

Rechtlicher Hinweis

© Werner Schneider und den zitierten Autoren bzw. ihren Verlagen.

Das Material wird ausschließlich für wissenschaftliche und unterrichtliche Zwecke zur Verfügung gestellt. Sie sind auf der sicheren Seite, wenn Sie es behandeln wie Material aus einer Bibliothek: danach können Sie bis zu sieben Kopien zum privaten Gebrauch ziehen.

Alle darüber hinausgehenden Verwertungsrechte bleiben unberührt.

Technischer Hinweis

Aus technikhistorischen Gründen sind die Fonts nur für den Ausdruck, nicht jedoch die Bildschirmdarstellung optimiert.

Aber nun viel Spaß und erfrischende Adrenalinschübe!

;-) Werner und die Drachen

Die erste Million Jahre nach dem Standardmodell

“Die erste Million ist immer die schwerste...”

Der Papst und der Urknall

(144p¹²¹) “Die Idee des Urknalls könnte von einem Theologen stammen. In der Tat stammt sie von einem Theologen”, nämlich Georges Lemaitre. (1931)
 “Papst Pius XII begeisterte sich dafür, dass die Urknalltheorie die Schöpfung der Welt durch Gott beschreibt.”
 Ihrerzeit sei die an Hubbles Befund anschließende Urknalltheorie wissenschaftlich “abenteuerlich” gewesen; die “schöpfungstheoretische Grundüberzeugung” habe wichtige ideologische Schützenhilfe geleistet.
 Die Zeit bis vor 10^{-43} sec (1 Planckzeit) post Urknall bleibt in “in Dunkel gehüllt”. Zu dem Zeitpunkt, da unsere theoretischen Spekulationen einsetzen, war der Weltdurchmesser 10^{-33} cm (1 Plancklänge). Das ist auch die Größenordnung des kleinstmöglichen Superstrings, in gewissem Sinne die ‘Größe’ eines ‘Raumpunktes’.

Die drei Symmetriebrüche

Die Zeit bis vor 10^{-43} sec (1 Planckzeit) post Urknall bleibt in in Dunkel gehüllt. Zu diesem frühesten Zeitpunkt, der mit den verfügbaren Basistheorien spekulativ erfasst werden kann, war der Weltdurchmesser 10^{-33} cm (1 Plancklänge). Das ist auch die Größenordnung des kleinstmöglichen Superstrings, in gewissem Sinne die ‘Größe’ eines ‘Raumpunktes’, während die Planckzeit sozusagen das “Zeitatom” repräsentiert.

Die vier Grundkräfte entstehen durch drei ”kosmische Kondensationen”:

nach 10^{-33} sec Symmetriebruch₁
 Ausdifferenzierung der Gravitonen
 Gravitation ↔ starkelektroschwache Wechselwirkung

nach 10^{-35} sec Symmetriebruch₂
 Ausdifferenzierung v Quarks, Leptonen
 starke Wechselwirkung ↔ elektroschwache Wechselwirkung

Wichtig für die weitere Evolution des immer noch reichlich winzigen, aber sehr heißen Kosmos ist eine klitzekleine Asymmetrie: jedes 10-milliardste Quark hat kein Antiquark.

nach 10^{-10} sec Symmetriebruch₃ (Ewigkeiten später: es werde Licht:)
 Ausdifferenzierung von Z- und W-Teilchen, Photonen
 schwache Wechselwirkung ↔ elektromagnetische Wechselwirkung
 Quarks und Antiquarks annihilieren sich zu Photonen. Die sitzengebliebenen Junggesellen-Quarks maulen unvereinigt vor sich hin.

nach 10^{-5} sec
 Je drei Rest-Quarks werden mithilfe von Gluonen zu Protonen und Neutronen verklebt. So ein Kernbaustein hat dann eine garantierte Lebenszeit von mindestens 20 Milliarden Jahren.
 zuständige physikalische TH: QCD = Quantenchromodynamik.

nach ewigen 3 Minuten
 Widerwillig murrend bilden sich die ersten Atomkerne: Wasserstoff, Helium, Lithium

schlappe hunderttausend Jahre später
 Die ersten veritablen Atome schwimmen in der Suppe

nach 1 Million Jahren
 Der Großteil der heute vorhandenen kosmischen Masse ist fertig.
 Die Sternentwicklung und damit die Fabrikation schwerer Atome kann einsetzen.

