

Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 4 (1949)
Heft: 9

Artikel: 50 Jahre Kunde vom Weltall
Autor: Jordan, Pascual
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-654415>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

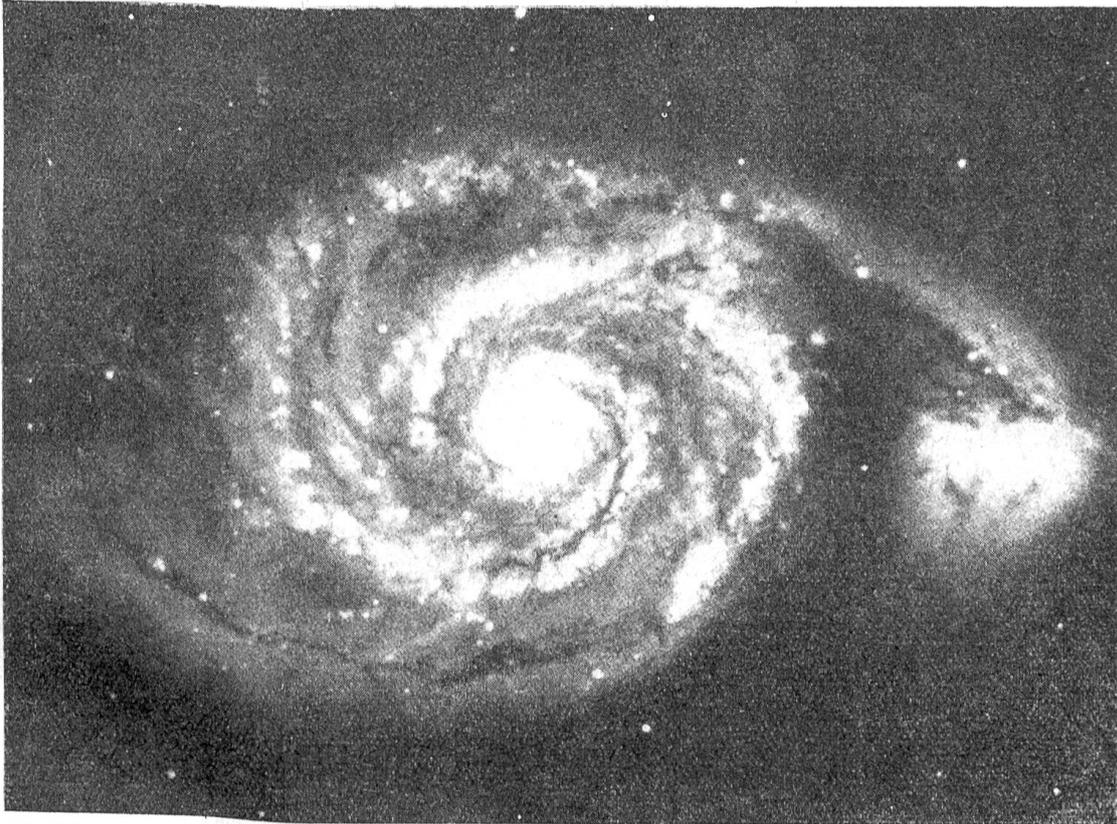
Download PDF: 30.01.2025

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

50 Jahre Kunde vom Weltall

Kosmologie und Relativitätstheorie

Die ersten fünfzig Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts, voll der revolutionären Umbrüche und der stürmischen Entwicklungen in Naturforschung und Technik, liegen hinter uns. An ihnen wird dermaleinst Wesen und Wert unserer Generation gemessen werden. Eine Rückbesinnung erscheint deshalb dringend notwendig. Wir bringen aus diesem Grunde eine Aufsatzreihe, in der namhafte Wissenschaftler — als erster der bekannte Hamburger Physiker Professor Dr. Pascual Jordan — schildern werden, was Forschung und Technik in den Jahren von 1900 bis 1950 geleistet haben. Sie wird zeigen, daß trotz aller Stürme des Zeitgeschehens Entdeckung und Erfindung sich nicht haben lähmen lassen und daß — mit den Worten von Julian Huxley zu sprechen — „Wissenschaft trotz allem Hoffnung gibt“.



Unser Milchstraßensystem ist nach den Erkenntnissen der letzten 50 Jahre ein Spiralnebel ähnlich diesem aus dem Sternbild der Jagdhunde

Das Jahrhundert, dessen Mitte wir jetzt erreicht haben und dessen Nachruhm in der künftigen Geschichte durch so düstere Verirrungen verdunkelt werden wird, braucht immerhin in einer Hinsicht keinen Vergleich mit anderen Zeitaltern zu scheuen: Für die naturwissenschaftliche Forschung gehört dieses Jahrhundert zweifelsohne zu den reichsten und fruchtbarsten. Die Durchdringungskraft und Schärfe naturwissenschaftlicher Erkenntnis und die Reichweite ihrer Fragestellungen haben in unserer Zeit Steigerungen erfahren, die fast den Eindruck erwecken könnten, daß wir erst jetzt in die eigentliche Reifezeit und in die volle Entfaltung der Naturerforschung eingetreten sind.

