

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 31 (1973)
Heft: 135

Artikel: Die Gebrurtsstunde des Universums
Autor: Keller, Hans-Ulrich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-899694>

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: 19.04.2026

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

Die Geburtsstunde des Universums

VON HANS-ULRICH KELLER, Bochum

Seit denkende Wesen die Oberfläche unseres Planeten bewohnen, haben sie stets ihren Blick zum gestirnten Himmel erhoben und versucht, die Gesetze des Himmels zu enträtseln. Schon immer haben die Fragen nach dem Bau des Universums, nach dem Beginn und nach dem Wohin des Weltalls Laien wie Wissenschaftler fasziniert.

Die Aussagen über die Welt als Ganzes sind zu allen Zeiten recht verschieden ausgefallen. Religiöse Elemente spielen ebenso eine bedeutende Rolle wie philosophische Spekulationen. Neben den Lehren der Philosophie und den Abhandlungen der Theologie hat sich eine naturwissenschaftliche Kosmologie entwickelt, die man zu Recht als ein Teilgebiet der Astronomie auffasst. Die Aufgabe dieser Kosmologie lautet: Mit Hilfe der theoretischen Physik soll die beobachtbare Welt erklärt werden und zusätzlich eine Deutung der Welt über den beobachtbaren Teil sowohl in räumlicher als auch in zeitlicher Hinsicht ermöglicht werden. Historisch betrachtet hat also die Kosmologie entsprechend dem Umfang der jeweils beobachtbaren Welt zu verschiedenen Zeiten verschiedene Aufgaben besessen. Bei den alten Griechen ging die Welt bis an die Sphaira der Fixsterne, die sie immerhin in zwei Lichtjahren Entfernung annahmen. Als einer der ersten vermutete der Jesuitenabt GIORDANO BRUNO, dass das Weltall unendlich gross sei. Diese Ansicht brachte ihm eine Verurteilung durch das Inquisitionsgericht und er büsste seine leichtfertige spekulative Behauptung durch den Tod am Scheiterhaufen im Jahre 1600.

Um überhaupt in der Kosmologie erkennbare Fortschritte zu erzielen und zu gesicherten Ergebnissen zu kommen, sind bei allen Untersuchungen einige Bedingungen zu erfüllen:

Erstens dürfen nur gesicherte physikalische Erkenntnisse verwendet werden, und keine Theorie oder kein Modell darf mit den Beobachtungsergebnissen in Widerspruch stehen. Damit fallen von selbst alle Phantastereien wie Hohlwelttheorie, Weltelehre und ähnliches weg. – Zweitens ist anzunehmen, dass alle physikalischen Gesetze im gesamten beobachtbaren Weltall ihre Gültigkeit beibehalten; «zusätzliche», eigens für ein kosmologisches Modell konstruierte Gesetze, die sonst unbekannt sind, dürfen nicht verwendet werden. Das ist leicht einzusehen, denn ohne diese zweite Bedingung wäre jede Kosmologie eine Angelegenheit reiner Spekulation.

Aufgabe der Kosmologie ist es, an Hand des astronomischen Beobachtungsmaterials mit Hilfe der theoretischen Physik die Raum- und Zeitstruktur des Universums zu beschreiben. Hieraus ergeben sich sofort folgende Fragen und Probleme: Ist die Welt endlich oder unendlich? Gab es einen «Weltanfang» und wird es ein «Weltende» geben? Wird dauernd neue

Materie aus dem Nichts produziert? Diese Fragen sind bis heute naturwissenschaftlich nicht zu beantworten, und es ist durchaus nicht sicher, ob sie jemals zur Gänze zu beantworten sein werden. Trotzdem muss man feststellen, dass schon Erstaunliches geleistet wurde, um die hier erwähnten Probleme einer befriedigenden Lösung zuzuführen. Die Ansicht von GIORDANO BRUNO und anderen, dass die räumliche Ausdehnung des Universums unbegrenzt sei, stiess bald auf ernste physikalische Schwierigkeiten. Wie W. OLBERS¹⁾ bemerkt, müsste bei gleicher räumlicher Dichteverteilung der Sterne im All der Himmel strahlend hell erscheinen, da auf jedes beliebige Flächenelement der Himmelskugel unendlich viele Sterne kommen. Die Sphäre müsste dann als Schwarzer Strahler mit einer effektiven Temperatur von schätzungsweise fünftausend Grad Kelvin leuchten. Diese Überlegung, die unter dem Namen «Olbers-Paradoxon» in die Literatur einging, gilt nur für einen absorptionsfreien Weltraum, der, wie wir heute wissen, nicht gegeben ist.