<Kosmologie> und die historische Beziehung zur Allgemeinen Relativitätstheorie (AR)

Zur Geschichte der speziellen Relativitätstheorie →MW-107

Ausmessung des Weltraums

- (343p670) Die parallaktischen Jahresbewegungen naher Fixsterne “wurden erstmalig im Jahre 1832 von Thomas Henderson (1798-1844) in Südafrika beobachtet und unabhängig davon vornehmlich von Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) in Königsberg, und Wilhelm Struve (1793-1864) in Pulkovo.”
- (343p670-671) Dies erlaubt die erfolgreiche Entfernungsbestimmung ^{p671} relativ naher Sterne.

Cepheiden- und Spektralmethode

- “Im Jahre 1912 fand Miss Leavitt in Harvard, dass bei den Cepheiden ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen der Periode des Lichtwechsels und in ihrer absoluten Leuchtkraft besteht... Zwei Jahre später wurde von Adams und Kohlschütter ein weiteres Verfahren entwickelt, welches auf der Feststellung beruhte, dass die Intensitätsverhältnisse bestimmter Spektrallinien eng mit der absoluten Leuchtkraft eines Sterns zusammenhängen.”
- (343p671-672) Edward Hubble untersucht 1924 auf dem Mount-Wilson-Observatorium “systematisch die extragalaktischen Nebel, deren Spiralstruktur erstmalig von Lord ^{p672} Rosse in Irland im Jahre 1845 beobachtet worden war. Hubble gelang es, einige nähere Spiralnebel in einzelne Sterne aufzulösen und unter ihnen auch Cepheidenveränderliche zu identifizieren. Er konnte dadurch zeigen, dass diese Nebel größenordnungsmäßig einige Millionen Lichtjahre vom Sonnensystem entfernt sind und somit tatsächlich außerhalb unseres Milchstraßensystems liegen. Hubble stellte ferner fest, dass die absoluten Helligkeiten der von ihm untersuchten Spiralnebel nur höchstens um einen Faktor 2 vom Durchschnittswert unterschieden, also eine viel geringere Streuung aufwiesen als die der einzelnen Sterne. Aufgrund dieser Tatsache konnten auch die Entfernungen der sehr schwachen, nicht auflösbaren Nebel aus ihren scheinbaren Helligkeiten zumindest näherungsweise abgeschätzt werden, und man fand, dass der Abstand der entferntesten noch sichtbaren Nebel vom Sonnensystem etwa 500 Millionen Lichtjahre betragen muss.”
- (343p672-673) Der Doppler-Effekt erlaubt die Messung radialer Sternbewegungen anhand von Spektralverschiebungen. Huggins glaubte im Jahre 1868 in London “aufgrund visueller Messungen festgestellt zu haben, dass sich Sirius vom Sonnensystem mit einer Geschwindigkeit von rund 50km/sec entfernt. Eine genaue Messung von Radialgeschwindigkeiten gelang jedoch erst durch Anwendung fotografischer Methoden, wie im Jahre 1888 von Vogel in Potsdam entwickelt. So fand Slipher am Lowell-Observatorium im Amerika im Jahre 1912, dass sich der Andromeda-Nebel im Sonnensystem mit einer Geschwindigkeit von 200 km/sec annähert. ⁶⁷³ Im Jahre 1917 stellte er jedoch fest, dass es sich dabei um eine Ausnahme handelte, da sich die meisten unserer Milchstraße benachbarten Spiralnebel scheinbar mit Geschwindigkeiten von etwa 650 km/sec von ihr wegbewegten.” 1929 entdeckt Hubble, “dass der Betrag der Rotverschiebung des in von einem Spiralnebel ausgesandten Lichts direkt proportional zur Entfernung des Nebels vom Sonnensystem ist.” Dabei entferne sich die weitesten Nebel mit Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit.
- (343p673-674) Die Interpretation der Rotverschiebung als Geschwindigkeitszunahme war nicht einhellig. Manche vermuteten, dass sie “überhaupt nichts mit dem Dopplereffekt zu tun hätten und dass die Nebel sich in Ruhe befänden. So nahm Zwicky an, dass die Rotverschiebungen auf die Gravitationskräfte zurückzuführen seien, die von intergalaktischer Materie auf das hindurchgehende Licht ausgeübt würden, und McMillan vertrat die Auffassung, dass Strahlungen bei der Fortpflanzung durch die ungeheuer großen intergalaktischen Räume ^{p674} allmählich Energieverluste