Die physikalischen Wissenschaften — die in der großangelegten Synthese, zu der uns die moderne Entwicklung der Naturwissenschaften hingeführt hat, immer deutlicher ihre Einheit als ein unteilbares Ganzes erwiesen haben — sind in zwei entgegengesetzten Richtungen weit hinaus gedungen über jene Bereiche der Alltagserfahrung, in deren Rahmen sich ja auch die ältere physikalische Forschung noch bewegt hat, innerhalb dieses Rahmens zunehmend Klarheit und freilich auch erstaunliche Bereicherungen für die Erfahrungsinhalte dieses Gebietes schaffend, vor allem durch die Entdeckung der elektromagnetischen Erscheinungen. Die eine der erwähnten beiden Richtungen, in denen sich das siegreiche Vor-

dringen der physikalischen Forschung vollzogen hat, war die Richtung zum Kleinen und Kleinsten hin: Entdeckung und Erforschung der Elektronen, Quanten, Atome und Atomkerne. Die reichen Erträge dieser Forschungen haben nicht nur äußerlich die Menschheit zu so gewaltigen Folgerungen technischer Art hingeführt, daß wir heute schon geradezu Sorge haben müssen, ob die heutige Menschheit überhaupt reif genug ist, solche Erfolge hinzunehmen und zu tragen; sie haben auch nach der Seite der reinen Erkenntnis zu Vertiefungen geführt, zu neuen, wunderbaren Einsichten in die Natur, welche eine ungeahnte Revolutionierung unserer grundsätzlichen naturwissenschaftlichen Vorstellungsweisen eingeleitet haben: Die neuen Ergebnisse, die im Begriff der „Komplementarität“ ihre tiefgründige, die alte Kausalitätsvorstellung ablösende begriffliche Erfassung gefunden haben, konnten inzwischen für das weite, reiche Gebiet der Atomphysik schon ihre endgültige Gestaltung erreichen. Aber die fruchtbaren Auswirkungen, welche der Komplementaritätsbegriff in Biologie, Psychologie und Kulturwissenschaften nach sich ziehen wird, sind heute noch gar nicht abschbar. Die andere Richtung der vordringenden Physik dieser letzten fünfzig Jahre war die Richtung zum Großen und Größten hin — zum Überblicken gewaltiger Räume, zum gedenklichen Überbrücken riesiger Entfernungen, zum Überschauen ungeheurer Spannen naturgeschichtlicher Zeiten. In bedeutungsvoller, tiefliedender Weise verknüpfte sich hiermit die Erforschung und Erhellung seltsamer Verhältnisse, die bei ganz großen Geschwindigkeiten auftreten.

Es gehört zu den erstaunlichsten Ereignissen in der Geschichte der Naturwissenschaften, daß in diesem jetzt abgelaufenen halben Jahrhundert auch eine als „Kosmologie“ bezeichnete Wissenschaft entstehen konnte, die sich der Aufgabe zugewandt hat, das Weltall als Ganzes zu erkunden, zu beurteilen, auszumessen und gewissermaßen auf die Waage zu legen. Während wir in der Richtung zum Kleinen hin bis zu den letzten, feinsten Urbausteinen aller Materie vorgedrungen sind, zu einer abschließenden Grenze, über welche hinaus es keine weitere Verfeinerung und Unterteilung mehr gibt, haben wir andererseits den kühnen Versuch einleiten können, auch in der Richtung zum Großen hin das Äußerste, das Letzte, das nicht mehr Überbietbare zu erreichen. Freilich ist diese jugendliche Wissenschaft der Kosmologie heute noch weit davon entfernt, in der Beantwortung ihrer wesentlichsten Fragen ähnliche Sicherheit oder gar Gewißheit erzielt zu haben wie auf der anderen Seite die Atomphysik. Ein vorsichtiger, von der Verantwortung der Wahrheitsforschung getragener Bericht über den heutigen Stand der Kosmologie hat mehr

über Probleme und vorläufige Vermutungen als über feste, bewiesene Ergebnisse zu berichten. Aber schon die Tatsache ist bedeutend und bewegend genug, daß wir uns heute jedenfalls auf dem Wege wissen zur Klärung der hier verfolgten Fragen; daß Fragen solcher Art, solcher Ausmaße heute wirklich wissenschaftlich ernsthaft gestellt und angegriffen werden können. Daß über ihre endgültige Beantwortung noch vielerlei Unklarheiten bestehen, erhöht in gewissem Sinne zunächst noch die Anziehungskraft und den Reiz dieses eigentümlichen Forschungsfeldes, in dem noch entscheidende Untersuchungen durchzuführen sind. Daß aber in nicht ferner Zeit die meisten der heute noch offenen und weitgehend ungewissen Fragen bereits ihre Antwort gefunden haben werden, das können wir mit Bestimmtheit erwarten.

Die Astronomie hat die Grundlagen der empirischen Kosmologie durch die von ihr in mühsamer Arbeit und durch scharfsinnige Untersuchungen errungene Gewißheit geschaffen, daß unsere Milchstraße, diese riesige Wolke von Sternen, von Sonnen, nur ein einzelnes Beispiel für Gebilde ist, die im Kosmos in ungeheurer Zahl vorhanden sind. Wie neu, wie jung alle diese Erkenntnisse sind, wird dadurch beleuchtet, daß noch ein im Jahre 1928 erschienenenes physikalisches Handbuch in den Kapiteln über Kosmische Physik mitteilte, es sei noch nicht endgültig entschieden, ob es außerhalb der Milchstraße noch andere Gebilde ähnlicher Größe gäbe. Zwar lagen damals schon die bahnbrechenden Arbeiten amerikanischer Astronomen vor, welche den eigentlichen Beginn der empirischen kosmologischen Forschung bezeichnen; aber zunächst zweifelten noch manche zuständigen Fachleute an der endgültigen Sicherheit dieser Ergebnisse. Heute ist hierin unter den Sachkundigen keine Meinungsverschiedenheit mehr vorhanden: Von zahlreichen Gebilden, die wir mit Hilfe der größten Fernrohre teils als ausgedehnte Lichterscheinungen, teils gerade noch als kleine helle Flecke auf die Photoplatte bannen können, kennen wir ihre Entfernungen von uns; und diese Entfernungen sind so riesig, daß wir in diesen scheinbar nur winzigen Lichtern große kosmische Riesengebilde von der Art unserer eigenen Milchstraße erkennen.

