Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 140 (1960)

Artikel: Mensch und Weltall

Autor: Waldmeier, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90528

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

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

Mensch und Weltall

M. Waldmeier, Zürich

Wende dich, du kleiner Stern,
Erde! wo ich lebe,
Daß mein Aug', der Sonne fern,
Sternenwärts sich hebe!

Mit diesen Worten Gottfried Kellers wollen wir, meine sehr verehrten Zuhörer, den Blick wegwenden von allem Irdischen, hinaus und hinauf in die unendliche Welt der sich ewig weitenden Horizonte. Am Tage sehen wir die Erde, nachts die Welt. Wir fragen, was denkende Menschen seit Jahrtausenden getan haben: Was sind wir, wo stehen wir in dieser riesigen Welt, in der wir leben?

In fast unübersehbarer Weise ist der Mensch mit der Natur, in welche er hineingestellt ist, verbunden. Ein nicht geringer Teil naturwissenschaftlichen Bemühens gilt der Abstraktion, der Eliminierung menschlichen Einblicks und Eingriffes in die Natur. Wir möchten sie sehen, wie sie an sich ist, ohne den Menschen, wie sie ein vollkommener Geist, der sie umwebt, erkennen würde. In keiner Wissenschaft ist die Trennung zwischen dem beobachtenden Menschen und dem untersuchten Objekt eine so vollständige wie in der Astronomie. Selbst wenn es in den nächsten Jahren und Jahrzehnten gelingen wird, unsere allernächste Umgebung, den Mond und einige Planeten zu erreichen, so sähen wir uns auf unserer winzigen Welteninsel, dem Sonnensystem, noch durch eine unübersteigbare Schranke von dem überwältigend großen Kosmos getrennt. Hier versagt sich dem Menschen die Forschung durch Eingriff und Experiment, und nur die passive Beobachtung verbleibt ihm, ohne die subtilste Berührung mit dem Gegenstand seiner Forschung. Hier nähert sich menschliche Erkenntnis jenem vollkommenen Geist, der berührungslos und unfaßbar, begreifend, betrachtend und verstehend das ganze Weltall erfüllt.

Die Entwicklung des astronomischen Weltbildes ist das Abbild der Entwicklung des menschlichen Geistes. Das Weltbild des Altertums war dasjenige der unmittelbaren sinnlichen Wahrnehmung. Die Erde erschien als flache, runde Scheibe, rings umspült von den Fluten des Ozeans. Über ihr wölbte sich das Firmament, unter sich barg sie den Hades. Im täglichen Umschwung tauchten Sonne und Mond, Sterne und Planeten im Westen in den Ozean hinab und stiegen im Osten wieder aus

ihm empor. Stufe um Stufe wandelte sich dieses Bild. Bei Seefahrten nach dem Süden versanken die bekannten Sternbilder am nördlichen Horizont, und neue, nie geschaute stiegen über den südlichen empor. Diese Beobachtung führte schon um 500 v. Chr. zu der Vorstellung einer kugelförmigen Erde, für die Eudoxos von Knidos und Archytas von Tarent um 350 v. Chr. den Umfang zu 54 000 km berechnet haben. Damit war dem Himmelsgewölbe, welches auf dem Ozean ruhte, die materielle Stütze entzogen. An seine Stelle trat die volle, die Erde ganz umschließende Himmelskugel. Sie war der Träger der Sterne und ihre Umdrehung führte die Gestirne täglich über das Firmament. Da aber nur die Sterne eine gemeinsame Bewegung besitzen, Sonne, Mond und die fünf Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn zusätzliche eigene Bewegungen aufweisen, waren acht ineinandergeschachtelte Himmelskugeln notwendig, die man sich als vollständig durchsichtige, kristallene Sphären vorstellte, nämlich sieben für die bewegten Objekte und eine, die äußerste als Träger der Sterne, die man deshalb als Fixsterne bezeichnete, im Gegensatz zu den Wandelsternen, den Planeten.

Die Wandlung des astronomischen Weltbildes blieb so lange im Fluß, als immer neuere und exaktere Beobachtungen der Bewegungen der Gestirne dazu drängten. Sonne und Mond bewegen sich zwar stets in der selben Richtung, aber mit veränderlicher Geschwindigkeit. Diese Ungleichheit hätte noch durch eine exzentrische Stellung der solaren und lunaren Sphäre zur Erde erklärt werden können. Die Planeten aber bewegen sich nicht nur nicht gleichförmig, sondern stehen gelegentlich still und bewegen sich zeitweilig sogar rückläufig. Angesichts dieser Kompliziertheit mußten die übrigens völlig überflüssigen Sphären fallen gelassen werden; nunmehr bewegten sich Sonne, Mond und Planeten als kugelförmige Himmelskörper frei im Raum, Sonne und Mond auf exzentrischen Kreisen um die Erde, die Planeten auf Kreisen, deren Mittelpunkt sich seinerseits um die Erde drehte. Diese auf das zweite vorchristliche Jahrhundert zurückgehende Epizykeltheorie erreichte um 150 n. Chr. in dem «Almagest» des Ptolemäus eine für lange Zeit abschließende Darstellung. Geblieben war die das Universum begrenzende Sphäre der Fixsterne und die zentrale Stellung der Erde im Kosmos. Zwar wurde durch Philolaos der tägliche Umschwung der Fixsternsphäre von Ost nach West als eine Rotation der Erde in der entgegengesetzten Richtung gedeutet, aber die Stellung der Erde als Mittelpunkt blieb unangetastet. Am weitesten in der Rationalisierung des Weltbildes ging im dritten vorchristlichen Jahrhundert Aristarch von Samos, der lehrte, daß die Erde trotz ihrer unvorstellbaren Größe – sind doch ihre Gebirge nur wie Staub auf einem Ball – doch nur ein Pünktchen ist im Verhältnis zum Weltall, was er durch die Beobachtung bewies, daß stets gerade die Hälfte des Tierkreises über dem Horizont liegt. Archimedes berichtet weiter in einem Brief an Gelon, den Sohn Hieros II. von Syrakus, über die Vorstellung des Aristarch, «daß die Fixsterne und die Sonne unbeweglich seien, die Erde sich um die Sonne, die in der Mitte der Erdbahn liege, in einem Kreis bewege», und Plutarch spricht von dem Samier

Aristarch als dem Manne, der «um die Himmelserscheinungen richtig zu stellen, den Himmel stillstehen, die Erde dagegen sich in einem schiefen Kreis fortwälzen und zugleich um ihre Achse drehen ließ». So weit Aristarch zu folgen, vermochten damals nur wenige. Die Zeit für das heliozentrische Weltbild war nicht reif; noch vor 350 Jahren wurden Menschen verfolgt, die lehrten, die komplizierten Planetenbewegungen seien nur vorgetäuscht durch die eigene Bewegung der Erde.