erleiden können; Wirkungen, die in Übereinstimmung mit dem hubbleschen Gesetz umso stärker hervortreten würden, je größer der Abstand der Strahlungsquelle vom Beobachter ist. Schließlich wies Milne darauf hin, dass sich auch die Gesetze der Strahlungsemission mit der Zeit in der Weise verändert haben könnten, dass das vor vielen Millionen ausgestrahlte und heute auf der Erde beobachtete Licht röter ist als die gegenwärtig ausgesandten entsprechenden Strahlungen.”

(343p674-675)

“Im Jahre 1917 wandte sich Einstein der Frage zu, ob der Raum und die Menge der darin enthaltenen Materie endlich oder unendlich seien. Schon Mach hatte das Prinzip aufgestellt, dass die Metrik des Raumes durch die Gesamtheit aller kosmischen Massen bestimmt wird. Ebenso war bekannt, dass eine unendlich ausgedehnte Welt nicht gleichmäßig mit ruhender Materie erfüllt sein kann, da sonst die Anziehung in jedem Punkt des Raumes unendlich groß sei ^{p675} und unendlich große Beschleunigungen auftreten müssten.”

Wie das? Gerade bei gleichmäßiger Verteilung würden sich die unendlichen Anteile gegenseitig aufheben, wie im Innern einer homogen mit Materie belegten Kugelschale. Probleme mit Unendlichkeiten träten nur auf im Falle ungleichmäßiger Verteilung verschiedener Raumwinkel (Raumsektoren).

Grundsätzlich stichhaltig ist dagegen die Beobachtung, dass es in einem unendlichen Kosmos am Himmel nicht dunkel werden dürfte: die einfallende Lichtenergie hebt sich nicht gegenseitig auf wie bei der Gravitation!

“Auch die Annahme einer endlichen Erfüllung des euklidischen Raumes mit Materie führt nicht zu einer Gleichgewichtslösung, dass sich die Materie im Lauf der Zeit im unendlichen Raum zerstreuen würde. Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, machte Einstein die Annahme, dass das Universum zwar ein endliches Volumen, jedoch keine endlichen Grenzen besitzt,” indem er eine mittlere Raumkrümmung annimmt, die die drei räumlichen Dimensionen zu einer Hyperkugel formt; dann ist jeder Punkt im Raum gleichberechtigt, und es die lästige Randverteilung ist aus der Welt.

(343p676)

