existieren sie?
3. Welche kosmischen Körper können aus den mikroskopischen und den makroskopischen charakteristischen Materieeinheiten aufgebaut werden, was sind ihre spezifischen Eigenschaften, und wo existieren sie?
4. Leben gibt es wahrscheinlich nur unter den makroskopischen Körpern, ziemlich sicher nicht unter den Elementarteilchen, Atomen und Molekülen. Die Frage nach der maximalen Grösse von Lebewesen, speziell im schwerelosen Raum, wenn nur die Eigenschwere des Gebildes in Frage kommt, lohnt sich immerhin, von kompetenten und phantasiereichen Forschern durchdacht zu werden, die nicht davor zurückschrecken, zu fragen, ob denn solche Gebilde überhaupt denkbar sind, was etlichen schwachen Gemütern schlaflose Nächte bereiten könnte!

Es sei hier nicht weiter darauf eingegangen, dass der Morphologe zum erstenmal scharf umschrieben hat, worin sich denn mikroskopische, makroskopische und kosmische Formationen voneinander unterscheiden. Es sei immerhin erwähnt, dass der Astronom es gerne den Morphologen unter den Physikern und Chemikern überlässt, die fundamentalen Fragen zu beantworten, die sich auf die Existenz oder Nichtexistenz von verschiedenen Elementarteilchen, Atomen und Molekülen unter terrestrischen Bedingungen beziehen.

Für seine eigenen Zwecke gibt sich aber der morphologisch denkende Astronom keineswegs mit den Antworten der Physiker und Chemiker zufrieden, weil im Weltall Drücke, Temperaturen, Dichten,

Geschwindigkeiten von nicht mikroskopischen Gebilden sowie Gravitationsfelder anzutreffen sind, welche die uns auf der Erde bekannten um viele Größenordnungen über- oder unterschreiten.

Wenn zum Beispiel ein Neutron auf der Erde eine mittlere Lebenszeit von nur tausend Sekunden hat, so bedeutet das noch lange nicht, dass es unter den ungeheuren Drücken im Inneren kompakter Sterne nicht stabil und das Proton instabil wird. Sind doch unter diesen Umständen alle Fermi-Niveaus bis auf Millionen Elektronenvolt Energie besetzt, und da das Neutron dem beim Zerfall entstehenden Elektron höchstens 780 000 Elektronenvolt Energie mitgibt, kann das Elektron gar nicht entweichen, weil es eben nicht genügend Energie besitzt, um sich auf ein noch unbesetztes Niveau hinaufzuschwingen.

Diese Überlegung führte den Autor 1932 zur Konzeption von Neutronensternen, welche für unser zukünftiges Verständnis der Supernovae und der Eruptivgalaxien eine wichtigste Rolle zu spielen versprechen.

Weiter streifen unsere Gedanken zu gewissen angeregten Zuständen von Atomen und Molekülen, die metastabil, das heisst, an sich von langer Lebensdauer sind. Sie existieren aber auf der Erde nur geringste Bruchteile von Sekunden, weil sie bei den herrschenden relativ hohen Dichten in Erde, Wasser und Luft durch Zusammenstösse mit anderen Atomen und Molekülen fortwährend „abgeregt“ werden und es ihnen nicht gelingt, unter natürlichen Quantensprüngen auf ihre Grundzustände zu gelangen und dabei die für sie charakteristischen sogenannten „verbotenen“ Spektrallinien zu emittieren.

Aus diesem Grunde beobachten wir zum Beispiel die sogenannten Nebuliumlinien N_1 (Wellenlänge 5006,27 Ångström) und N_2 (= 4957,02 Ångström) des doppelt ionisierten Sauerstoffs (O III) nur in den ausserordentlich verdünnten kosmischen Gaswolken.

Besonders revolutionär aber ist der Ausblick und das Vorgehen des Morphologen in der Voraussage und in seiner systematischen Suche nach neuartigsten kosmischen Materieaggregaten. Es sind insbesondere drei Gedanken und Überlegungen, die sich als äusserst durchschlagend erwiesen haben. Diese drei Gedanken sind:

1. Wenn ausgesprochene Lücken in den Verteilungen der Massen und Größen existieren, das heisst, wenn Körper gewisser Masse und Dimension überhaupt nicht bekannt sind, so muss das seinen Grund darin haben, dass gewisse fundamentale physikalische Gesetze eben die Bildung von Körpern solcher Massen und Größen ausschliessen.
Falls es aber keine derartigen triftigen Gründe für die Nichtexistenz gewisser Körper gibt, so muss man annehmen, dass sie existieren, und dass man sie nach ernsthafter Suche auch entdecken wird.
2. Auch dort, wo unsere Vorgänger in grossen Regionen des Weltraums keine Materie beobachtet hatten, musste aus verschiedenen Gründen geschlossen werden, dass das nicht eine endgültige Tatsache sein kann und dass durch Einsatz raffinierterer Methoden doch Aggregate verschiedenster Art aufzufinden seien.
Auf Grund dieser Überzeugung kamen wir denn auch nach längerem Suchen der intergalaktischen Materie - der Materie in den „leeren“ Räumen zwischen den Milchstrassensystemen - auf die Spur.
3. Unter der Annahme, dass im ganzen Weltall alle Elementarteilchen auf Grund der Gravitation und elektromagnetischer Kräfte miteinander in Wechselwirkung stehen, müssen wir, *Ludwig Boltzmann* und den Prinzipien der statistischen Mechanik folgend, schliessen, dass Aggregate aller Art, ausgehend von den Atomen, Molekülen und den festen und flüssigen Teilchen kolloidaler Grösse bis zu den Sternen, Galaxien und Galaxienhaufen existieren müssen.
Dabei ist von grundlegender Bedeutung, dass diese Aggregate sich entweder allmählich oder aber auch explosiv bilden können, so dass ihr Aufbau von Bruchteilen von Sekunden bis zu Billionen von Jahren in Anspruch nehmen kann.

Weiter ist wichtig, dass als Begleiterscheinung des Aufbaus solcher Aggregate immer auch Materie in den Raum abgestossen werden muss, was automatisch die interstellaren und intergalaktischen Räume mit verdünnter Materie sowie auch mit Einzelsternen und Sternschwärmen bevölkert und zur Erzeugung kosmisch ausgedehnter elektromagnetischer Felder führt. Freie Elektronen, die in solchen Feldern kreisen, geben Anlass zu der sogenannten Synchrotronstrahlung, die jetzt allgemein als die Ursache vieler kosmischer Radioquellen sowie der Strahler polarisierten Lichtes betrachtet wird.

Die Konsequenzen der obigen Überlegungen wurden auf Grund der Annahme durchgedacht, dass die wichtigste Eigenschaft aller Materie darin besteht, dass sie aus Elementarteilchen, wie den Protonen, Elektronen und Neutronen, aufgebaut ist. Weiterhin sind diese Elementarteilchen im ganzen bis jetzt erschlossenen Weltraum die gleichen, das heisst, alle dimensionslosen Zahlenverhältnisse, die aus den physikalischen Parametern aller Elementarteilchen, wie ihrer Massen, Ladungen, magnetischen Momente, Spins sowie der Lichtgeschwindigkeit und der *Planckschen* Konstanten aufgebaut werden können, besitzen dieselben Werte. Zum Beispiel muss das Verhältnis der Masse des Protons und des Elektrons überall den Wert 1840 haben.

Im folgenden seien einige Beispiele besprochen, die uns veranschaulichen, wie auf Grund der gemachten morphologischen Überlegungen neue kosmische Körper entdeckt wurden und sicher auch noch auf lange Zeit hinaus entdeckt werden können.

Die Entdeckung der intergalaktischen Materie:

Im Beiblatt (Leaflet) Nr. 148 der *Astronomical Society of the Pacific* schrieb der Direktor der Lick-Sternwarte *Robert G. Aitken* im Jahre 1941: „Was auch für den intergalaktischen Raum gelten mag, der interstellare Raum ist bestimmt nicht leer.“

In der Tat hatte der an der Lick-Sternwarte arbeitende Schweizer Astronom *R. Trümpler* gegen Ende der zwanziger Jahre gezeigt, dass der interstellare Raum und besonders die leicht sichtbaren Dunkelwolken in der Milchstrasse fein verteilte Staubteilchen enthalten, unter denen solche von ungefähr $\frac{1}{1000}$ Millimeter Durchmesser Grösse das von den Sternen zu uns kommende Licht oft ganz oder teilweise absorbieren und streuen. Im letzteren Falle erscheinen die Sterne mehr oder weniger gerötet, weil das blaue Licht stärker gestreut wird als das rote.