Die geistreich durchdachten und unter Einsatz einer ungeheuren Arbeitsleistung angewandten Methoden, mit welchen die Astronomen diese Entfernungsbestimmungen ausgeführt haben, entziehen sich hinsichtlich ihrer technischen Einzelheiten einer näheren Erläuterung in dieser knappen Zusammenfassung. Schon innerhalb unseres Milchstraßensystems hat der stufenweise erfolgte Aufbau eines Systems von Entfernungsmessungen sich mit äußerst schwierigen Aufgaben auseinanderzusetzen gehabt; denn nur bei verhältnis-

mäßig recht nahen Sternen gelingt eine unmittelbare Ausmessung nach der „Parallaxenmethode“, das heißt nach dem Prinzip stereoskopischen Sehens, angewandt auf die nur ganz wenig verschiedenen Bilder, die uns der Sternhimmel im Laufe eines Jahres, während der Umkreisung der Sonne durch unsere Erde, darbietet. Jedenfalls wissen wir heute, daß unsere Milchstraße, die angenähert als eine etwa linsenförmige Anhäufung von Sternen zu beschreiben wäre, im großen Durchmesser etwa hunderttausend Lichtjahre mißt, im kleinen Durchmesser etwa zwanzigtausend Lichtjahre. Dabei zeigt die Häufung der Sterne in dieser linsenförmigen Grobgestalt zweifellos eine spiralförmige Anordnung, die zwar für uns — vom Innern der Milchstraße aus — schlecht zu erkennen ist, aber aus der Ferne gesehen ähnlich sein dürfte, wie die Gestaltsverhältnisse anderer „Spiralnebel“ von ähnlicher Größe; insbesondere der

Andromeda-Nebel ist den Freunden der Naturwissenschaften aus häufig wiedergegebenen Abbildungen bekannt. Auffällige Sondergebilde der Milchstraße sind die sogenannten kugelförmigen Sternhaufen, Ansammlungen von mitunter mehr als hunderttausend Sternen, die in enger Nachbarschaft — immerhin aber noch um einige

Wochen- oder Monatsreisen des Lichtes voneinander entfernt — in auffallend regelmäßiger Anhäufung zusammenstehen. Diese Kugelhaufen liegen zum großen Teil schon etwas außerhalb der Milchstraße im engeren Sinne, da sie in ihrer Gesamtheit in einem eher kugelförmigen Raum verteilt sind, ohne sich der linsenförmigen Abplattung der übrigen Milchstraße einzufügen. Der Andromeda-Nebel ist schon nicht viel weniger als eine Million Lichtjahre von uns entfernt; das gibt uns gleich einen Begriff von der durchschnittlichen Entfernung nächstbenachbarter Spiralnebel voneinander. Seine Größe und seine Gestaltsverhältnisse sind unserer eigenen Milchstraße sehr ähnlich. Doch zeigen die zahlreichen sonstigen Spiralnebel — die uns in um so größerer Fülle bekannt werden, je weiter wir mit unseren Fernrohren hinausdringen in die ungeheuren Tiefen des Raumes — trotz dieses Namens teilweise keine Spiralgestalt, sondern nur ellip-

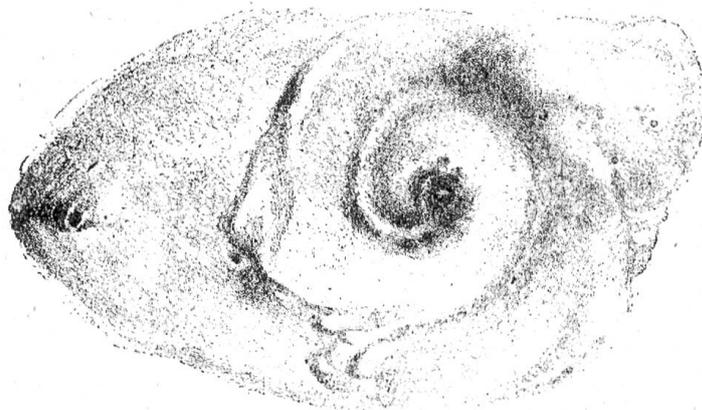
tische oder Linsenform. Dennoch ordnen sie sich alle in ein bestimmtes Schema eng verwandter Gestalten ein.

Der Sternenreichtum der Milchstraße und der anderen Spiralnebel ist ungeheuer: Etwa hundert Milliarden Sonnen sind in ihr zusammengehäuft. Freilich erreichen sie in ihrer großen Mehrzahl nicht die Helligkeit der Sonne, obwohl sie dieser an Masse ähnlich sind. Unsere Sonne ist etwa fünfzigmal so hell wie der durchschnittliche Milchstraßen-Stern. Doch gibt es andererseits gewisse, verhältnismäßig seltene Typen von Sternen, deren Helligkeit das Zehntausendfache oder Hunderttausendfache unserer Sonne erreicht.