“Einstein entwickelte dieses Weltmodell, bevor die starken Rotverschiebungen des von den entfernten Spiralnebeln zu uns gelangenden Lichts beobachtet worden waren. Er nahm auch an, dass die Geschwindigkeit der Körper im Weltall im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit klein seien, so dass die räumliche Struktur seiner Welt keiner zeitlichen Änderung unterliegt. Daher bildete die Zeit in Einsteins Welt eine Dimension für sich, und das Raumzeitkontinuum stellte einen vierdimensionalen Zylinder dar: eine Kombination des sphärischen Raums mit der linearen Zeit. Hingegen zeigte de Sitter im Jahre 1917, dass man das Universum auch als eine ‘Pseudokugel’, eine vierdimensionale Kugel in einem fünfdimensionalen pseudoeuklidischen Raum betrachten könne, in der die Materiedichte verschwände. Führt man in Einsteins Welt einen ‘Probekörper’ ein, etwa einen Spiralnebel, so würde dieser für einen Beobachter in Ruhe verharren, sofern er sich anfänglich nicht relativ zu ihm bewegte. In de Sitters Welt jedoch müsste er sich sofort mit ständig wachsender Geschwindigkeit von ihm weg bewegen. De Sitters Welt war voller Bewegung und enthielt keine Materie, während Einsteins Welt voller Materie war, jedoch keine Bewegung enthielt.”

(343p676-677)

Nach dem ^{p677} Bekanntwerden von Hubbles Gesetz, welches im Allgemeinen dahingehend gedeutet wurde, dass das Universum sich ausdehne, zeigten Eddington und Lemaitre, dass die einsteinsche Welt instabil ist und sich im Falle einer Störung entweder ausdehnen oder zusammenziehen müsse, je nachdem, ob die betreffende Störung die kosmische Abstoßung oder die Gravitation begünstigt. Dehnte die einsteinsche Welt sich aus, so würden die Nebel sich voneinander entfernen und die Materiedichte in der Welt ginge allmählich auf Null herab, bis

schließlich die Bedingungen der de Sitterschen Welt vorlägen. Einstein und de Sitter zeigten im Jahre 1932, dass ein expandierender sphärischer Raum, dessen Expansion also das Hubblesche Gesetz verständlich machte, eine Lösung der einsteinschen Feldgleichungen darstellte.”

“Man prüfte noch eine Anzahl weiterer Weltmodelle, deren Verschiedenheit auf der Tatsache beruht, dass zu Charakterisierung jeweils drei Größen erforderlich sind, von denen nur zwei durch Beobachtung bestimmt werden können. Die drei unbekanntenen Größen sind die Masse des Universums, die Krümmung des Welt-raums und eine kosmologische Konstante, mit der Einstein eine kosmische Abstoßungskraft einführte, um die allgemeine Relativitätstheorie auf die Kosmologie anwenden zu können. Die beiden durch Beobachtung bestimmbareren Größen waren die Expansionsgeschwindigkeit des Universums ... und die mittlere Materiedichte im Universum, die man unter der Voraussetzung ermitteln kann, dass sie mit der in unserer Nähe beobachteten Dichte übereinstimmt.”

(343p679)

“In Ermangelung von Erfahrungskriterien zur Entscheidung zwischen den verschiedenen denkbaren Weltmodellen stellten einige Kosmologen, insbesondere Eddington, und daneben auch Milne rein theoretische Überlegungen über die Beschaffenheit des Universums aufgrund einer Analyse der naturwissenschaftlichen Methode an. Eddington verglich den Naturforscher mit einem Fischer, der nur diejenigen Fische fängt, die nicht durch die Maschen seines Netzes schlüpfen können, und sprach die Vermutung aus, dass Inhalt und Beschaffenheit naturwissenschaftlicher Kenntnisse durch die charakteristischen Merkmale der angewandten wissenschaftlichen Methode bestimmt wurden. Die wissenschaftliche Methode sei kein Spiegel, der die Beschaffenheit der Welt reflektiere, sondern ein Kaleidoskop, welches aufgrund seiner Struktur die wahrgenommenen Bilder im Voraus festlege...