Obwohl der Verfasser bereits in den dreissiger Jahren triftige Beobachtungen ins Feld geführt hatte, die zeigten, dass es zwischen den Galaxien leuchtende sowie dunkle, Licht absorbierende intergalaktische Materie gibt, war die Opposition zu diesen Befunden stark.

Auch heute noch ist sie nicht ganz gebrochen, wenigstens soweit die Existenz intergalaktischen Staubes zur Diskussion steht. Das häufige Auftreten von intergalaktischen leuchtenden Formationen von Gasen und von Sternen wird dagegen nicht mehr angezweifelt, nachdem insbesondere mit den *Schmidt*-Teleskopen auf dem Mount Palomar in Kalifornien Tausende von leuchtenden Brücken, Schlieren und Wolken zwischen Galaxien aller Art entdeckt und mit dem 5-Meter-*Hale*-Teleskop in beträchtlichen Einzelheiten direkt und auch spektroskopisch untersucht wurden.

Viele dieser Gebilde haben derart bizarre Formen, dass sich der Astronom, wie das nach vielen Entdeckungen der Fall war, vor neue Rätsel gestellt sieht. Es steht insbesondere noch eine vernünftige Theorie für die überraschende Tatsache aus, dass es leuchtende, fein modellierte intergalaktische Brücken zwischen weit voneinander entfernten Galaxien gibt.

Zwerge und Pygmäen unter den Galaxien:

Die meisten Beobachter vor etwa dem Jahre 1950 konzentrierten ihre Aufmerksamkeit auf helle

Sternsysteme. Dabei entgingen ihnen die absolut schwachen Galaxien, die in relativ viel grösserer Zahl vorkommen. Es wurde deshalb eine Leuchtfunktion konstruiert, wie sie im Bild nach Hubble als graue Kurve dargestellt ist.

Man war also allgemein der Ansicht, dass die relativ meisten Galaxien eine absolute visuelle Helligkeit haben, die etwa der von 400 Millionen Sonnen entspricht. Galaxien mit einer absoluten Helligkeit von weniger als 100 Millionen Sonnen sollte es demnach kaum geben.

Nun sagte sich aber der Morphologe, dass kein Astronom oder Astrophysiker je einen Grund dafür vorgebracht hatte, dass im intergalaktischen Raum nicht isolierte Einzelsterne oder Gruppen und Schwärme von Sternen existieren sollten, die, vom Einzelstern angefangen, aus beliebig vielen Sternen bestehen. Es muss immerhin bemerkt werden, dass es eine obere Grenze gibt, jenseits der in einem zu grossen und massiven Sternsystem die Sterne anfangen, sich gegenseitig zu zerstören. Zwerggalaxien mit zwischen 10 000 und 1 Million Sterne, Pygmäen mit 100 bis 10 000 Sternen und noch kleinere Gruppen müssen auf Grund der Gesetze der statistischen Mechanik aber bestimmt als unabhängige Gebilde in relativ grosser Anzahl zwischen den grossen Sternsystemen zu finden sein.

Eine systematische Suche nach solchen Aggregaten im interstellaren Raum mit dem 18-Zoll-*Schmidt*-Teleskop in den Jahren 1936 bis 1941 sowie zehn Jahre später mit dem 48-Zoll-*Schmidt*-Teleskop führte denn auch fast sofort zu dem erwarteten Resultat. Zwerggalaxien sind schliesslich in so grosser Zahl gefunden worden, dass sich die heute wahrscheinlichste Leuchtfunktion völlig anders darstellt.

Kompakte Galaxien und Radiogalaxien:

Während unserer Suche nach Zwerggalaxien machten wir lange den unbegreiflichen Fehler, uns nach Objekten kleiner Oberflächenhelligkeit umzusehen, obwohl wir als überzeugte Anhänger der von *Boltzmann* entwickelten Prinzipien der statistischen Mechanik wussten, dass die kompakten Körper die charakteristischen Endzustände der Materie darstellen.

Eine Neuorientierung unserer Suche ging vor einigen Jahren besonders von der Feststellung aus, dass die Kerne einiger der benachbarten Riesengalaxien - wie des Andromeda-Nebels - selbst kompakteste Sternanhäufungen sind, die innerhalb eines Volumens von etwa 30 Lichtjahren Durchmesser an die 10 Millionen Sterne enthalten. Die Kerne auch der uns nächsten Galaxien können nur mit den grössten Teleskopen direkt von Sternen unterschieden werden, da ihre scheinbaren Durchmesser nur einige Bogensekunden betragen. Auch mit den grössten *Schmidt*-Teleskopen sind deshalb die Kerne von Galaxien sowie die von uns erwarteten kompakten Galaxien nur mit Schwierigkeit von Einzelsternen zu unterscheiden.