Die berühmte kalifornische Sternwarte auf dem Mount Wilson, welche den Hauptanteil der modernen kosmologischen Forschung geleistet hat, konnte den Weltenraum bis in ungeheure Fernen durchdringen. Die fernsten, gerade noch als schwache Lichtflecke auf der Platte erkennbaren Spiralnebel, die sie einzufangen vermochte, sind fünfhundert Millionen Lichtjahre von uns entfernt; sie lassen uns also heute ein wenig von dem Zustand sehen, in dem sie sich vor fünfhundert Millionen Jahren befanden. Würde man das gesamte Himmelsgewölbe Fleck um Fleck mit dieser Beobachtungsschärfe untersuchen — tatsächlich hat man nur Stichproben in verschiedenen Teilen des Nachthimmels genommen — so würden bereits mehr als hundert Millionen Spiralnebel photographisch erfaßt sein. Aber man hat schon vor etwa zwanzig Jahren begonnen, auf einem anderen kalifornischen Berge, dem Mount Palomar, eine noch größere Sternwarte zu errichten, deren in der mühseligen, angespannten Arbeit von zwei Jahrzehnten vollendete Instrumente kürzlich in Dienst genommen werden konnten. Die Tiefe des Eindringens in den Weltenraum ist damit noch einmal verdoppelt worden: Spiralnebel in einer Milliarde Lichtjahre Entfernung konnten erfaßt werden.

Was aber hat man eigentlich davon? Warum haben ausgerechnet die Amerikaner, die doch praktische Leute sind und ihr Geld nicht zum Fenster hinauszugehen lassen, sich mit dieser Arbeit beschäftigt? Warum haben sie sich um die Erforschung der fernsten Winkel des Kosmos bemüht, während wir in Europa, wo die Sternwarten so zahlreich sind, uns mit der Beobachtung der Milchstraße begnügen? Die Antwort auf diese Fragen ist nicht so einfach, wie es scheint. Sie beruht auf dem Umstand, daß die Erforschung der fernsten Winkel des Kosmos eine Aufgabe ist, die nur durch die Anwendung der neuesten wissenschaftlichen Methoden gelöst werden kann. Die Erforschung der Milchstraße ist eine Aufgabe, die durch die Anwendung der älteren Methoden gelöst werden kann. Die Erforschung der fernsten Winkel des Kosmos ist eine Aufgabe, die nur durch die Anwendung der neuesten wissenschaftlichen Methoden gelöst werden kann.

Was aber hat man eigentlich davon? Warum haben ausgerechnet die Amerikaner, die doch praktische Leute sind und ihr Geld nicht zum Fenster hinauszugehen lassen, sich mit dieser Arbeit beschäftigt? Warum haben sie sich um die Erforschung der fernsten Winkel des Kosmos bemüht, während wir in Europa, wo die Sternwarten so zahlreich sind, uns mit der Beobachtung der Milchstraße begnügen? Die Antwort auf diese Fragen ist nicht so einfach, wie es scheint. Sie beruht auf dem Umstand, daß die Erforschung der fernsten Winkel des Kosmos eine Aufgabe ist, die nur durch die Anwendung der neuesten wissenschaftlichen Methoden gelöst werden kann. Die Erforschung der Milchstraße ist eine Aufgabe, die durch die Anwendung der älteren Methoden gelöst werden kann. Die Erforschung der fernsten Winkel des Kosmos ist eine Aufgabe, die nur durch die Anwendung der neuesten wissenschaftlichen Methoden gelöst werden kann.



Wie man vor 50 Jahren — in Wilhelm Bölsches klassischer „Entwicklungsgeschichte der Natur“ — denselben Spiralnebel darstellte, den unser modernes Photo am Kopf dieses Aufsatzes zeigt

werfen pflegen, so riesige Kosten und Mühen nicht gescheut, um noch einmal doppelt so weit sehen, also etwa achtmal so viel Spiralnebel aufnehmen zu können wie bisher? Es war in Wahrheit keineswegs ein Streben nach bloßer Umfangsvermehrung des schon sowieso riesigen Beobachtungsmaterials, das diese Anstrengungen veranlaßt hat, sondern man müht sich hier um die Lösung einer großen, bewegenden Frage: um die Entschleierung des großen Rätsels des kosmischen Raumes. Zwar möchte man zunächst glauben, daß wir hier vor einer ganz hoffnungslosen Frage stehen. Wie groß auch die Entfernungen werden mögen, bis zu denen unsere Forschung vordringen kann — jede überhaupt endliche Entfernung bleibt geringfügig, fast ein Nichts, gegenüber der Unendlichkeit. Und daß der Weltenraum als solcher unendlich groß sein müsse, scheint doch zunächst ganz unausweichlich. Aber in Wirklichkeit liegen die Dinge doch ganz anders. Es bedarf freilich weit ausholender und tief eindringender Überlegungen, um wenigstens theoretisch einmal die Denkmöglichkeiten zu klären, die bei einer wissenschaftlichen Inangriffnahme dieser Probleme in Betracht zu ziehen sind. So erfordert schon das Verständnis der Fragestellung, um die es sich in der kosmologischen Forschung handelt und der zuliebe die große Sternwarte Mount Palomar erbaut worden ist, ein nicht geringes Maß gedanklicher Vorbereitung und geistiger Arbeit.