Ein weiterer, viel schwerwiegenderer Einwand gegen ein räumlich unendliches All ergibt sich aus dem NEWTONSchen Gravitationsgesetz. Dachte man früher, die Erde stünde im Mittelpunkt der Welt und der Mensch sei das Mass aller Dinge, so stellte sich bald nach N. KOPERNIKUS heraus, dass die Sonne nur als Stern unter Sternen irgendwo in den äusseren Partien des Milliardenheeres der Milchstrasse steht. So formulierte man das Homogenitätspostulat, das fordert, dass das Universum von allen Punkten aus – von lokalen Inhomogenitäten abgesehen – den gleichen Anblick bieten soll. Das heisst, dass die mittlere Dichte des Weltsubstrats überall den gleichen Wert haben soll. Daraus folgt die Mittelpunktlosigkeit des Kosmos. In diesem Falle lässt sich das Gravitationsgesetz NEWTONS in Form der POISSONSchen Gleichung schreiben: $\Delta\Phi = 4\pi F\rho$, wobei Δ den LAPLACE-Operator, Φ das Gravitationspotential, ρ die mittlere Dichte der Materie, verteilt über den intergalaktischen Raum und F die Gravitationskonstante ($F = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^{-3} \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-2}$) bedeuten.

Aus der POISSONSchen Gleichung folgt, dass das Universum nicht stabil sein kann. Es muss entweder kontrahieren oder expandieren. Um diesem Dilemma zu entgehen, hat A. EINSTEIN zu Anfang unseres Jahrhunderts vorgeschlagen, die POISSONSche Gleichung durch Einführen eines Zusatzgliedes so abzuändern, dass eine stabile Welt existieren kann. Das so erweiterte Gravitationsgesetz schreibt sich nun $\Delta\Phi = 4\pi F\rho - \lambda(t)$. Das λ -Glied stellt eine Funktion der Zeit dar und entspricht einer zusätzlichen Beschleunigung, die dem Weltradius proportional ist. So bedeutet $\lambda(t) > 0$ eine zusätzliche, abstossende Kraft, die etwa einer Urexplosion entsprechen könnte²⁾.

P. A. DIRAC³⁾ dagegen hat vorgeschlagen, die Gravitationskonstante selbst als skalare Feldfunktion der Zeit anzusehen und zunächst eine säkulare Abnahme mit $1/t$ vorgeschlagen. Beide Annahmen wurden nur getroffen, um einen stabilen Kosmos «zurechtzuzimmern».

In den Zwanziger-Jahren unseres Jahrhunderts erhielt die Kosmologie durch die beobachtende Astronomie einen entscheidenden Impuls. Beobachtungen am HOOKER-Reflektor des Mt. Wilson-Observatoriums durch E. HUBBLE und M. L. HUMASON liessen erkennen, dass die spektrale Rotverschiebung der Galaxien mit deren Entfernung korreliert. HUBBLE und HUMASON nahmen zunächst eine lineare Beziehung an, was wegen der begrenzten Beobachtungsgenauigkeit auch geboten war. Dabei ist es bis heute geblieben, wenn auch die strenge Linearität höchstwahrscheinlich nicht stimmen kann^{4), 5), 6)}.

Nach den heutigen physikalischen Kenntnissen lässt sich die Rotverschiebung der extragalaktischen Systeme nur nach dem DOPPLER-Prinzip deuten, wonach eine Fluchtbewegung dieser Systeme anzunehmen ist. Die Welt expandiert also, wobei die Expansionsrate durch die Konstante $H = \dot{r}/r$ (\dot{r} -Ableitung nach der Zeit) im HUBBLE-HUMASON-Gesetz angegeben wird. E. HUBBLE gibt H noch mit $580 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ an, was fast zehnmal so gross ist, wie der modernste Wert. Der reziproke Wert $1/H$ gibt das Weltalter an unter eben der Voraussetzung, dass die Expansion linear ist.