Als grundlegenden Bestandteil der naturwissenschaftlichen Methode sah Eddington die Längenmessungen an... Im Rahmen seines Systems versuchte Eddington, die universalen Naturkonstanten zu berechnen, die reine Zahlen sind, also etwa das Verhältnis der Masse des Protons zu der des Elektrons, ohne dabei experimentell bestimmte, dimensionsbehaftete Größen zuzulassen. Man hatte gefunden, dass die dimensionslosen reinen Naturkonstanten sich in drei Hauptgruppen aufteilen ließen, deren Elemente von der Größenordnung 10^{80} bzw. 10^{40} oder kleiner als etwa $2 \cdot 10^3$ waren. Eddington zeigte, dass die Werte der ersten Gruppe von der Gesamtteilchenzahl N im Universum abhingen, die der zweiten Gruppe von der Quadratwurzel aus N , und dass die dritte Gruppe unabhängig von N war... Zu einer Abschätzung von N gelangte er einerseits direkt durch eine Division der Masse der einsteinschen Welt durch die Masse des Protons, und andererseits in abstrakterer Weise aufgrund der Annahme, dass die Masse eines Elektrons von seiner Ladung sowie von der Gegenwart aller anderen Teilchen im Universum herrühre. In beiden Fällen erhielt er einen Wert in der Größenordnung 10^{79} . Eddingtons Auffassung hat jedoch starke Kritik hervorgerufen und wird von den meisten Forschern nicht geteilt.”

t-Zeit und τ -Zeit

(343p680-681)

Dagegen sah Milne Zeitmessungen als fundamental an und beschäftigte sich 1935 mit den zeitlichen Abläufen. Längenbestimmungen reduziert er auf Messung von Lichtlaufzeiten über die zu messenden Strecken. Er verzichtet also ganz auf starre Maßstäbe. Milne etabliert zwei Zeitskalen: einmal die so genannte t-Zeitskala, die durch Lichtschwingungen bestimmt ist, und die τ -Zeitskala, die auf Schwerependeln beruht. ^{p681} “Milne zeigte..., dass sich unabhängig davon, welche Zeitskala man zugrundelegt, notwendig irgendetwas in der Zeit verändert. Nach der Theo-

rie der t-Skala nehme nämlich die Gravitationskonstante und das plancksche Wirkungsquantum mit der Zeit zu, so dass die Körper allmählich schwerer und atomare Größen unbestimmter werden, während auf der τ -Skala zwar die Gravitationskonstante und das plancksche Wirkungsquantum zeitlich konstant blieben, hingegen die Anzahl der in einer Zeiteinheit dieser Skala stattfindenden Lichtschwingungen allmählich größer wird, so dass sich die Wellenlänge eines von einer bestimmten Quelle ausgesandten Lichts mit der Zeit verkürzt.”

(343p681-682)

“Eine Hypothese, die das Prinzip von der Gesamtmasse der in der Welt enthaltenen Materie aufgab und das der ‘kontinuierlichen Schöpfung’ an seine Stelle setzte, wurde im Jahre 1948 von den Cambrdiger Mathematikern Bondi und Gold und etwas später von Hoyle aufgestellt, um die aus der Annahme, dass das Universum einen Anfang und eine bisherige Lebensdauer von wenigen Milliarden Jahren besitzt, folgenden Schwierigkeiten zu umgehen. Bondi, Gold und Hoyle übertrugen Einsteins Prinzip von der Gleichwertigkeit aller Beobachter im Raum auch auf die Dimension ^{p682} der Zeit, nahmen also an, dass das Universum sich für jeden Beobachter ebenso darstellt, wie es durch die gesamte Vergangenheit ausgesehen hat und in der Zukunft aussehen wird. Aus ‘vollkommenen kosmologischen Prinzip’, wie man es nannte, folgerten sie, dass überall im Universum kontinuierlich Materie entsteht, und dass die Zuwachsrates $10^{-43} \text{ g/cm}^3/\text{sec}$ beträgt.”

“Bei den mannigfaltigen bisher vorgeschlagenen Theorien über die räumliche und zeitliche Struktur des Universums wird die Tragfähigkeit der zugrundeliegenden Beobachtungen durch theoretische Spekulationen weit überschritten. Es hat den Anschein, dass künftige Fortschritte auf dem Gebiet nur durch eine Erweiterung der empirischen Kenntnisse möglich sein wird.”