Erst etwa ein Vierteljahrhundert ist vergangen, seitdem es der Astronomie möglich wurde, die Entfernungen der zur Milchstraße gehörenden kugelförmigen Sternhaufen auszumessen; das war der erste, unentbehrliche Schritt zum Aufbau eines Systems, einer Methodik von Entfernungsmessungen bis ins Riesenreich der Spiralnebel hinein. Aber obwohl in diesem Sinne die Kosmologie wesentlich jünger ist als fünfzig Jahre, so reichen doch ihre gedanklichen Unterlagen und theoretischen Voraussetzungen weiter zurück. Denn zur Vorbereitung der kosmologischen Forschung gehörte die Relativitätstheorie, wie sie etwa mit Beginn unseres Jahrhunderts entstanden ist: Der Holländer Hendrik Antoon Lorentz (1853—1928) hatte ihr wesentlich vorgearbeitet; der Franzose Henri Poincaré (1854—1912) hat einige ihrer wichtigsten Erkenntnisse als erster klar erfaßt; entscheidend für ihre ganze Entwicklung aber wurde eine im Jahre 1905 veröffentlichte Abhandlung von Albert Einstein, der nicht nur die Poincaréschen Ergebnisse unabhängig erneut gewann und bald weit überbot, sondern auch seitdem der unbestrittene Führer und Meister dieses modernen Forschungsgebietes geblieben ist. Über den Inhalt der Relativitätstheorie ist häufig in allgemein-verständlichen Schriften berichtet worden. Die großen Schwierigkeiten, welche die geheimnisvollen Lehren dieser Theorie dem Verständnis jedes

Nichtspezialisten entgegensetzen, haben vielleicht nicht weniger zu ihrer Berühmtheit beigetragen als die bewunderungswürdige Genialität der in ihr niedergelegten Entdeckungen und die tiefgründigen Einsichten, die in ihr enthalten sind. Es hatte sich gegen Ende des vorigen Jahrhunderts nämlich gezeigt, daß Bewegungen, die äußerst schnell verlaufen — fast (oder sogar genau) mit Lichtgeschwindigkeit — so seltsame Gesetzmäßigkeiten zeigen, daß bei ihrer Durchdenkung die uns gewohnten, gern für unerschütterlich gehaltenen Gesetze von Raum und Zeit geradezu unanwendbar werden. An ihrer Stelle neue, umfassendere Gesetze erkannt zu haben, ist die Leistung der Relativitätstheorie.

Zum Thema der Kosmologie stehen diese Erkenntnisse jedoch in erster Linie dadurch in Beziehung, daß sie später noch anderweitige Vertiefungen unseres Verstehens von Raum und Zeit angebahnt haben. Eine im Jahre 1915 von Einstein veröffentlichte grundsätzliche Erweiterung der Relativitätstheorie, die „Allgemeine Relativitätstheorie“, hat diesen kühnen Denker dazu geführt, unter Fruchtbarmachung mathematischer Forschungen des vorigen Jahrhunderts von Gauß und Riemann denjenigen Gedanken zu fassen, durch den die Fragestellung der Kosmologie erst eigentlich ermöglicht wird. Es ist keineswegs eine von vornherein feststehende Denknöwendigkeit, daß der Kosmos unendlich sein müßte; die Voraussetzung, daß er unbegrenzt sei, daß er nirgendwo eine Wand oder eine Grenze habe zwingt noch keineswegs zu dieser Folgerung. Denn wir dürfen uns, wenn wir in Gedanken so riesige räumliche Weiten durchmessen, nicht darauf verlassen, daß unsere gewöhnliche, in der euklidischen Geometrie formulierte Raumschauung hier noch anwendbar und zuverlässig ist. Wenn auch alle Erfahrungen immer wieder die Richtigkeit der euklidischen Geometrie, insbesondere auch des Satzes von der Winkelsumme im Dreieck, bestätigen, soweit es sich um Dreiecke von übersehbarer Größe handelt, so gibt es doch keine wissenschaftlich ernst zu nehmende Unterlage für die Überzeugung, daß auch in einem Dreieck, dessen Seitenlängen die Größenordnung von einer Milliarde Lichtjahren haben, die Summe der drei Winkel gleich zwei Rechten sein müßte. Und so ist auch die Vorstellung eines unendlich großen Weltraums keineswegs eine theoretisch notwendige und unvermeidliche Vorstellung — die Sache könnte sehr wohl auch anders sein. Denn im Rahmen allgemeinerer geometrischer Gesetzmäßigkeiten, in einer „nichteuklidischen“ Geometrie, gibt es denkmögliche Raumformen, die trotz Unbegrenztheit nur endliches Gesamtvolum besitzen.

Natürlich liegt das völlig außerhalb jeder anschaulichen Vorstellbarkeit. Aber trotzdem sind diese Denkmöglichkeiten für die mathematisch-logische Un-

tersuchung einwandfrei zugänglich. Und viele Astronomen und Physiker halten es heute für sehr wahrscheinlich, daß Einstein mit seiner Behauptung Recht behalten wird, unser wirklicher Kosmos sei ein „Riemann'scher Raum“, der als das dreidimensionale Analogon der zweidimensionalen Kugeloberfläche erläutert werden kann. Wenn dem tatsächlich so ist, dann hat also unser Weltraum ein zwar sehr großes, aber doch nur endliches Gesamtvolum. Dennoch kann man aber nicht fragen: „Was ist dann außerhalb davon?“, denn es gibt kein „außerhalb“ mehr — der Begriff des Kosmos ist im räumlichen Sinne als allumfassend gemeint, und dieser allumfassende Raum besitzt trotzdem nur endlich viele Kubikzentimeter Rauminhalt. Er ist unbegrenzt — man kann nach jeder Richtung hin geradeaus schreiten, ohne je auf eine Grenze zu treffen; aber der immer geradeaus weiter verfolgte Weg führt schließlich „hinten herum“ wieder in den Ausgangspunkt zurück — ebenso, wie beim Reisen auf der zweidimensionalen Erdoberfläche.