Die Ablehnung des heliozentrischen Weltbildes bei Aristarch war im Grunde dieselbe wie 1800 Jahre später bei Kopernikus. Nicht daß die Zeitgenossen diese Lehre nicht hätten verstehen können, die *wollten* sie nicht verstehen. Dies war der erste große Zusammenstoß des Rationalismus mit der Philosophie, oder, wie wir heute sagen würden, mit der Ideologie. Obgleich weit mehr als die andern Philosophien die griechische von rationalem Denken durchsetzt war, blieb doch nach Protagoras der Mensch das Maß aller Dinge, er und mit ihm die Erde das Zentrum der Welt. Wie ganz anders hätte die Entwicklung des Abendlandes verlaufen können, wäre nicht in dieser ersten Auseinandersetzung die Vernunft der Ideologie unterlegen!

Bald breitete sich das Christentum über das Abendland aus. Von der christlichen Heilslehre wurde die Menschheit erfaßt, und der Ort, an dem Gott sein Erlösungswerk vollbrachte, das größte Ereignis der Weltgeschichte, diese Erde konnte nur der Mittelpunkt der Welt sein. So entstand auf der Grundlage des Aristotelisch-Ptolemäischen Weltsystems im Mittelalter besonders durch Thomas von Aquin eine geschlossene Einheit zwischen kirchlicher Lehre und astronomischem Weltbild. Jedes Aufleben der Auseinandersetzung zwischen Rationalismus und Ideologie mußte diese Einheit zerstören. In zwei Punkten war die kirchliche Lehre empfindlich: wenn die Endlichkeit der Welt in Raum und Zeit oder wenn die Erde als ruhendes Zentrum angezweifelt wurde. Giordano Bruno, der die Unendlichkeit der Welt verkündete, mußte 1600 den Scheiterhaufen besteigen, und Galilei wurde durch sein Bekenntnis zur Kopernikanischen Lehre 1633 vom Tribunal der Inquisition verurteilt.

Jetzt aber war die Zeit reif, und Galilei selber besaß mehr als nur die eine Waffe des heliozentrischen Systems, mit denen er das Aristotelische Weltbild tödlich traf. Dem Bewegungsgesetz des Aristoteles, «jedes Ding sucht seinen Ort», setzte er seine Fallgesetze entgegen, der Idee von der Unveränderlichkeit des Sternenhimmels seine Entdeckung eines neuen Sternes, der Vorstellung von der Makellosigkeit der Sonne seine Entdeckung der Sonnenflecken, und seine Entdeckung der Jupitermonde nahm unserem Wohnsitz den bis dahin privilegierten Besitz eines Trabanten und erhärtete damit die Vorstellung von der Erde als einem Planeten unter Planeten.

Es wäre naheliegend, aber ein Irrtum, sich vorzustellen, die kirchliche Reformation hätte mit der Reformation des Weltbildes sympathisiert. Luther selbst schrieb über Kopernikus, wie sehr er auch die Astronomie umgestürzt haben mag: «Tamen ego credo sacrae scripturae,

nam Josua iussit solem stare et non terram»[1], und der bedeutendste Wegbereiter der Kopernikanischen Lehre, der Protestant Kepler, von der theologischen Fakultät in Tübingen verfolgt, fand Zuflucht bei den Jesuiten.

Das heliozentrische Weltbild hatte naturwissenschaftlich eine großartige neue Erkenntnis gebracht, philosophisch aber durch den Zusammenbruch der Aristotelischen Weltanschauung ein Vakuum geschaffen; dieses Vakuum wog im Inquisitionstribunal schwerer als das neue Weltbild, der Verlust der Einheit weit mehr als der Gewinn einer naturwissenschaftlichen Erkenntnis.

Die Kopernikanische Lehre war zunächst nur eine neue, allerdings einfachere und rationellere Darstellung der Planetenbewegungen als das Ptolemäische System sie gab. In der Vorrede zu seiner Schrift «De Revolutionibus» stellte Kopernikus beschwichtigend seine Lehre als eine solche neue Denkmöglichkeit vor, um Gefahren, die er kommen sah, zu begegnen und widmete überdies sein Werk dem damaligen Papst Paul III. Für Kopernikus aber war seine Lehre – darüber kann kein Zweifel bestehen – nicht bloß eine Denkmöglichkeit, sondern ganz einfach: die Wahrheit. Aber den Beweis für diese von ihm erschaute Wahrheit vermochte Kopernikus nicht zu erbringen, und darin bestand das Vakuum, in welchem sich hundert Jahre lang Vernunft und Ideologie bekämpften. Wir würden heute sagen, die Kopernikanische Lehre war damals eine Hypothese, noch keine Theorie.

Noch war manches vom Aristotelischen Weltbild übernommen worden, von dem das heliozentrische erst befreit werden mußte, so die Vorstellung der endlichen, das Universum abschließenden Fixsternsphäre und diejenige der kreisförmigen Planetenbahnen. Der Ausbau der Kopernikanischen Lehre zu einer vollendeten Theorie war ein langwieriges und bei den heftigen Angriffen der Ideologie ein gefährliches, ja lebensgefährliches Unternehmen, aber auch eines der glänzendsten Kapitel der menschlichen Geistesgeschichte. Er führte über die exakten Untersuchungen der Planetenbewegungen durch Tycho Brahe, über die Entdeckung der geometrischen und kinematischen Gesetze der Planetenbewegungen durch Johannes Kepler, über die Begründung der Mechanik durch Galileo Galilei, im Jahre 1687 zu der großartigen Synthese der Gravitationstheorie durch Isaac Newton. Nun war mit einem Schlage alles klar: Die Planeten fallen nicht vom Himmel und bewegen sich nicht willkürlich oder zufällig auf scheinbar so komplizierten Schleifen über das Firmament, sie *müssen* sich so bewegen und können nicht anders. Das durch die Kopernikanische Lehre geschaffene Vakuum war ausgefüllt durch eine der schönsten und vollkommensten Theorien. Newtons Grabplatte in der Westminster-Abtei trägt die Inschrift: «Sibi gratulentur mortales tale tantumque exstitisse humanis generis decus» (mögen sich die Sterblichen rühmen, daß eine solche, eine so große Zierde des menschlichen Geschlechtes erstanden ist).