Durch diese Beobachtungstatsachen sind im Grunde genommen die Einführung des λ -Gliedes durch EINSTEIN und die DIRACsche Forderung überflüssig. Das Universum expandiert und ist nicht stabil. Das klassische Gravitationsgesetz reicht in diesem Falle.

Wenn das Weltall expandiert, so muss es früher kleiner gewesen sein. Der Gedanke einer Urexplosion drängt sich auf. Die Urexplosion stellt allerdings keine Denknöwendigkeit der HUBBLE-HUMASON-Beziehung dar. Hier zeigt sich der Vorteil des EINSTEINschen λ -Gliedes: Durch Variieren desselben erhält man eine Reihe von Weltmodellen, zum Beispiel oszillierende oder ständig expandierende Universen. Eine Entscheidung zwischen den Modellen wäre nur durch die Beobachtung der Nichtlinearität der HUBBLE-HUMASON-Beziehung und auch dann nicht in allen Fällen möglich.

Die verschiedenen Modelle, die versuchen die Struktur des Universums mit Hilfe der Gesetze der klassischen Mechanik unter Zuhilfenahme des Homogenitätspostulates zu beschreiben, werden unter der Bezeichnung NEWTONsche Kosmologie zusammengefasst.

Unter der relativistischen Kosmologie versteht man die Summe der Weltmodelle, die die allgemeine Relativitätstheorie von A. EINSTEIN zur Grundlage haben. Die allgemeine Relativitätstheorie fordert bekanntlich die Äquivalenz von Trägheits- und Gravitationswirkungen. Die Raumgeometrie wird durch

die Verteilung der Materie determiniert. Gravitationswirkungen lassen sich durch die Metrik des Raumes erklären, der bei Anwesenheit von Materie den Charakter der EUKLIDischen Geometrie verliert. Die Bewegungen von Körpern unter dem Einfluss von Gravitationsfeldern sollen in der entsprechenden Metrik des Raumes geodätischen Linien folgen, wobei das erste NEWTONsche Axiom gilt. Auch in der relativistischen Kosmologie wird das Homogenitätsprinzip als Eckpfeiler der Theorie angesehen, vor allem, um eine endliche Anzahl von Lösungen zu garantieren. Der mit Masse erfüllte Raum lässt sich durch die RIEMANNsche Metrik beschreiben, bei der für das Linienelement ds die bekannte Beziehung

$$\text{gilt: } ds^2 = \sum_{i,k=1}^4 g_{ik} dx^i dx^k.$$

Setzt man die Kenntnis der mittleren Dichte ρ des Weltsubstrats voraus, so lassen sich Radius R und Gesamtmasse M des EINSTEINschen Universums angeben: $R = c(4\pi F\rho)^{-1/2}$ und $M = c^2 R\pi/2F$. Häufig wird für $\rho \approx 10^{-29} \text{ g cm}^{-3}$ angegeben, was zu einem Weltradius von $R \approx 10^{28} \text{ cm} \hat{=} 10^{10}$ Lichtjahren und einer Weltmasse $M = 10^{56} \text{ g}$ führt⁷⁾.

Nach Bekanntwerden des HUBBLE-HUMASON-Gesetzes liessen sich eine Reihe von nichtstatischen Weltmodellen konstruieren, die mit den Beobachtungen nicht im Widerspruch standen. Unter anderem haben A. FRIEDMANN⁸⁾ und G. LEMAITRE⁹⁾ solche Lösungen angegeben. Oszillierende, hyperbolisch, parabolisch und elliptisch expandierende Modelle tauchten schliesslich in bunter Reihe auf. Eine Entscheidung liess sich wegen der beschränkten Beobachtungsgenauigkeit der HUBBLE-Konstante bzw. der Linearität der Expansion nicht fällen.