Hiermit nun wird die Aufgabe der Sternwarte Mount Palomar verständlich: Sie soll uns Auskunft verschaffen, ob der Kosmos tatsächlich diese von Einstein mit starken Gründen vermutete Raumstruktur besitzt; die Leistung der Mount Wilson-Sternwarte hatte dazu noch nicht ganz ausgereicht; aber wir haben Gründe, zu erwarten, daß die Instrumente vom Mount Palomar uns weitgehend Klarheit verschaffen können. Wenn es wahr ist, daß unser Kosmos, daß das räumlich Allumfassende nur endliche Gesamtgröße hat, dann wird die eigentliche Problemstellung der Kosmologie als eine berechtigte und lösbare Problemstellung erwiesen: den Kosmos als Ganzes zum Gegenstand der Untersuchung, Messung, Wägung zu machen.

Heute gehen, da die neue Sternwarte ihre Arbeit erst gerade begonnen hat, die Ansichten berufener Forscher zu den Fragen der Kosmologie noch vielfach recht erheblich auseinander, und die grundsätzliche Frage, ob Einstein recht hat, oder in diesem Punkte nicht, muß einstweilen noch in der Schwebe bleiben. Immerhin spricht nicht nur viel für die Richtigkeit seiner These, sondern wir sind darüber hinaus auch schon imstande, für den Fall, daß er recht hat, ungefähre Angaben über Größe und Gewicht des Kosmos zu machen. Natürlich handelt es sich nur um recht rohe und vorläufige Zahlen; aber in den „Größenordnungen“ werden sie vermutlich der Wahrheit recht nahekommen. So erfahren wir, daß jene erwähnte „Reise um die Welt“ — im wahren Sinne, also nicht unter Verwechslung der Welt mit unserer Erde — eine Länge von einigen Milliarden Lichtjahren haben würde. Man kann dann ausrechnen, wie groß das Gesamtvolumen des Kosmos in der Einstein-

sehen Vorstellung werden muß: Drücken wir es in Kubikzentimeter aus, so wäre es gegeben durch eine Eins mit vierundachtzig Nullen dahinter; also, abgekürzt geschrieben, 10^{84} . Fragen wir nach dem Gewicht, nach der Gesamtmasse des Kosmos, so lautet die Antwort: 10^{56} Gramm; das entspricht etwa 10^{20} Sternen, in 10^{10} Spiralnebeln zusammengeballt. Man kann dieser Vorstellung einer endlichen Gesamtmasse der Welt aber auch noch einen anderen Ausdruck geben, der uns vielleicht noch stärker berührt: Wenn es nur endlich viele Gramm Materie im Kosmos gibt, dann enthält er auch nur endlich viele Atome, endlich viele Elektronen; man kann mit 10^{79} bis 10^{80} die



Der Andromedanebel

Größenordnung für die Anzahl von Elementarteilchen im Weltall angeben. Erinnern wir uns bei dieser Gelegenheit daran, daß die von der modernen Atomphysik und Quantentheorie errungene Einsicht in die Grundgesetze der Materie zu den Voraussetzungen gehört, die den gewaltigen Aufschwung unserer modernen astronomischen Erkenntnis ermöglicht haben: Die Bedingungen, unter denen die Materie in den kosmischen Gebilden reagiert — in den Atmosphären und im Innern der Sterne, oder andererseits in jenen dünnen Gasnebeln, gegenüber denen unser bestes experimentelles Hochvakuum noch als dick zu bezeichnen ist — diese Existenz- und Reaktionsbedingungen kosmischer Materie sind so weit verschieden von dem uns experimentell Nachahmbaren, daß nur jene gründliche, eindringende Kenntnis der Grundgesetze aller Materie, die von der modernen Physik

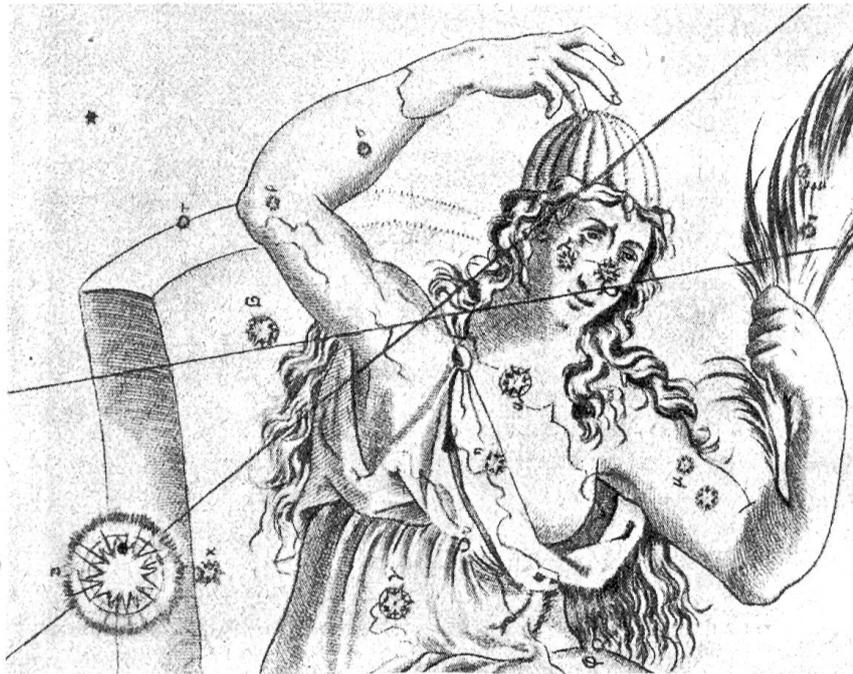
erarbeitet worden ist, dem Astrophysiker brauchbare Unterlagen seiner Arbeit geben konnte. Da aber die Entwicklung der Quantenphysik durch Plancks Entdeckung im Jahre 1900 eingeleitet wurde, so erkennen wir auch von hier aus die große Einheit jener in den letzten fünfzig Jahren vollzogenen naturwissenschaftlichen Entwicklung, in deren Zusammenhang auch die Kosmologie als jüngster Zweig der physikalischen Wissenschaften gehört.