[1] Hätte nicht die Sonne sich bewegt, sondern die Erde, so hätte er dieser befehlen müssen, stille zu stehen.

Nach diesem Sieg des Rationalismus, der sich in den folgenden zwei Jahrhunderten zu einem der glänzendsten weiterentwickelt hat, so sollte man meinen, hätte die Ideologie als Methode der Naturerforschung ausgespielt. Sie lebt aber als geistige Untergrundbewegung weiter, jederzeit bereit, wieder an die Oberfläche zu steigen. Wir erlebten die Ächtung der Relativitätstheorie, in einem Lande, weil sie nicht arische Physik war, in einem andern, weil sie der materialistischen Ideologie zu widersprechen schien. Ungestraft läßt die Wahrheit sich nicht unterdrücken; realistisch genug, wird auch in der Sowjetunion die Atomphysik auf relativistischer Grundlage betrieben, und Lyssenko hat der russischen Biologie weniger geschadet als der amerikanischen Raketenentwicklung. Der ideologisch ausgerichtete Staat reagiert aber empfindlich, wenn die Wissenschaft aus der Zweckbestimmung, die ihr dieser Staat auferlegt und durch intensive Unterstützung erkauft, heraustritt und weltanschauliche Fragen tangiert. Die letzten dreißig Jahre haben unseren astronomischen Horizont mehr geweitet als Jahrtausende zuvor. Die großen amerikanischen Teleskope haben den Kosmos geöffnet, räumlich bis fast an die Grenzen der beobachtbaren Welt, zeitlich zurück bis fast zu dem Moment ihrer Entstehung. Gleichzeitig hat die Relativitätstheorie zum erstenmal ein Rüstzeug geliefert, das tauglich war, das Universum als ganzes zu behandeln. Dieses Zusammentreffen hat die kosmologische Forschung im allgemeinen in höchstem Maße angeregt, in einem Land aber, ironischerweise gerade in dem, welches den richtungsweisenden Vorsprung der materialistischen Kosmologie besaß, völlig verkümmern lassen. Der Bann, der auf Übersetzungen westlicher kosmologischer Bücher lag, war den sowjetischen Astronomen eine deutliche Warnung, das heiße Gebiet der Kosmologie zu meiden. Heute sehen wir die ideologischen Schranken, soweit sie die Wissenschaft betreffen, in schnellem Schwinden. Thesen, die jahrzehntelang unangetastet und unantastbar waren, kann der Realismus, dessen sich der Kommunismus stets gerühmt hat, schnellstens in Vergessenheit versinken lassen, wenn sie ihren Dienst nicht mehr erfüllen.

Das Sonnensystem, mit dem sich die Astronomie des 16. und 17. Jahrhunderts beschäftigte, ist nur ein winziger Teil des ganzen Universums. Das riesige Heer der Sterne stand wie zu Kopernikus' Zeit irgendwo weit draußen im Raum, ungeordnet und ohne Beziehung zum Sonnensystem. Dieses selber war isoliert und unbekannt seine Stellung in der größeren Welt. Zufolge der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne müssen die Sterne in jahreszeitlich veränderlicher Richtung erscheinen. Diese Richtungsänderung, die Parallaxe, ist um so kleiner, je weiter das Objekt von uns entfernt ist. Jeder neue Versuch der Bestimmung von Parallaxen war ein neuer Mißerfolg; immer nur ließ sich eine obere Grenze für die Parallaxe bzw. eine untere Grenze für die Sterndistanz angeben. Erst im letzten Jahrhundert gelangen die ersten Bestimmungen von Sternentfernungen. Selbst die nächsten Sterne haben eine so ungeheure Entfernung, daß ihr Licht, welches mit der Geschwindigkeit von 300 000 km/s den Raum durcheilt, mehrere Jahre unterwegs ist, ehe es

die Erde erreicht. Wenn die Sterne auch aus so großen Entfernungen noch als Lichtpünktchen zu sehen sind, müssen sie von gewaltiger Leuchtkraft sein und würden, falls sie so nahe wären wie die Sonne, jeder von ihnen ebenso hell erscheinen wie diese. Damit war schlagartig eine alte Vermutung zur Gewißheit geworden: Jeder Stern – und allein unser eigenes Sternsystem besitzt deren rund hundert Milliarden – ist eine Sonne ähnlich der unsrigen: unsere Sonne ist nur ein Stern unter Sternen. Mit dieser Entthronung der Sonne geriet auch die Kopernikanische Vorstellung von ihrer zentralen Stellung ins Wanken. Allerdings waren noch zu Beginn unseres Jahrhunderts keine Beobachtungen bekannt, welche die Ansicht, die Sonne sei das Zentrum unseres Sternsystems und der ganzen, damals bekannten Welt, hätten umstoßen können. Im Gegenteil, alle die Großstruktur des Universums betreffenden, damals allerdings noch wenig zahlreichen Beobachtungen schienen die zentrale Stellung der Sonne nur zu festigen: Der Rand unseres Sternsystems, den wir als das schimmernde Band der Milchstraße sehen, ist am Himmel ein Großkreis, unser Standort somit in der Symmetrieebene unserer Sternenlinse gelegen; die Milchstraße, im einzelnen zwar von unregelmäßiger Struktur, erscheint in jeder Richtung etwa in derselben Entfernung, unser Standort somit in ihrem Zentrum; die ersten stellarstatistischen Untersuchungen über die räumliche Verteilung der Sterne erbrachten das überraschende Resultat, daß die Sterndichte von uns aus in jeder Richtung abnimmt, und wiesen damit erneut unserer Gegend als einer mit maximaler Sterndichte eine zentrale Stellung zu; schließlich schien die zur Milchstraße symmetrische Verteilung der übrigen Sternsysteme die Vorstellung der zentralen Lage der Sonne nur zu bekräftigen.