1950 geschrieben! In der Tat war die Entdeckung der kosmischen Hintergrundstrahlung durch Penzias und Wilson (1965) der stärkste empirische Anstoß für die Kosmologie, die zur Urknalltheorie als kosmologischem ‘Standardmodell’ führte.

Stellarentwicklung

1913 ordnet [Henry N.] Russell in Princeton die Sterne im Helligkeits-Temperatur-Diagramm (später Hertzsprung-Russel-Diagramm genannt). Er deutet es, anknüpfend an die von Helmholtz 1854 aufgestellte Kontraktionstheorie im Sinne einer Sternentwicklung. Sterne beginnen als Gaskugeln geringer Dichte und niedriger Oberflächentemperatur, ziehen sich im Lauf der Entwicklung allmählich zusammen, wobei Gravitationsenergie in Wärme übergeht. Der Stern wird dabei heißer und dichter bis zu einer kritischen Dichte, ab der er sich wieder langsam abkühlt. “Die theoretische Erforschung des inneren Aufbaus der Sterne geht auf den Physiker Robert Emden (1862-1940) zurück, der in seinem Werk ‘Gaskugeln’ (1907) die Thermodynamik ^{p684} auf astrophysikalische Probleme anwandte. 1916 begründete Arthur S. Eddington (1882-1944) die Theorie des Strahlungsgleichgewichts im Innern der Sterne und fasste seine Untersuchungen 1926 in dem klassischen Werk *The Internal Constitution of the Stars* zusammen. Eddington zeigte, dass die meisten Sterne keine großen Dichten besitzen können, da der nach außen gerichtete Strahlungsdruck, welcher sich nach dem boltzmannschen Gesetz in der 4. Potenz der Temperatur verändert und innerhalb der Sterne sehr große Werte annimmt, der zur Kontraktion führenden Kontraktionskraft die Waage hält. Zudem müssten sich auch die von den Atomen des Sternngases abgelösten Elektronen wie die Moleküle eines Gases verhalten, also bei hohen Temperaturen einen Druck erzeugen, der dem Gravitationsdruck der darüber liegenden Materie entgegenwirkt. Für die Sonne, die eine Oberflächentemperatur von etwa 6000 Grad besitzt, berechnet Eddington, dass die Temperatur im tiefen Innern von der Größenordnung von 20 Millionen Grad sein müsse, um den elektronischen und Strahlungsdruck zu erzeugen, der mit der Gravitationskraft in Gleichgewicht steht.”

Weißer Zwerge(343p⁶⁸⁴⁻⁶⁸⁵)

1914 entdeckte Walter Adams, “dass das von dem kleinen Begleiter des Sirius emittierte Licht auf einen weißglühenden Stern von sehr hoher Oberflächentemperatur hindeutet, dass dieses Sterne also ein weißer ^{p685} Zwergstern ist, während nach der russellschen Vorstellung alle kleinen Sterne rote Zwerge sein sollten. Zehn Jahre später fand Adams, dass das von dem Siriusbegleiter ausgesandte Licht eine beträchtliche Rotverschiebung aufwies, woraus hervorging, dass sich der Stern trotz seines kleinen, der Erde vergleichbaren Volumens eine ungeheuer große Masse besitzen muss, die fast so groß wie die der Sonne ist. Adams Entdeckung bestätigte die von Eddington und Jeans einige Jahre vorher ausgesprochene Vermutung, dass die Atome bei den hohen Temperaturen und Dichten im Innern der Sterne von ihren äußeren Elektronenschalen entblößt sind, wodurch der Durchmesser der Atome erheblich reduziert wird... Die Inder Kothari und Chandrasekhar berechneten die Dichteverhältnisse in den weißen Zwergsternen nunmehr, indem sie die Zustandsgleichung eines entarteten Elektronengases zugrundelegten und fanden innerhalb bestimmter Grenzen von Masse und Radius eine eindeutige Beziehung zwischen diesen beiden Zustandsgrößen in dem Sinne, dass mit zunehmender Masse der Radius rasch abnimmt, so dass extrem hohe Dichten zustandekommen.”