Aus moderner Atomphysik und Atomkern-Physik hat sich inzwischen auch die Lösung des großen Rätsels ergeben, woher die leuchtenden Sonnen die ungeheuren Energien nehmen, die sie ständig in den Weltraum hinaussenden. Gewöhnliche chemische

Reaktionstheorie verständlich gemacht werden, eine weit über jede chemische Reaktion hinausgehende Energie-lieferung. Freilich wird trotz dieser reichen Energiequelle in künftiger Zeit — aber erst nach weiteren Milliarden von Jahren — einmal das Leuchten der Sonne zu Ende gehen müssen; und das führt uns zu einer grundsätzlichen Erkenntnis, deren Bedeutung kürzlich durch Hoyle unterstrichen worden ist: Der Kosmos durchläuft offenbar eine einseitige Entwicklung; er ist nicht in einem gleichbleibenden Dauerzustand, und er vollzieht auch keineswegs einen periodisch sich wiederholenden Kreislauf des Geschehens, wie man wohl früher gern geglaubt hat. Der Kosmos hat vielmehr seine Geschichte, die sich

in einmaligem Ablauf vollzieht. Denn in allen Sonnen des Weltalls vollzieht sich eine fortlaufende Umwandlung von Wasserstoff in Helium; der umgekehrte Vorgang aber spielt sich nirgendwo im natürlichen Geschehen ab, obwohl es künftig gewiß einmal möglich werden wird, ihn im Laboratorium in ganz kleinem Ausmaß zu erzwingen.

Für diese zeitlich einseitige, „irreversible“ Entwicklung des Kosmos haben sich auch anderweitig verschiedene Hinweise ergeben. Vor allem spricht eine von Hubble, dem Leiter der Sternwarte Mount Wilson und Mount Palomar, an den Spektrallinien ferner Spiralnebel entdeckte „Rotverschiebung“ stark dafür, daß die Größe, das Volumen unseres Weltraums nicht etwa unveränderlich, sondern vielmehr in ständigem Wachstum begriffen ist. Diese Ausdeu-



Dieser Ausschnitt aus dem Blatt Cassiopeia des Sternatlas von J. Bayer (1603) zeigt links unten die von Tycho Brahe im Jahre 1572 beobachtete Nova

Vorgänge würden „nur“ für die „kurze“ Zeit von etwa zwanzig Millionen Jahren das Leuchten unserer Sonne speisen können; wir wissen heute aber mit Sicherheit, daß die Geschichte des organischen Lebens, das die Sonnenwärme voraussetzt, um wesentlich mehr als eine Milliarde Jahre zurückreicht. Tatsächlich wird die Leuchtenergie der Sonne durch eine Elementarumwandlung geliefert — grundsätzlich also durch einen ähnlichen Vorgang, wie er sich in der Atombombe abspielt. Doch handelt es sich hier um eine technisch noch nicht nachgeahmte Elementarumwandlung: die Umwandlung von Wasserstoff in Helium, die im heißen Mittelpunktgebiet der Sonne bei etwa zwanzig Millionen Grad vor sich geht. Sie ergibt aus Gründen, die wiederum durch die Rela-

tivitätstheorie verständlich gemacht werden, eine weit über jede chemische Reaktion hinausgehende Energie-lieferung. Freilich wird trotz dieser reichen Energiequelle in künftiger Zeit — aber erst nach weiteren Milliarden von Jahren — einmal das Leuchten der Sonne zu Ende gehen müssen; und das führt uns zu einer grundsätzlichen Erkenntnis, deren Bedeutung kürzlich durch Hoyle unterstrichen worden ist: Der Kosmos durchläuft offenbar eine einseitige Entwicklung; er ist nicht in einem gleichbleibenden Dauerzustand, und er vollzieht auch keineswegs einen periodisch sich wiederholenden Kreislauf des Geschehens, wie man wohl früher gern geglaubt hat. Der Kosmos hat vielmehr seine Geschichte, die sich in einmaligem Ablauf vollzieht. Denn in allen Sonnen des Weltalls vollzieht sich eine fortlaufende Umwandlung von Wasserstoff in Helium; der umgekehrte Vorgang aber spielt sich nirgendwo im natürlichen Geschehen ab, obwohl es künftig gewiß einmal möglich werden wird, ihn im Laboratorium in ganz kleinem Ausmaß zu erzwingen.

Für diese zeitlich einseitige, „irreversible“ Entwicklung des Kosmos haben sich auch anderweitig verschiedene Hinweise ergeben. Vor allem spricht eine von Hubble, dem Leiter der Sternwarte Mount Wilson und Mount Palomar, an den Spektrallinien ferner Spiralnebel entdeckte „Rotverschiebung“ stark dafür, daß die Größe, das Volumen unseres Weltraums nicht etwa unveränderlich, sondern vielmehr in ständigem Wachstum begriffen ist. Diese Ausdeu-

tung des Hubble'schen Befundes ist freilich noch umstritten; die neue Sternwarte wird die Entscheidung bringen. Ferner sind wir sicher, daß alle im Kosmos heute zu beobachtenden Gebilde noch nicht älter als einige Milliarden Jahre sind. Gerade vor einigen Milliarden Jahren müßte aber andererseits, wenn das Wachstum des kosmischen Raumes real ist, das Weltall räumlich noch ganz klein gewesen sein, also in einem auch damals geschlossenen, allumfassenden, unbegrenzten, aber viel kleineren Riemann'schen Raum enthalten gewesen sein. So sprechen starke Gründe dafür, daß vielleicht die geschichtliche Vergangenheit des Kosmos keineswegs bis ins Unendliche zurückreicht, daß vielleicht die zeitliche Vergangenheit als solche ebenso wenig unendlich ist wie der

Raum: Es gibt vielleicht einen, jetzt einige Milliarden Jahre zurückliegenden echten Anfang der Zeit als solchen, wie er übrigens schon von alten Scholastikern vermutet worden ist.