Seit 1920 hat sich dieses Bild in ungeahnter Weise verändert und erweitert. Die trigonometrische Entfernungsbestimmung war bei etwa 300 Lichtjahren erschöpft, und man mußte feststellen, daß damit nur ein sehr kleiner Teil unseres Milchstraßensystems erfaßt worden war, nur unsere allernächste Umgebung. Astrophysikalische Methoden überwanden diese Grenze sprunghaft und erlaubten eine Vermessung des Raumes bis zu 1000, 10 000 und schließlich bis zu 100 000 Lichtjahren. Diese Methoden beruhen auf der spektroskopischen Untersuchung des Sternlichtes. Das Aussehen des Spektrums, sein Bestand an Absorptionslinien und deren Intensitäten verraten die Leuchtkraft des Sterns, sozusagen seine Wattstärke. Der Unterschied zwischen der riesigen Ausstrahlung des Sternes, gemessen durch die sogenannte absolute Helligkeit, und der winzigen Strahlungsmenge, die wir von ihm empfangen, gemessen durch die sogenannte scheinbare Helligkeit, ist durch die Verdünnung der Strahlung bedingt, die mit dem Quadrat der Entfernung zunimmt. Die unmittelbar meßbare scheinbare Helligkeit liefert bei bekannter absoluter Helligkeit die Entfernung. Nicht nur das Spektrum verrät die Leuchtkraft des Sternes, auch schon seine Farbe und bei veränderlichen Sternen auch die Periode des Lichtwechsels. Diese neuen Methoden waren tragfähig genug, unser ganzes Sternsystem bis zu

seinen Grenzen zu durchloten. Die Aufgabe, von jedem Stern seine Entfernung und damit seine räumliche Lage zu bestimmen, hätte die Leistungsfähigkeit aller Sternwarten weit überschritten. Die Gesamtheitsbetrachtung mußte sich auf Stichproben stützen, welche an markanten Sterngruppen, Sternhaufen, Sternfeldern, Sternwolken oder an besonders leuchtkräftigen Einzelsternen erhoben wurden. Trotz enormem Aufwand auf internationaler Basis vermochten diese stellarstatistischen Methoden die Form und Größe unseres Sternsystems nur roh, seine innere Struktur überhaupt nicht aufzuklären. Die Problematik der Methode wurde deutlich, als sich zeigte, daß das ihr zugrunde liegende 1/Abstand^2-Gesetz der Lichtschwächung nicht mehr zutrifft, sobald man über die nähere Umgebung der Sonne hinausgeht, daß vielmehr zu der geometrischen Schwächung noch eine physikalische hinzutritt, die interstellare Absorption, hervorgerufen durch Materie, Staub und Gas, welche in ungeheurer Verdünnung, höchstens einige Atome pro Kubikzentimeter, die Räume zwischen den Sternen erfüllt. Die aus dem Abstandsgesetz erhaltenen Entfernungen lassen sich, wenigstens näherungsweise, bezüglich der interstellaren Absorption korrigieren. Die Anwendbarkeit der stellarstatistischen Methode hört aber dann auf, wenn überhaupt kein Sternlicht mehr die interstellare Materie zu durchdringen vermag. Der Kern unseres Sternsystems bleibt uns unsichtbar, weil er hinter dichten Wolken von Sternen und interstellarer Materie verborgen ist. Das große Hindernis, welches die interstellare Absorption der strukturellen Aufklärung unseres Sternsystems entgegenstellte, konnte in den letzten Jahren in ganz unerwarteter und zugleich vollkommener Weise überwunden werden. Paradoxerweise war es die interstellare Materie selbst, welche diesen bedeutenden Fortschritt ermöglicht hat.

Sterne und interstellare Materie stehen in einem gewissen Zusammenhang, indem jene durch Kondensation aus dieser entstanden sind und heute noch entstehen. Die alten Sterne haben sich in ihrem nach Milliarden von Jahren zählenden Leben weit von ihrem Geburtsort entfernt; die jungen Sterne aber – und das sind die sehr hellen und heißen – finden sich noch ungefähr in dem Gebiet, in welchem sie einst entstanden waren. Diese heißen Sterne zeigen somit etwa dieselbe räumliche Verteilung wie die interstellare Materie. Die Untersuchung der Struktur unseres Sternsystems im großen, bei der uns einzelne Sterne ohnehin nicht interessieren, kann sich deshalb statt auf die Sterne ebensogut auf die interstellare Materie stützen. Das interstellare Gas besteht vorwiegend aus Wasserstoff, und die übrigen in ihm noch vorhandenen Gase — außer Helium — spielen nur die Rolle von spurenhaften Verunreinigungen. Dieses Wasserstoffgas, das in den weiten Räumen zwischen den Sternen eine Temperatur besitzt, die nur einige zehn Grad über dem absoluten Nullpunkt liegt, macht sich in dem dem Astronomen zugänglichen optischen Bereich überhaupt nicht bemerkbar. Es ist vollständig durchsichtig, weder kann es Licht absorbieren, noch emittieren und entzieht sich dem optischen Nachweis gänzlich. Im sehr kurzwelligen Ultraviolett dagegen, bei der Wellenlänge 1216 Å absorbiert der kalte Wasserstoff außerordent-