Bethe-Weizsäcker-Zyklus(343p⁶⁸⁵⁻⁶⁸⁶)

1938 zuerst aufgestellt Carl Friedrich von Weizsäcker, dann 1939 Hans Bethe in Cornwall.

Machsches Prinzip, Einsteins Version(150p⁴³³⁻⁴³⁴)

“Für Einstein konnte es in einer erkenntnistheoretisch befriedigenden Physik keine Trägheit gegenüber dem von Isaac Newton postulierten ‘absoluten Raum’ geben, sondern nur eine Trägheit als Resultat von Wechselwirkung der Massen untereinander. Diese Auffassung, inspiriert von Ernst Machs kritischer Analyse der Grundbegriffe der Mechanik, war neben dem Äquivalenzprinzip und dem verallgemeinerten Relativitätspostulat das dritte Leitmotiv auf dem Wege zur AR. Schon im *Entwurf einer AR* vom Frühjahr 1913 hieß es, sie sei formuliert entsprechend ‘Machs kühnem Gedanken, dass die Trägheit in einer Wechselwirkung des betrachteten Massenpunktes mit allen übrigen ihren Ursprung habe.’” Das kann letztlich nur heißen, dass die Trägheit ^{p434} eines bestimmten Körpers von der Wechselwirkung mit allen Massen des Universums herrührt, dass also der Kegelbruder, der den Trägheitswiderstand der Kugel im Schweiß des Sports überwindet, auf eine handfest physikalische Weise mit dem Kosmos in Verbindung steht.” Will (556p¹⁵³⁻¹⁵⁵) sieht im machschen Prinzip “eigentlich nicht mehr als eine lose Sammlung von Gedanken zur Natur von Trägheit und Schwerkraft, die ... Mach zugeschrieben werden. In Wirklichkeit hat Mach niemals etwas zu Papier gebracht, das im entferntesten einem erhabenen Prinzip ähnelt, und würde wahrscheinlich einige der [späteren] Formulierungen ... des 20. Jahrhunderts ... nicht wiedererkennen.”

Newtons Eimer(556p¹⁵⁵)

Im Einklang mit dem Machschen Prinzip sei die Verneinung der Frage, ob Zentrifugalkraft davon abhängt, ob der Newton-Eimer sich dreht und das Weltall rotiert oder umgekehrt.^{p155} “Prinzipiell war die AR in der Lage, diese ... Frage zu beantworten, aber bis 1960 war kein wirklicher Fortschritt in diesem Bemühen ersichtlich. (In mathematischer Hinsicht handelt es sich um ein höchst schwieriges Problem). Es dauerte noch bis 1966, bevor theoretische Relativisten eine teilweise theoretische Antwort ... geben konnten, die darauf hinauslief, dass die beiden Formulierungen des ... Eimer-Experiments tatsächlich übereinstimmen.”

Frühe Bestätigung der AR

(74p⁵⁶⁶⁻⁵⁶⁷)

Die AR lag in 20/30ern nicht im Vordergrund des Interesses der Physiker. Sie “war für die Materie- und Strahlungstheorien, die damals die wichtigsten Forschungsschwerpunkte waren, nicht in dem Maße grundlegend wie die Spezielle Relativitätstheorie. Darüber hinaus implizierte die AR die grundsätzliche Falschheit oder Unangemessenheit einer der erfolgreichsten physikalischen Theorien, die je entwickelt worden waren – der newtonschen Gravitationshypothese –, und der Einführung eines merkwürdigen Krümmungsbegriffs der vierdimensionalen Raum-Zeit, der eine Erklärung der Gravitationskräfte liefern sollte. Auch muss man berücksichtigen, dass der wichtige Sonnenfinsternis-Test von 1919 nur eine qualitative Demonstration der Tatsache erbrachte, dass Licht durch ein Gravitationsfeld abgelenkt wird. Erst später wurden derartige Sonnenfinsternis-Experimente sehr viel präziser angestellt. Und es mussten Jahrzehnte [!] vergehen, bis neue Überprüfungsverfahren entwickelt werden konnten, die gegenüber den drei ursprünglich von Einstein vorgeschlagenen verbessert waren; erst ‘vierzig Jahre, nachdem Einstein die Theorie entwickelt hatte’ (Weinberg), wurden neue Formen präziser Experimente vorgeschlagen und durchgeführt, die die AR bestätigen sollten.”