Es ist uns aber gelungen, Beobauungskriterien zu entwickeln, um kompakte Galaxien in grosser Anzahl aufzuspüren. Eine spektroskopische Untersuchung eines solchen Systems verrät dann unmittelbar, dass es sich um eine ganze Galaxie und nicht um einen Stern handelt. Insbesondere sind die Verschiebungen der Spektrallinien gross. Es sind bei unserer ersten Durchmusterung solche gefunden worden, die scheinbaren Fluchtgeschwindigkeiten bis zu 25 000 Kilometer pro Sekunde entsprechen, also Entfernungen von bis zu 1 Milliarde Lichtjahre.

Die Bedeutung dieser neuen Entdeckungen liegt in folgenden Punkten. Einmal sind die kompakten Galaxien für die Physik der kosmischen Materie wesentlich wichtigere Gebilde als die mehr oder weniger zufälligen Strukturen der viel loseren Galaxien selbst. Wie sie entstanden sind, wie lange ihr Aufbau gedauert hat und die Möglichkeit ihrer Degeneration in sehr dichte, kalte und dunkle Sternsysteme, sind Probleme, die eng mit der ganzen Entwicklung der Materie im Weltall zusammenhängen.

Weiter enthalten kompakte Galaxien dunkle Materie, so dass ihre Massen sehr viel grösser sein können, als man aus ihrer Helligkeit schliessen würde. Falls die mittlere Dichte des Weltalls sich aus diesem Grunde sowie wegen des Beitrags der intergalaktischen Materie als grösser als etwa 4×10^{-29} Gramm pro

Kubikzentimeter herausstellen sollte, so kann man zeigen, dass alle bisherigen theoretischen Modelle des Universums die sich einerseits auf die allgemeine Relativitätstheorie stützen und andererseits die universelle Rotverschiebung in den Spektren der extragalaktischen Sternsysteme als eine fortschreitende Ausdehnung des Weltalls deuten, als nicht mehr haltbar fallengelassen werden müssten.

Der Astrophysiker hätte dann mit seiner Interpretation der bisher bekannten Tatsachen über den Charakter, die Verteilung und die Evolution der kosmischen Materie wieder von vorn anzufangen.

Kompakte Galaxien existieren in so grosser Zahl und entsprechen unserer Voraussage der Existenz von leuchtenden, kompakten Galaxien niedrigster Energie in so überraschender Weise, dass wir schliessen müssen, es handle sich hier um sehr alte und stabile Gebilde.

Das bedeutet aber nicht, dass leuchtende, kompakte Galaxien in ausserordentlich seltenen Fällen sich nicht noch weiter transformieren und in dunkle, kompakte Galaxien umwandeln können. Und zwar ist zu erwarten, dass das explosiv geschieht, falls zum Beispiel einer der Sterne der Galaxie als Supernova abplatzt.

Dies wird zur Folge haben, dass die meisten anderen Sterne des Systems durch die auf sie mit Geschwindigkeiten von Zehntausenden von Kilometern pro Sekunde aufprallenden, von der ursprünglichen Supernova abgeworfenen Gasmassen zur Explosion gebracht werden, wobei ungeheure Energiemengen bis zu einer Grössenordnung von 10^{66} erg abgestrahlt werden. Die Galaxie transformiert sich dabei „sprungartig“ in einer Zeitspanne von wenigen Millionen Jahren in eine Galaxie von sehr dichten und sich rasch abkühlenden Zwergsternen, unter denen insbesondere auch Neutronen- und Hyperonensterne zu erwarten sind. Eine solche dunkle und dichte Galaxie würde im Sinne der statistischen Mechanik den endgültigen tiefsten Energiezustand eines Sternsystems darstellen.

Während des Übergangs wird die Galaxie nicht nur im sichtbaren Licht ausserordentlich viel heller erscheinen als die gewöhnlichen Riesengalaxien, sie wird auch, ihrer grossen Entfernung wegen, als fast punktförmige, ungeheuer intensive Radioquelle sowie als Generator energiereichster kosmischer Strahlen wirken.