lich stark. Diese Strahlung ist aber vom Erdboden aus nicht beobachtbar; hingegen haben Spektrographen, welche mit Raketen über die Atmosphäre hinausgetragen wurden, durch diese ultraviolette Absorption bereits die wenigen Wasserstoffatome, welche sich auf der kurzen Strecke zwischen Erde und Sonne befinden, nachweisen können. Die Raumfahrt ist die astronomische Methode der Zukunft; schon ihre bescheidenen Anfänge haben zu so großartigen Entdeckungen wie den Strahlengürteln um die Erde, den solaren Röntgenstrahlen oder der ultravioletten Strahlung des Nachthimmels geführt. Der kalte interstellare Wasserstoff emittiert aber auch sehr lange Wellen, welche die Atmosphäre ungehindert durchdringen und vom Erdboden aus erforschbar sind. Diese Wasserstoffemission liegt bei 21 cm, im Gebiet der ultrakurzen Radiowellen. Ein einzelnes Wasserstoffatom emittiert diese Strahlung durchschnittlich aber nur einmal in zehn Millionen Jahren. Wenn diese Strahlung trotzdem und trotz der extremen Verdünnung von nur etwa einem Wasserstoffatom pro Kubikzentimeter überhaupt nachweisbar ist, so liegt dies an der unvorstellbar großen Ausdehnung der interstellaren Räume und einer bis zum äußersten gesteigerten Empfindlichkeit der Beobachtungstechnik. Trotzdem sind die Radiosignale des kosmischen Wasserstoffs äußerst schwach, und sehr große Radioteleskope werden benötigt, sie zu untersuchen. Das größte mit 75 Metern Durchmesser befindet sich in England, ein solches von 180 Metern Durchmesser ist in den Vereinigten Staaten unter einem Kostenaufwand von etwa 500 Millionen Franken im Bau.

Für die Wasserstoffstrahlung ist ebensowenig wie die Atmosphäre die interstellare Materie ein Hindernis. Zum erstenmal konnte nun der ganze Raum unseres Sternsystems mit dem Auge des Radioteleskops überblickt und sein Kern beobachtet werden. In jeder Richtung liegen mehrere Wasserstoffwolken hintereinander, die sich im optischen Bild nicht voneinander trennen ließen. Jede Wolke besitzt aber je nach ihrer Entfernung eine verschiedene Geschwindigkeit und damit die Wasserstofflinie jeder einzelnen Wolke eine etwas verschiedene Wellenlänge. Aus der Verschiebung und der Intensität der Linie folgen Entfernung und Ausdehnung der Wolke.

Die kartographische Aufnahme dieser Wasserstoffwolken liefert in ihrer Gesamtheit ein scheibenförmiges Gebilde von rund 100 000 Lichtjahren Durchmesser, aber von nur rund 1000 Lichtjahren Dicke. Die Sonne, selbst in dieser Scheibe gelegen, befindet sich 27 000 Lichtjahre von ihrem Zentrum entfernt. Die Wasserstoffwolken sind in dieser Scheibe zu Bändern aneinandergereiht, welche sich spiralig um einen sich expandierenden Kern von rund 20 000 Lichtjahren Durchmesser legen. Damit hat die Radioastronomie in wenigen Jahren in überzeugender Weise zu einem Ergebnis geführt, das zwar schon lange vermutet und mit optischen Methoden vielfach angestrebt worden war: unser Sternsystem, das Milchstraßensystem, unsere Galaxie ist ein Spiralnebel.

Neblige Gebilde mit spiraliger Struktur waren schon im letzten Jahrhundert zu Tausenden bekannt, und die Zahl der mit den heutigen

Mitteln erfaßbaren geht in die Milliarden, aber noch vor vierzig Jahren war die Frage, ob es sich dabei um relativ kleine Objekte innerhalb unseres Sternsystems handle oder um große, aber sehr weit entfernte Sternsysteme ähnlich dem unsrigen, heiß umstritten. Endgültig wurde diese Alternative gelöst, als es 1924 gelang, wenigstens die äußeren Teile des Andromedanebels in einzelne Sterne aufzulösen. Darunter fanden sich auch veränderliche Sterne, die aus unserem Sternsystem bekannt sind und deren Lichtwechselperiode ihre absolute Helligkeit verriet. Zusammen mit der scheinbaren Helligkeit folgte die Entfernung des Andromedanebels zu rund zwei Millionen Lichtjahren. Damit hatte sich der erforschte Raum sprunghaft von 100 000 auf einige Millionen Lichtjahre geweitet. Nur bei wenigen Sternsystemen war eine Auflösung in Einzelsterne und damit eine direkte Entfernungsbestimmung möglich. Aber es zeigte sich, daß Sternsysteme von ähnlichem Aussehen auch hinsichtlich Leuchtkraft und Dimension nicht allzu sehr verschieden waren. Damit ergab schon ihre scheinbare Helligkeit oder ihr scheinbarer Durchmesser ein Maß für ihre Entfernung. Es versteht sich unter diesen Umständen, daß die Entfernungsbestimmung um so unsicherer wird, je weiter das Objekt von uns absteht.

In welcher Richtung man auch in den Raum vordrang, immer fanden sich wieder neue, noch fernere Sternsysteme. Aber in keiner Richtung nahm die Dichte der Sternsysteme systematisch zu oder ab. Wohl gibt es Gebiete, in welchen diese zu Gruppen oder Haufen zusammengedrängt sind, im großen gesehen ist aber der heute überblickbare Raum, der bis zu etwa zwei Milliarden Lichtjahren reicht, ohne Hinweis auf ein Zentrum nahezu gleichförmig mit Sternsystemen besetzt.

Parallel mit der Erforschung der räumlichen Verteilung der Sternsysteme ging diejenige ihres Bewegungszustandes. Auch dabei ergab sich aus äußerst mühsamen Untersuchungen ein unerwartet einfaches Ergebnis, jedenfalls wenn – was heute allgemein angenommen wird – die Verschiebungen der Linien in den Spektren der Sternsysteme als Doppler-Effekte zu deuten sind: alle Sternsysteme bewegen sich von uns weg mit um so höherer Geschwindigkeit, je weiter das Objekt entfernt ist. Nach einer zweitausendjährigen Entwicklung, die den Menschen und seine Erde immer weiter aus dem Mittelpunkt der Welt entrückte und schließlich zu der Erkenntnis führte, daß es einen solchen geometrischen Mittelpunkt überhaupt gar nicht gibt, sehen wir uns unvermittelt im kinematischen Mittelpunkt des Universums. Dies ist aber nur scheinbar eine Vorzugsstellung unseres Beobachtungsortes. Jeder Beobachter auf irgendeinem andern Sternsystem würde genau dasselbe Bild eines sich expandierenden Universums erhalten. Damit ist nun endgültig die Mittelpunktsvorstellung durch die Äquivalenz sämtlicher Sternsysteme im räumlichen wie im kinematischen Sinne abgelöst.