Das Weltalter ergab sich aus der ursprünglichen HUBBLE-Konstante zu nicht einmal zwei Milliarden Jahren, was in krassem Gegensatz zum Alter vieler Sterne steht. Das Alter des Universums muss aber mindestens so gross sein wie die ältesten in ihm vorhandenen Objekte. Schon aus diesem Grunde erschien eine Linearität der Expansion nicht in Frage zu kommen.

Eine sehr originelle Lösung dieses Dilemmas schlugen Anfang der Fünfziger-Jahre H. BONDI und T. GOLD^{10), 11)} vor. Ihre Ansichten wurden unter dem Namen Steady-State-Theorie bekannt. Sie wurde von F. HOYLE¹²⁾ variiert und ergänzt. Diese Theorie sieht die Erweiterung des Kosmologischen Prinzips auf den Zeitbereich vor. Nicht nur rein räumlich soll das Universum stets den gleichen Anblick bieten, sondern das Aussehen des Weltalls soll sich auch im Verlauf der Zeit im grossen nicht ändern. Die Expansion wird auch hier als Realität angenommen und thermodynamisch zu begründen versucht aus der Tatsache, dass im All kein thermodynamisches Gleichgewicht herrscht. Trotz der Expansion wird aber gefordert, dass die mittlere Materiedichte des Kosmos

konstant bleibt, das bedeutet nichts anderes, als dass ununterbrochen neue Materie aus dem Nichts geschaffen werden muss, um das Defizit an abwandernden Spiralnebeln zu decken. Der Theorie nach verschwinden alle Sternsysteme aus «unserem» Weltall sobald sie die Lichtgeschwindigkeit erreicht haben. Sie geraten dann jenseits unseres Welthorizontes und stehen in keinerlei physikalischer Verbindung mehr mit dem Universum. Sie sind einfach aus dem Kosmos fort, ohne Spuren zu hinterlassen. Bei numerischer Durchrechnung findet man, dass in einem Volumen von 1000 cm^3 alle 10^{11} Jahre die Masse eines Wasserstoffatoms entstehen müsste. Dieser geringe Massenzuwachs entzieht sich natürlich der Beobachtung. Der Betrag der neu entstehenden Materie ist dem vierdimensionalen Raum-Zeit-Kontinuumsvolumen proportional. Der Proportionalitätsfaktor ist gleich dem dreifachen Produkt aus mittlerer Materiedichte ρ und der HUBBLESchen Konstanten H . Mengemässig soll die neuentstandene Materie nur wenig von Ort zu Ort variieren. Auch wird eine kernphysikalische Bedeutung der HUBBLE-Konstante vermutet, da sie mit der Neuentstehung der Materie eng zusammenhängt. Nach der Steady-State-Theorie soll es keinen Weltanfang geben, das heisst, keinen singulären Zustand der heutigen Materieverteilung, sondern es sollen Nebel dauernd entstehen und dauernd verschwinden.

Die Steady-State-Theorie, richtiger Hypothese, ist sicher sehr elegant, sie hat nur den Fehler, vor dem eingangs gewarnt wurde und den sehr viele kosmologische Hypothesen aufweisen: Es werden eigens für die Aufrechterhaltung dieser Hypothesen neue Naturgesetze gefordert, im vorliegenden Fall die Schöpfung von Materie aus dem Nichts. Die Zahl der Welttheorien und Kosmologien wuchs rasch an. Viele dieser Modelle sind faszinierend und von mathematisch brillanter Eleganz. So sollte man sich das Studium der Theorie von E. A. MILNE¹³⁾ (Kinematische Kosmologie) nicht entgehen lassen. Manche Philosophen gaben aus weltanschaulichen Gründen der einen oder anderen Hypothese den Vorzug. Den einen gefiel der Weltbeginn vor endlicher Zeit, sahen sie darin den Beweis für ein Schöpferwesen, die anderen verehrten das «ewige» Universum von BONDI-GOLD-HOYLE.

Nicht die Philosophen waren ausschlaggebend, dass die Astronomen so viele Weltmodelle entwarfen, sondern der weitverbreitete Aberglaube, die Anzahl der Publikationen eines Autors in der Zeiteinheit sei ein Mass für dessen wissenschaftliche Leistung.