Falls diese Interpretation der neuerdings gefundenen sternartigen Radiogalaxien richtig ist, müssten sich unter den vielen gewöhnlichen kompakten Sternsystemen gelegentlich solche finden, die als Radiogalaxien mittlerer oder schwacher Intensität wirken. Die Richtigkeit unserer Theorie, dass die energiereichsten Radioquellen ihren Ursprung in explodierenden kompakten Galaxien haben, wird auf diese Weise geprüft werden.

Die Entdeckung von Galaxienhaufen:

Bis vor etwa zwanzig Jahren waren die Astronomen der Ansicht, dass nur etwa fünf Prozent aller Galaxien Mitglieder von Galaxienhaufen sind. Auf Grund morphologischer Überlegungen, die sich wieder wesentlich auf die Prinzipien der *Boltzmanns*chen statistischen Mechanik stützen, ergab es sich aber, dass Haufen von Galaxien sowie - noch weitergehend - Haufen von Haufen von Galaxien ein viel prominenterer Platz eingeräumt werden muss.

Es gelang denn auch anschliessend, nach Durchmusterung vieler Millionen von Galaxien mit den *Schmidt*-Teleskopen des Mount Palomar zu zeigen, dass der Spiess radikal umgekehrt werden muss und dass in Wirklichkeit etwa neun Zehntel aller Galaxien zu Galaxienhaufen gehören. Die absoluten Dimensionen dieser Haufen, deren reichste bis hunderttausend Galaxien enthalten, sind von der Grössenordnung von hundert Millionen Lichtjahren.

Im Gegensatz zur Bestätigung unserer Erwartungen über die Galaxienhaufen hat sich die Voraussage über die Existenz von Haufen von Haufen von Galaxien nicht bewahrheitet. In der Tat sind, ausser in den Regionen beträchtlicher interstellarer und intergalaktischer Absorption, etwa 10 000 bis jetzt untersuchte Galaxienhaufen derart gleichförmig in der Breite und Tiefe des Weltraumes verteilt, dass wir noch keinen einzigen physikalisch zusammenhängenden Doppelhaufen, geschweige denn ausgesprochenen Haufen von

Haufen von Galaxien gefunden haben.

Die Nichtexistenz von Haufen von Haufen von Galaxien, verbunden mit der Tatsache, dass die relativen Geschwindigkeiten zwischen benachbarten Galaxienhaufen um Zehnerpotenzen den theoretisch zu erwartenden nachstehen, hat bis jetzt noch keine Erklärung gefunden, es sei denn, man nimmt an, dass das *Newtonsche* Gravitationsgesetz nicht wirklich universell ist.

Demnach müsste die gegenseitige Anziehung zwischen Massen, die weiter als etwa 30 Millionen Lichtjahre voneinander entfernt sind, schneller abnehmen als umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung. Falls sich diese Interpretation der Abwesenheit von Haufen von Haufen von Galaxien als richtig erweist, wird auch die allgemeine Relativitätstheorie unhaltbar und muss durch eine bessere Theorie ersetzt werden.

Die Entdeckung neuer Arten von Sternen:

Unsere Suche nach neuartigen Sternen ging während der letzten drei Jahrzehnte von folgenden zwei Überlegungen aus:

1. Wenn wir die Grundprinzipien der statistischen Mechanik auf Sterne anwenden, so müssen wir als deren Endzustände tiefster Energie solche erwarten, deren mittlere Dichte derjenigen im Inneren der Elementarteilchen wie den Protonen und Neutronen gleichkommt und sie sogar wesentlich überschreitet. Es sollte also Neutronensterne und Hyperonensterne geben, deren mittlere Dichten von der Größenordnung 10^{13} Gramm (oder 10 Millionen Tonnen) pro Kubikzentimeter sind.
2. Man muss sich überlegen, dass Sterne nicht während ihrer ganzen Lebenszeit isoliert existieren, wie naiverweise in den meisten Theorien der Evolution des Weltalls angenommen wird, sondern dass sie mehr oder weniger den Wirkungen der sie umgebenden interstellaren und intergalaktischen Materie sowie den verschiedensten Strahlungen und Feldern im Raum ausgesetzt sind.

Es würde hier zu weit führen, die weit verzweigten Konsequenzen dieser beiden Überlegungen zu entwickeln. Wir erwähnen nur, dass während der letzten dreissig Jahre Himmelsdurchmusterungen durchgeführt wurden, welche die Entdeckung zahlreicher weisser Zwerge sowie neuartiger, sehr blauer Sterne (*Humason-Zwicky-Sterne*), Pygmäensterne und besonders von Supernovae zeitigten.