Mit diesen Vorstellungen treten wir in die aktuelle Forschung ein, die deshalb so brennend, so ganz anders ist als in früheren Perioden, weil wir glauben, daß bedeutende Entdeckungen auf kosmologischem Gebiet unmittelbar bevorstehen, Entdeckungen, die uns bis an den Rand

der zeitlichen und räumlichen Erforschbarkeit des Universums führen und uns damit erstmals Erkenntnisse über Entwicklung und Entstehung des Weltalls offenbaren werden.

Das Alter der uns umgebenden kosmischen Objekte ist erstaunlich einheitlich. Gleichgültig, ob wir das Alter der Uranatome oder der ältesten Gesteine der Erde oder der vom Himmel gefallenen Meteoriten oder der Sonne bestimmen, stets erhalten wir Werte von etwa vier bis acht Milliarden Jahren. Ein Alter von derselben Größenordnung ist auch charakteristisch für das sich expandierende Universum. Die Proportionalität zwischen Fluchtgeschwindigkeit und Entfernung besagt, daß der Quotient Entfernung: Geschwindigkeit, nämlich die Zeit, während welcher die Expansion gewirkt hat, für sämtliche Sternsysteme gleich groß ist, und zwar etwa fünfzehn, vielleicht sogar zwanzig Milliarden Jahre beträgt. Vor dieser Zeit hat die Expansion begonnen, als sämtliche Materie des Universums auf kleinstem Raum zusammengedrängt war. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß das explosionsartige Auseinanderfliegen des Universums in dem Moment begonnen hat, als die Materie in Erscheinung trat; in diesem Sinne können wir jene zwanzig Milliarden Jahre als das Alter der Welt bezeichnen.

Was ich entworfen habe, ist ein Momentbild des Universums, indem die Jahrzehnte oder selbst Jahrhunderte, in denen es aufgebaut wurde, sehr kurz sind, verglichen mit den nach Millionen oder Milliarden von Jahren zählenden Entwicklungszeiten der kosmischen Objekte. Dieses Bild ist aber veraltet, um so mehr, auf je entferntere Objekte es sich bezieht. Die nächsten Sterne sehen wir so, wie sie vor einigen Jahren ausgesehen haben, den Andromedanebel, wie er vor zwei Millionen Jahren war, die fernsten Sternsysteme aber, von denen das Licht mehrere Milliarden Jahre unterwegs war, sehen wir im Stadium ihrer frühesten Entwicklung. Sternsysteme verschiedener Entfernungen zeigen uns ihre Entwicklungsstufen zu verschiedenen Zeiten. Eine materielle Geschwindigkeit kann die Lichtgeschwindigkeit nur asymptotisch erreichen, niemals überschreiten. Ein Sternsystem, das seit der Urexplosion praktisch mit Lichtgeschwindigkeit enteilt wäre, würden wir in einer Entfernung von etwa acht Milliarden Lichtjahren sehen, so wie es vor etwa acht Milliarden Jahren ausgesehen hat. Diese Entfernung wäre die Grenze des überhaupt beobachtbaren Raumes. Mit den rund zwei Milliarden Lichtjahren, in welchen das größte Teleskop normale Sternsysteme noch zu erfassen vermag, sind wir jener Grenze schon aufregend nahe gekommen. Die kosmologischen Beobachtungen, welche wir von der nahen Zukunft erwarten, bedeuten nicht bloß eine nochmalige Weitung des astronomischen Horizontes, sondern einen Abschluß, indem dann die räumlichen und zeitlichen Informationsmöglichkeiten erschöpft sein werden.

Das größte Teleskop, der 5-Meter-Spiegel auf Mt. Palomar, vermag zwar bis nahe an jene Grenze vorzudringen, muß aber noch vor ihrer Erreichung haltmachen. Selbst ein wesentlich größeres Teleskop – wenn ein solches technisch einmal realisierbar wäre – würde an dem

Sachverhalt nichts ändern, denn schon mit dem 5-Meter-Teleskop ist die durch die irdische Atmosphäre gesetzte Beobachtungsgrenze erreicht. Erst mit einem Teleskop auf dem Mond oder einer künstlichen Raumstation wird der entscheidende Fortschritt möglich sein. Wo die optische Astronomie durch die Atmosphäre behindert wird, kann die Radioastronomie ergänzend einspringen. Die Radiowellen werden nicht nur durch den kosmischen Staub nicht behindert, sondern auch nicht durch Wolken und unsere Atmosphäre. Die kosmische Radiostrahlung fällt aus allen Richtungen, wenn auch mit sehr verschiedener Intensität, auf die Erde ein. Schon vor zehn Jahren bestand die Vermutung, daß diese Strahlung, wenigstens zum Teil von einzelnen kosmischen Objekten, die man damals hypothetischerweise Radiosterne nannte, ausgehe, die man nur deshalb nicht einzeln sehe, weil das Auflösungsvermögen der Radioteleskope zu gering sei, ähnlich wie das unbewaffnete Auge das Lichtband der Milchstraße nicht in einzelne Sterne aufzulösen vermag. Heute sind einige tausend Radiosterne oder – wie wir besser sagen würden – Radionebel bekannt. Nur eine bescheidene Zahl unter ihnen ließ sich mit längst bekannten optischen Erscheinungen identifizieren. Die überwiegende Zahl der Radiosterne steht jedoch an Stellen des Himmels, die auch auf lange belichteten Aufnahmen kein verdächtiges Objekt zeigen. Die Radiosterne sind somit Objekte, bei denen die Radioemission relativ zur optischen Strahlung ungeheuer viel größer ist als bei gewöhnlichen Sternen. Nach langem Suchen konnten einige der stärksten Radioquellen mit sehr lichtschwachen turbulenten Gasnebeln oder mit sehr schwachen, d. h. sehr entfernten Sternsystemen identifiziert werden. Selbst wenn diese Objekte so weit entfernt wären, daß sie sich dem optischen Nachweis entzögen, so wären sie radioastronomisch noch immer leicht beobachtbar. Dies führt zu der Auffassung, daß die nichtidentifizierten Radioquellen Objekte sind, zu entfernt, um sie selbst mit den größten optischen Teleskopen zu erfassen. Hier ist es die Radioastronomie, die in jüngster Zeit noch einmal den astronomischen Horizont geweitet hat. Eine dieser intensiven Radioquellen, um deren Identifikation man sich lange vergeblich bemüht hatte, steht im Sternbild Bootes. Nachdem die Radioastronomen genauere Positionsangaben machen konnten, ist vor wenigen Monaten mit dem 5-Meter-Spiegel auf Mt. Palomar die Identifikation gelungen, aber auch nur weil es sich dabei um ein weit überdurchschnittlich großes und helles Sternsystem handelt. Seine Fluchtgeschwindigkeit ergab sich zu 46% der Lichtgeschwindigkeit – weit größer als diejenige irgendeines andern Sternsystems – und damit seine Entfernung zu rund sechs Milliarden Lichtjahren. Diese Entfernung bezieht sich auf die Zeit, als das Licht, das wir heute empfangen, von ihm ausging. In den seither vergangenen sechs Milliarden Jahren hat sich das Sternsystem um weitere drei Milliarden Lichtjahre von uns entfernt und dürfte heute somit in einem Abstand von gegen neun Milliarden Lichtjahren stehen.