Die grosse Zahl der Welthypothesen brachte der Kosmologie keinen Fortschritt. Erst der feste Boden der Beobachtungstatsachen brachte uns ein gutes Stück voran. Zunächst wurde die HUBBLE-Konstante immer kleiner und damit das Weltalter immer grösser. So verschwand die Diskrepanz zwischen dem Alter der Objekte im Universum und dem Alter des Universums selbst. Lag der letzte Wert bei 75 km s^{-1}

Mpc^{-1} so lässt sich im Annual Report of the Director HALE-Observatories 70/71 ein Wert von $53 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ nachlesen, also ein Zehntel der ursprünglichen Grösse! Ob dies allerdings zutrifft, ist noch nicht mit letzter Sicherheit zu sagen¹⁴⁾. Herr McVITTIE hat in einem persönlichen Gespräch mit dem Autor im September 1972 während einer IAU-Konferenz in Athen die Ansicht geäussert, bei der Neubestimmung der HUBBLE-Konstante seien zuviele Near-by-galaxies hineingerutscht. Durch die statistische Geschwindigkeitsverteilung werde der Wert gedrückt und man werde schliesslich bei ± 0 landen. McVITTIE Überlegungen haben viel für sich und ein befriedigender Wert für H liegt wohl auch heute noch nicht vor. Aber eines kann als gesichert angesehen werden: Die Expansion ist vorhanden und steht mit dem Alter der ältesten Sterne und Sternsysteme nicht im Widerspruch.

Die Entdeckung der isotropen 3°K -Hintergrundstrahlung stellt einen Meilenstein in der Geschichte der Kosmologie dar. Sie ist der sichere Beweis für den früher hypothetischen Urknall, den Big Bang. Wieder hat die Beobachtung fruchtlose Spekulationen abgelöst. Die Entdeckungsgeschichte der Hintergrundstrahlung ist genauso spannend und hat viele Parallelen zur Auffindung der galaktischen Radiostrahlung durch JANSKY im Jahre 1932. Die beiden Physiker und Hochfrequenztechniker PENZIAS und WILSON der Bell-Laboratories fanden 1965 bei einer Wellenlänge von $7,3 \text{ cm}$ ein Rauschen, dessen Ursache sich später als intergalaktisches Strahlungsfeld erwies¹⁵⁾. Es entspricht der Temperatur eines PLANCKSchen Strahlers von 3°K . Nach dem WIENSchen Verschiebungsgesetz muss die maximale Intensität bei $\lambda = 5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$ liegen. Diese Hintergrundstrahlung stellt den Rest des Urexplosionsstrahlungsballs dar und deutet ein Weltalter in der Grössenordnung von 10^{10} Jahren an. Nach weiteren 10^{10} Jahren wird die Temperatur dieses Strahlungsballs auf 2°K abgesunken sein und schliesslich nach 10^{13} Jahren nur noch $0,03^\circ\text{K}$ betragen. Die isotrope Hintergrundstrahlung wurde lange vor ihrer Entdeckung von G. GAMOW gefordert und MCKELLAR hat sogar schon 1940 die Temperatur auf 2°K geschätzt⁷⁾.

Man weiss heute somit ziemlich sicher, dass das Universum expandiert, dass es eine Urexplosion gab und hat einen guten Schätzwert für das Alter. Viele Probleme und Fragen stehen aber noch offen und harren einer Lösung.

Die moderne Literatur ist umfangreich. Neben diversen Weltmodellen und ihren mathematischen Grundlagen, aufgewärmten und modulierten, alten Hypothesen mit viel Für und Wider schälen sich drei Problemkreise heraus, die für die heutige kosmologische Forschung von grosser Bedeutung und vielversprechend sind:

Erstens tritt die Frage nach Art und Hergang der Urexplosion auf. Wie kann man die Geburtsstunde des Universums beschreiben, wie die Entstehung der

primären Elementenverteilung erklären? Hier helfen weniger die Beobachtungen mit Riesenteleskopen als die Arbeiten in den mit gewaltigen Synchrotronen ausgestatteten Kernforschungslaboratorien. Denn die Erforschung des Mikrokosmos hat stets der Astronomie zu entscheidenden Fortschritten verholfen.