Die meisten gedanklichen Versuche, vom Urzustand des Kosmos eine bestimmtere Vorstellung zu gewinnen, sind von dem Gedanken ausgegangen, daß die Materie aller heutigen Spiralnebel schon damals vorhanden gewesen sei. Sofern wir die These vom zeitlichen Wachsen des endlichen nichteuklidischen Raumes annehmen, müßte diese Materie damals in viel engerem Gesamtraum zusammengedrängt gewesen sein. Radikalere Gedankengänge rechnen jedoch mit der Möglichkeit, daß auch die Gesamtmasse des Weltalls in ständiger Zunahme begriffen sei, ähnlich wie sein Rauminhalt. Bestimmte Ausführungen dieser Idee, wie die von Hoyle, nehmen an, daß das große Gesetz der Energie-Erhaltung, das nach der Relativitätstheorie gleichbedeutend mit Masse-Erhaltung ist, im Großgeschehen des Kosmos nicht mehr lückenlos gültig sei. Andere Überlegungen, mit denen der Verfasser sich beschäftigt hat, führten zu dem Ergebnis, daß der Energiesatz in besonderer Weise doch mit der Annahme einer ständig wachsenden Menge von Materie in der Welt in Einklang gebracht werden könnte.

Obwohl diese Hypothesen gegenwärtig noch nicht mehr als tastende Versuche zur allmählichen Entschleierung der großen Geheimnisse des Kosmos sind — Versuche, in denen sich die gerade heute, in der Mitte dieses Jahrhunderts, erreichte kosmologische Problemlage spiegelt — so mag es erlaubt sein, noch

hinzuzufügen, daß die zuletzt erwähnte Theorie das kosmologische Problem auch in enge Verbindung bringt mit der Frage der Entstehung der Sterne. Die traditionelle Vorstellung, daß die Sterne durch Zusammenballung ursprünglich gasförmiger, weit ausgebreiteter Materie entstehen sollten, hat bis heute keine Stütze seitens der beobachtenden Astronomie gefunden; wir kennen kein einziges Gebilde, das wir als einen in dieser Weise in Entstehung begriffenen Stern deuten könnten. Wohl aber kennen wir empirisch das gelegentlich vorkommende, äußerst helle Aufleuchten eines Sternes als „Supernova“, von dem wir bislang nicht sicher sagen können, ob es sich um eine Explosion eines schon vorher vorhanden gewesenen Sterns handelt, oder aber — wofür einige Gründe sprechen — um eine explosive Neuerzeugung eines Sterns. Da man seit kurzem die sogenannten planetarischen Nebel, also Sterne mit einer sie umgebenden, auseinanderlaufenden Hülle von Gas, wohl mit großer Sicherheit als Spuren ehemaliger Supernovae erkennen konnte, werden die großen Fortschritte, die neuerdings in der Erforschung dieser planetarischen Nebel insbesondere durch Wurm erreicht wurden, bald dazu führen, daß wir in allen diesen Fragen klarer sehen.

Vermutlich werden alle die Probleme, die wir in diesem Aufsatz als um die Jahrhundertmitte noch offene Fragen bezeichnet haben, vor dem Ende des Jahrhunderts bereits ihre abschließende Lösung gefunden haben. Welche Fragen mögen dann wohl den forschenden Menschengestalt beschäftigen?

Prof. Dr. Pascual Jordan

Gletschermühlen

Gletscher sind von den Polarländern bis zu den Hochgebirgen unter dem Äquator auf der ganzen Erde weit verbreitet. Ihre Erforschung ist zu einem besonderen Zweig der Wissenschaft geworden, und viele Erscheinungen der Gletscherwelt, so als bekannteste die Moränen und Gletscherspalten, lernte auch der Flachländer durch den Alpinismus kennen. Merkwürdiger erscheinen dem Gletscherwanderer die seltener vorkommenden Gletschermühlen, deren Entstehung und Wirksamkeit ihm nicht ohne weiteres verständlich sind. In der Schweiz hört man das Wort „Gletschermühle“ häufiger als anderwärts, weil im Gletschergarten von Luzern ein Ort besteht, an dem jedermann Gelegenheit hat, Relikte großer Gletschermühlen zu sehen, ohne auf Berge steigen zu müssen (Abb. 1, 3 und 4).

Als Ende der siebziger Jahre des vorangegangenen Jahrhunderts auf einem Landgut in der Nähe Luzerns Häuser gebaut werden sollten, kamen bei den Vorarbeiten unter Moränenschutt Sandsteinfelsen zum Vorschein mit deutlichem Gletscherschliff und — eingesenkt in den Rücken dieser Molassefelsen — runde, tiefe Gruben mit spiralig gescheuerten Wänden und mit runden Steinen aus härterem Material auf dem Grunde. Der herbeigerufene Geologe, Professor Albert Heim, erklärte diese Vorkommen als Zeugen der diluvialen Eiszeit. Der Reußgletscher, der noch bei der letzten großen, der „Würmvereisung“ weit nördlich über Luzern hinausreichte, hat sie geschaffen und bei seinem Rückzug mit Moräne überdeckt. Es bleibt ein hohes Verdienst der Besitzerin des Landgutes, der Familie Amrein, daß sie auf das Bau-