Wenn ich nun versuche, diese neuen Beobachtungen zu einem Bild von der Entstehung der Welt zu formen, bin ich mir dieser Herausforde-

rung bewußt; menschlicher Forscherdrang kann ihr aber nicht widerstehen. Wenn wir uns an die Irrfahrten der Erklärung der Planetenbewegungen erinnern, drängt sich die Frage auf, ob jene neuen Beobachtungen Realitäten sind, als was alle kosmologischen Theorien sie nehmen, oder nur Schein, welche Möglichkeit nicht außer acht gelassen werden sollte, worauf ich schon bei der Interpretation der Rotverschiebung als Doppler-Effekt angespielt habe. Nehmen wir sie als Realitäten, so erscheint die Struktur des Universums von unerwarteter Einfachheit: zu einem Zeitpunkt, der einige zehn Milliarden Jahre zurückliegt und den wir als die Erschaffung der Welt bezeichnen können, ist die Materie in Erscheinung getreten und hat sich seither explosionsartig expandiert. Eine ganze Reihe kosmologischer Theorien stimmen in dieser Grundhaltung überein, daß das Universum vor endlicher Zeit entstanden ist und sich bis zur unendlich fernen Zukunft zu unendlicher Größe entwickeln wird. In diesen Kosmologien hat die alte Frage, ob die Erde der Mittelpunkt sei oder, wenn nicht, was dann sonst, ihre Bedeutung verloren, indem es einen solchen Mittelpunkt gar nicht gibt, alle Raumpunkte äquivalent sind, indem, wie ich schon ausgeführt habe, von jedem Sternsystem aus sich dasselbe Bild des sich expandierenden Universums zeigt. In bezug auf die Zeit dagegen besteht keine solche Äquivalenz, indem das Universum in ständiger Entwicklung begriffen ist, kleiner war in vergangenen Zeiten als in zukünftigen. So sehr diese Entwicklungstheorien von einem theologischen Standpunkt aus annehmbar erscheinen können, kann von einem kosmologischen Standpunkt aus die ungleiche Rolle von Raum und Zeit störend empfunden werden. Wir wollen deshalb das vollständige kosmologische Prinzip formulieren, wonach das Universum im großen immer gleich aussehen soll, von welchem Standort aus und zu welcher Zeit wir es auch betrachten. Dies kann aber, da die Sternsysteme sich dauernd voneinander entfernen und damit die mittlere Dichte abnimmt, nur der Fall sein, wenn zwischen den Sternsystemen ständig neue Materie entsteht, welche die über unseren Horizont hinaus entflohenen Sternsysteme ersetzt. In dieser Vorstellung von der kontinuierlichen Entstehung der Materie gibt es weder Anfang noch Ende. Die Entstehung der Materie war nicht ein einmaliger Akt, sondern hat immer stattgefunden und wird dauernd weitergehen. Drehen wir das Rad der Zeit zurück, so erscheinen am Horizont neue Sternsysteme, die uns heute längst entflohen sind, während sich die benachbarten bei weiterer Annäherung allmählich auflösen. Expansion und kontinuierliche Entstehung der Materie kompensieren sich in der Weise, daß das Universum heute so aussieht, wie es von jeher ausgesehen hat und wie es in aller Zukunft aussehen wird.

Eine beobachtungsmäßige Entscheidung zwischen der, ich möchte sagen materialistischen Theorie der kontinuierlichen Entstehung und der Evolutionstheorie scheint schon in allernächster Zukunft möglich zu sein. Allerdings ist die jährliche Rate der Neuschöpfung von Materie im Betrage von einigen wenigen Wasserstoffatomen pro Kubikkilometer für einen Nachweis nicht geeignet, hingegen müßte die mittlere

Massendichte nach der Evolutionstheorie vor einigen Milliarden Jahren viel größer, nach der Theorie der kontinuierlichen Entstehung dagegen gleich groß gewesen sein wie heute. Jene archaischen Zustände sehen wir heute in den Sternsystemen jenseits der Entfernung von einer Milliarde Lichtjahren. Ihre Statistik wird zeigen, ob die Evolutionstheorie oder die Theorie der kontinuierlichen Erzeugung oder keine von beiden die richtige ist.