Die Erkenntnisse über den Aufbau der Atome, ihrer Elektronenhüllen liessen die Spektren der Sterne und die Verhältnisse in den Sternatmosphären verstehen. Die Kernphysik wiederum ermöglichte den Astrophysikern, einigermaßen sichere Vorstellungen vom Aufbau, der Energieerzeugung und des Lebensweges der Sterne zu entwickeln. Die Elementarteilchenphysik wird die entscheidenden Fragen nach der Urexplosion lösen. So kann man eigentlich nicht von einer «Geburtsstunde des Alls» sprechen, sondern nur von einer «Ersten halben Stunde», wegen der Zerfallszeit der freien Neutronen. Was geschah in dieser im Vergleich zum Alter des Universums unglaublich kurzen Zeit? Wie verhält sich die Materie bei extremen Drücken, Temperaturen etc.? Welche Zustandsgleichungen können das Substrat beschreiben?

Das Strahlungsfeld der «Urmaterie» lässt sich leider nicht experimentell herstellen. Manche alte Probleme gehen in neue über: in die meisten kosmologischen Kalkulationen geht als wesentliche Grösse die mittlere Materiedichte ρ des Weltsubstrats ein, die nur sehr schwer zu bestimmen ist und daher bei allen Hypothesen einen grossen Unsicherheitsfaktor darstellt. Bei der Untersuchung der ersten halben Stunde wird wegen $\rho = \rho(t)$ das Problem zu einer Frage des Zeitmaßstabes und von sekundärer Bedeutung.

Wenn auch die letzte Entscheidung zwischen der EINSTEINSCHEN «tensoriellen Gravitationstheorie» und der erweiterten sogenannten «skalar-tensoriellen Gravitationstheorie» noch aussteht, so beschreibt die allgemeine Relativitätstheorie die Raum-Zeit-Struktur befriedigend. Die Experimente von R. H. DICKE und P. ROLL¹²⁾ bestätigen die Äquivalenz von schwerer und träger Masse mit einer Genauigkeit von 10^{-11} ¹⁶⁾. Die zusätzliche säkulare Präzession des Merkurperihels, die Lichtablenkung durch das Schwerefeld der Sonne und der Nachweis der erwarteten Rotverschiebung in der MÖSSBAUER-Linie des Fe⁵⁷-Kernes durch Versuche von R. V. POUND und J. A. REBKA¹⁷⁾ erhärten die Theorie. Es scheint allerdings, dass bei Dichten grösser als etwa 10^{93} g cm⁻³ die Gravitationstheorie EINSTEINS nicht mehr gültig ist. Theoretische Überlegungen lassen fundamentale Änderungen der Hadronenmaterie erkennen, die Partonenstruktur der Protonen wechselt, bei steigenden Drücken verschwinden die Baryonen, anschliessend die Mesonen und schliesslich die Leptonen. Übrig bleiben die Elementarteilchen mit der Ruhemasse Null.

Einen Lichtblick bietet die Quantengeometrodynamik von J. A. WHEELER u. a., die die klassische Quantenmechanik abzulösen beginnt¹⁷⁾. Die Quantengeometrodynamik sieht die Materie als Erscheinungsform eines leeren, gekrümmten Raumes. Genauer:

Materie ist ein Erregungszustand einer dynamischen Geometrie. Schon 1870 hat CLIFFORD in einer stauenswerten Vision in seiner Vorlesung «Raumtheorie der Materie» die «kleinsten Teilchen» als «Raumberge» bezeichnet¹⁸⁾. Er wurde vermutlich durch die berühmte RIEMANN-Vorlesung 1854 in Göttingen inspiriert. Die Quantengeometrodynamik geht davon aus, dass die Elementarteilchen verschiedenen Topologien des Raumes entsprechen. Als elementare Topologie wird das Geon postuliert. Nicht nur Gravitationsfelder sollen durch die Geometrie des Raumes bestimmt werden, sondern auch alle anderen Felder, so die elektrodynamischen, die starken und die schwachen Wechselwirkungen. Die topologische Interpretation der elektrischen Ladung stellen die «Wurmlöcher» dar. Der Weltraum gehorcht einer R³-Geometrie in der die Äquivalenzklasse solcher Metriken vorkommt, die diffeomorph ineinander transformierbar sind. Die reale Welt, die Physik der Vorgänge und Teilchen wird durch einen Superraum beschrieben. Dieser weist eine Mannigfaltigkeit auf, deren einzelne Elemente jeweils eine R³-Geometrie repräsentieren. Er hat eine HAUSDORFFSche Topologie¹⁷⁾.

Normalerweise lässt sich die Dynamik der Geometrie klassisch behandeln. Nur bei Dichten, wie sie bei einem Gravitationskollaps und beim Urknall zu erwarten sind sowie bei den quantenmechanischen Schwankungen der Raumgeometrie, die sich auch bei 0°K nicht «ausfrieren» lassen, muss eine Ausnahme gemacht werden.

Trotz dieser Fortschritte ist man noch weit davon entfernt, die «Erste halbe Stunde» einigermaßen zu beschreiben.

Der zweite Problemkreis, mit dem sich die Kosmologen heute beschäftigen, betrifft die Entstehung der Galaxien, ihrer räumlichen Verteilung, Haufenbildungen und ihre Entwicklung. So weiss man heute, dass die Kerne der Galaxien – nicht nur einiger weniger Ausnahmen sondern sehr vieler – äusserst aktiv sind und eigene Entwicklungen zeigen, die nicht nur durch den Lebensweg der Sterne selbst bedingt sind. Die Versuche von J. WEBER haben erbracht, dass das Zentrum unserer Milchstrasse eine Quelle für Gravitationswellen relativ grosser Intensität darstellt. Inzwischen sind Vorbereitungen im Gange, seine Arbeiten in grossem Stil in den USA, in Italien und in der UdSSR durchzuführen. Es soll die Möglichkeit geprüft werden, die gesamte Erdkugel als Antenne für Gravitationswellen zu verwenden. Astronauten haben entsprechende Detektoren auf dem Mond installiert.

Selbst bei Galaxienhaufen hat man heute Anzeichen von Entwicklungstendenzen gefunden. Als besonders gut erforscht gilt der Perseus-Haufen, der etwa 60 Mpc entfernt ist. In ihm wurde eine Galaxienkette gefunden, deren Mitglieder teilweise SEYFERT-Galaxien sind. Diese Kette deutet auf ein Expansionsalter von nur 300 Millionen Jahre.

Der dritte Problemkreis betrifft die Frage nach der zukünftigen Entwicklung des Universums. Wird sich die Welt ewig weiter ausdehnen, oder kommt die Expansion einmal zu einem Stillstand und verwandelt sich dann in eine Kontraktion? Eng damit verknüpft ist die Frage nach der Baryonen-Asymmetrie des Weltsubstrats, die Frage nach dem Vorkommen von Antimaterie. Auch hier helfen keine Spekulationen, sondern mit leistungsstarken Teleskopen – vor allem auch auf der Südhalbkugel – und elektronenoptischen Hilfsmitteln muss mit Ausdauer und Nachdruck die ständige Verbesserung der HUBBLE-Konstante, die vermutlich keine Konstante ist, betrieben werden. Einer Klärung bedarf ferner die ungeheuer energiereiche kosmische Teilchenstrahlung,

deren Herkunft und Entstehung nach wie vor unbekannt ist. Die bisher energiereichsten Teilchen wurden am 10. November 1970 in Japan registriert. Ein Schauer von Primärteilchen mit Energien bis zu $E_0 = 4 \times 10^{21} \text{eV}$ (!) kam aus Richtung des Sternbildes Vulpecula.

Dieser kleine Aufsatz hat versucht, einen ersten Einblick in die Probleme der Kosmologie zu vermitteln. Die Geburtsstunde des Universums hat stattgefunden. Es darf aber nicht erwartet werden, dass sich das Universum simpel in drei Sätzen beschreiben lässt. Gründliche Kenntnisse der Mathematik sind erforderlich, will man die Strukturen des Alls begreifen lernen. Wir sind erst am Anfang unserer Forschungen.