Die jetzt von einem speziellen Komitee der Internationalen Astronomischen Union organisierte Überwachung vieler Galaxien hat die Gesamtzahl der bis jetzt entdeckten Supernovae auf etwa 160 gebracht. Dabei hat es sich herausgestellt, dass es mindestens fünf Arten von Supernovae gibt, die sich radikal durch ihre Spektren sowie auch durch ihre Lichtkurven voneinander unterscheiden.

Wir vermuten, dass gewisse Supernovae in dem sprunghaften Übergang eines gewöhnlichen Sterns in einen Neutronenstern ihren Ursprung haben, während andere durch den Zusammenbruch riesiger interstellarer Gaswolken ausgelöst werden. In den helleren Galaxien erscheint im Durchschnitt etwa alle 300 Jahre eine Supernova.

Supernovae erreichen im Maximum visuelle Helligkeiten von etwa 10 Millionen bis einigen Milliarden Sonnen. Sie werden also oft für einige Tage fast so hell wie eine ganze Galaxie und können sogar die Helligkeit der Gesamtheit der Sterne in einer Zwerggalaxie vielfach übertreffen.

Wie Supernovae und ihre Überreste während Tausenden von Jahren zuerst als ungeheure Lichtstrahler wirken und später Radiowellen und kosmische Strahlen aussenden, gehört zu den interessantesten Kapiteln der Astrophysik. Über ihren Ursprung, die Interpretation der Spektren der hellsten Typen von Supernovae und andere Probleme schweben wir aber noch im tiefsten Dunkel. Es sind uns immerhin für unsere Analyse bereits viele wichtige Tatsachen über Supernovae bekannt.

Die morphologisch geplante Suche nach neuen Himmelsobjekten, von deren Zielen und bisherigen Erfolgen wir einige Beispiele angeführt haben, wird energisch weitergeführt und erfreut sich der Mitarbeit immer grösser Kreise. Als typisches Programm erwähnen wir die 1961 in Berkeley, Kalifornien, aus Anlass der Versammlung der Internationalen Astronomischen Union organisierte Suche nach Supernovae, an welcher insgesamt etwa 15 Sternwarten in Argentinien, Belgien, Deutschland, Frankreich, Italien, der Schweiz, der Sowjetunion, Ungarn und den Vereinigten Staaten teilnehmen.

Die Durchmusterung des Himmels wird sich sehr viel wirkungsvoller gestalten, sobald wir unsere Instrumente zum kontinuierlichen Gebrauch auf künstlichen Satelliten oder auf dem Mond installieren können. Dadurch werden alle atmosphärischen Bildstörungen vermieden werden, es wird auch möglich sein, 24 Stunden am Tag zu beobachten. Und was noch wichtiger ist, die uns auf der Erde wegen Absorption in der Atmosphäre unsichtbaren ultravioletten und ultraroten Strahlen aus dem Weltraum können von extraterrestrisch aufgestellten Instrumenten aufgefangen werden.

Wir erhoffen insbesondere viel Neues von Beobachtungen im Gebiet des ultraroten Lichtes im Wellenlängenbereich von 10 Mikrometer bis 1 Millimeter. Es ist zum Beispiel wahrscheinlich, dass auf der Sonne und vielen Sternen sowie im interstellaren und intergalaktischen Raum molekularer Wasserstoff in relativ grossen Mengen vorhanden ist. Die für dieses Molekül charakteristischen Emissions- und Absorptionsbanden liegen aber grossenteils im Wellenlängenbereich des langwelligen ultraroten Lichtes. Es ist auch fast sicher, dass solches Licht nicht wesentlich durch die interstellaren Staubwolken des Milchstrassensystems absorbiert wird, so dass wir durch Beobachtungen im Ultrarot den Zentralkern und alle wesentlichen Objekte unserer Galaxie erforschen können. Gleichzeitig wird uns die Sicht nach allen Richtungen des extragalaktischen Raumes geöffnet, die uns jetzt in ausgedehnten Sektoren vollkommen versperrt ist.

Die geplante Durchmusterung nach mikroskopischen, makroskopischen und kosmischen Körpern im Weltall stellt uns vor derart riesige Aufgaben, dass die systematische Anwendung der morphologischen Planung und Auswertung dieser Projekte höchst empfehlenswert ist, falls man sich optimalen Erfolg sichern und viel unnütze Arbeit ersparen will.