Wir haben uns weit, sehr weit von unserem Wohnsitz entfernt. Von außen kommend, hätten wir wohl Mühe, unter den Milliarden von Sternsystemen unsere Milchstraße zu finden und, wenn dies gelungen wäre, nicht weniger Mühe, in einem seiner entlegensten Winkel unter hundert Milliarden Sternen unsere Sonne aufzuspüren, um welche ein winziges Stäubchen seine Kreislein zieht. Die Vorstellung von der zentralen Stellung unseres Wohnsitzes ist gründlich und endgültig zerschlagen. Aus dieser räumlichen Bescheidung in einer toten Welt, die den ehernen Gesetzen der Physik unterworfen ist, hebt sich der menschliche Geist, erkennt, versteht und beherrscht sie. Zu den passiven Kräften der toten Natur schafft das Leben die aktiven des Willens, der Zweckbestimmung und der Selbsterhaltung. Räumlich entthront, ist geistig der Mensch noch immer das Zentrum der Welt. Man muß sich allerdings fragen, ob der Vielheit der Welten nicht auch eine Vielheit des Lebens entspreche, ob nicht unter den Milliarden von Sternen wenigstens einige dieselbe Entwicklung genommen haben wie unsere Sonne, Planeten gebildet haben, die ihrerseits die Szenerie schufen, auf der sich Leben entwickeln konnte. Diese, ich möchte wieder sagen, materialistische Vorstellung läßt sich heute weder beweisen noch widerlegen. Wir wollen wissenschaftliche Fragen nicht ideologisch beantworten, sondern durch Beobachtung und Erfahrung. Es gibt Anzeichen für eine spärliche Flora auf dem Mars, und kürzlich haben kalifornische Forscher in einem vom Himmel gefallenen Meteoriten Zytosin gefunden, einen Baustein der Nukleinsäure.

Mehr als in andern Naturwissenschaften tritt in der Astronomie, die sich mit weltfernen Dingen beschäftigt, der Sinn der Wissenschaft hervor als das Verstehen der fundamentalen Funktionen der Natur. Jede Naturwissenschaft führt zu Erkenntnissen, die für das praktische Leben nützlich und der Technologie förderlich sind. Die Technologie ihrerseits gibt der Wissenschaft das ihr unentbehrliche apparative und methodische Rüstzeug, ja der Fortschritt der Wissenschaft wird entscheidend durch die Methoden gelenkt. Wissenschaft und Technologie erscheinen so als verschiedene, untrennbar miteinander verbundene Aspekte ein und derselben Forschung. Es wäre marxistisches Denken, nur den technologischen Aspekt, die Ausnützung der Natur und ihre Unterwerfung unter die menschliche Gewalt gelten zu lassen. Die Gefahr, nur diesen Aspekt zu sehen, ist groß für den Staat, der von der Forschung größere Erträge der Landwirtschaft, neue Medikamente, neue Transportmittel, neue Energiequellen oder neue Waffen erwartet.

Vor hundert Jahren war die Forschung die Privatsache einiger Gelehrter und der Staat ein zwar nicht uninteressierter, aber vorwiegend passiver Zuschauer. Heute gehört die Pflege der wissenschaftlichen Forschung zu den vornehmlichsten Aufgaben des Staates. Die Aufgabe ist groß und wächst mit jedem Jahr. Ein Versagen des Staates vor ihr würde die Freiheit unserer Forschung aufs empfindlichste gefährden, aber auch seine eigene. Diese Freiheit ist das Privileg der wissenschaftlichen vor der technologischen Forschung. Nur kluge Vorausschau kann den Staat davor bewahren, jene beiden Aspekte zu mißachten, den materiellen Wohlstand dem geistigen überzuordnen.

Unser Staat besitzt nur *eine* Hochschule, die Eidgenössische Technische; sie aber hegt und pflegt er – wie uns bundesrätliche Redner immer wieder versichert haben – wie das einzig geliebte Kind. Wenn aber die Behörden glauben, die Forschungsprojekte dieses anspruchsvoller gewordenen Kindes nicht einmal zur Hälfte erfüllen zu können, so kann ich nur mit Besorgnis der Zukunft entgegenblicken. Schon jetzt stehen wir, mitten in der Überkonjunktur, auf manchen Gebieten hinter unentwickelten Ländern zurück und müssen uns begnügen, auf abgeernteten Feldern Ähren zu lesen. Die Förderungen, die unsere Wissenschaft erwartet, übersteigen nicht die Leistungsfähigkeit des Staates. Selbst im amerikanischen Staatshaushalt spielen die Aufwendungen für die Wissenschaft eine bescheidene Rolle und das Jahresbudget der «National Aeronautics and Space Administration», unter der die Raketen- und Satellitenprojekte laufen, beträgt nur einen Viertel der amerikanischen Auslandhilfe.

Unser Land hat mit bescheidenen Mitteln, aber nicht ohne Erfolg an der Entfaltung der Wissenschaft mitgewirkt. Wir sind eingestiegen in die Forschung, eingestiegen in die verlockende Wand, wir sind mit von der Seilschaft, in der es keinen Weg zurück gibt, nur die Alternative zwischen Untergehen und Bestehen.

Mehrfach mußte ich in meinem Vortrag neueste Methoden berühren, die Radioastronomie oder die Raumforschung mit Raketen und Satelliten, Forschungen, die eine ungewöhnlich breite Basis und einen ungeheuren Einsatz erfordern. Wir haben keine eigenen Flugzeuge gebaut, keine eigenen Panzer und werden auch keine Satelliten in den Weltraum senden. Wenn wir dieser Ohnmacht unseres Kleinstaates bewußt werden, stehen wir schon im Konflikt mit unserem Willen zur Selbstbehauptung. Man wende nicht ein, die Raumforschung berühre unser Leben nicht. Was sich heute am Himmel abspielt, kann schon morgen auf die Erde herabsteigen. Jene Selbstbehauptung schließt in sich die Selbstverantwortung; die eine existiert nicht ohne die andere. Die künstlichen Sterne, die heute über den Himmel ziehen, haben nicht nur eine Bresche geschlagen in unsere Selbstbehauptung, sie haben uns auch einen Teil der Verantwortung entzogen. Sie wieder zu gewinnen, verlangt den Verzicht auf unsere staatliche Isolation und die Integration auf der höheren Ebene einer universellen Völkergemeinschaft.

Literarische Hinweise

F. Hoyle, The Nature of the Universe, Oxford Blackwell 1950.
G. Gamow, The Creation of the Universe, New York, Viking Press 1952.
A.C.B. Lovell, The Individual and the Universe, Oxford University Press 1959.