Literatur:

- 1) A. UNSÖLD, Der neue Kosmos, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1967, S. 314.
- 2) H. VOGT, Aussergalaktische Sternsysteme und Struktur der Welt im Grossen, Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig, 1960, S. 89 ff.
- 3) P. A. DIRAC, Proc. Roy. Soc. A 165, 199, (1938).
- 4) E. P. HUBBLE, Astrophys. Journ. (USA) 64, 321, (1926).
- 5) E. P. HUBBLE, Astrophys. Journ. (USA) 79, 8, (1934).
- 6) M. L. HUMASON, Publ. of the Astronom. Soc. Pacific 48, 227, (1936).
- 7) O. HECKMANN, Theorien der Kosmologie, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1968.
- 8) A. FRIEDMANN, Z. Physik 10, 377, (1922); 21, 326, (1924).
- 9) G. LEMAÎTRE, Ann. Soc. Sci. de Bruxelles 47, Serie A 49, (1927).
- 10) H. BONDI und T. GOLD, Monthly Notices Roy. Astronom. Soc. (England) 108, 252, (1948).
- 11) H. BONDI, Cosmology, Cambridge 1952.
- 12) F. HOYLE, Monthly Notices Roy. Astronom. Soc. (England) 108, 372, (1948); Monthly Notices Roy. Astronom. Soc. (England) 109, 365, (1949).
- 13) E. A. MILNE, Kinematic Relativity, Oxford 1948.
- 14) Annual Report of the Director HALE Observatories pg 417 (1970/1971).
- 15) A. A. PENZIAS und R. W. WILSON, A measurement of the background temperature at 1415 MHz, Astronom. Journ. (USA) 72, 315, (1967).
- 16) R. H. DICKE, Science 129, 3349, (1959).
- 17) S. A. WHEELER, Einsteins Vision, Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1968, S. 5.
- 18) W. K. CLIFFORD, Nature 8, 14, (1873).

Adresse des Verfassers: Dr. HANS-ULRICH KELLER, c/o Sternwarte Bochum, Castroper Strasse 67, D-4630 Bochum (BRD)

La surface polie d'un miroir de télescope vue au microscope électronique

V. FRYDER, Vevey

Le présent article n'a aucune prétention scientifique ou technique. L'auteur, astronome-opticien-amateur, disposant d'un puissant microscope électronique (Philips EM 300) de par sa profession, a eu la curiosité d'observer l'état de surface du miroir de 15 cm qu'il était en train de polir. Les résultats obtenus l'ont tellement fasciné qu'il a décidé de montrer ses images à ses collègues, lecteurs d'ORION qui n'ont pas eu et n'auraient sans doute jamais eu l'occasion de voir leur miroir avec une «loupe» grossissant $50000 \times$ et plus.

Technique:

Les photographies de la surface d'un miroir très bien poli (10 à 15 heures de polissage au rouge) ont été obtenues par la méthode de réplique décrite ci-dessous:

Sur la surface à étudier, on coule une goutte d'environ 10 mm de diamètre de collodion en solution de 2% dans de l'acétate d'amyle et on la laisse «sècher» (fig. 1 a); la surface du collodion épouse fidèlement la surface du verre.

Le collodion «sec» est arraché délicatement à l'aide d'un ruban adhésif (fig. 1 b) puis placé dans un évaporateur sous vide (même appareil que ceux servant à aluminer nos miroirs). Sous un vide de 10^{-5}mm de mercure on évapore une couche de platine (Pt) très fine, sous un angle de 45° environ (fig. 1 c). Le Pt se dépose plus ou moins suivant l'angle d'impact avec les irrégularités de la surface et pas du tout si un obstacle a fait «ombre». Pour consolider le tout, on évapore une couche de carbone (C) perpendiculairement à l'empreinte. On dissout ensuite l'empreinte de collodion et récupère l'empreinte secondaire (Pt-C)