Dornröschenschlaf

der AR bis etwa 1960: “Du musstest nur Bescheid darüber wissen, was deine sechs besten Freunde gerade taten, dann wusstest du auch, was sich auf dem Gebiet der AR ereignete.” Peter Bergmann, zitiert (556p¹⁰). AR gilt als esoterisch. CalTech-Absolvent Kip Thorne, Mit-Erneuerer der AR, “wurde von einem berühmten Astronomen des Caltech angewiesen, sich unter gar keinen Umständen mit der AR zu beschäftigen, weil diese ‘so wenig Bezug zur restlichen Physik und Astronomie hat.’” (556p¹⁰)

Expansion

des Kosmos: Edwin Hubble beobachtet in den 20ern mit 100-Zoll-Spiegel auf Mount Wilson Galaxien und schätzt Entfernungen. 1929 riskiert er nach jahrelangen Beobachtungen die Aussage, dass die Galaxien mit Geschwindigkeit proportional zu ihrer Entfernung auseinanderfliegen. Expandierendes Universum wird nicht durch Einsteins statische Kosmologie (kosmologischer Term inkl.) beschrieben, sondern von Friedmanns Lösungen der Gravitationsgleichungen, von Einstein seinerzeit eben wegen Expansion verworfen; den zur Explosionsverhütung eigens eingeführten kosmologischen Term bezeichnete er später als “den größten Schnitzer meines Lebens.”

Renaissance

Neues Interesse an Kosmologie, Quantenkosmologie, vor allem wegen neuer Messmöglichkeiten wieder Suche nach exakter Bestätigung. Jüngere AR-Erneuerer: Penrose, Thorne, Hawking, James Bardeen, James Hartle, Igor Novikov, Clifford Will. Ältere: Wheeler, Chandrasekhar, Alfred Schild, Yaakov Zel’dovich.(556p¹⁰⁻¹¹)

Penrose (1960):

“Ein Spinor-Formalismus für die AR”, *Annals of Physics*, Juni 1960

Der Artikel beschreibt eine “höchst elegante und geeignete Rechentchnik für die Lösung gewisser Probleme der AR. Diese Theorie galt lange Zeit als extrem schwierig in ihrer mathematischen Darstellung, die neue Methode jedoch machte einige Rechnungen geradezu einfach” (556p³) Penrose erleichtert damit den mathematisch dornenreichen Zugang zur AR enorm.

Radar

Radarmessungen im Sonnensystem April 1961: AE-Fehler verkleinert von 93000 auf 100 km. Grundlage der ersten wirklichen Verifikation der Allgemeinen Relativitätstheorie.

Brans-Dicke

(556p^{156ff}) Dicke bringt die Gravitationskonstante mit den Dimensionen des Weltalls in Verbindung; er schätzt ab $G = Rc^2/M$ (R =Radius, M =Masse des Alls) und kommt bis auf Faktor 100 an G heran. Nach der AR ist G konstant. Ausgangspunkt

der Brans-Dicke-Theorie war Dickes Ansatz, G zur Funktion der Massenverteilung im Weltall zu machen, um das machsche Prinzip besser zu erfüllen. Brans und Dicke ergänzten die AR-Tensoren um ein skalares Feld, das den Wert für G zu jedem Punkt der Raumzeit festlegt. In puncto Gravitations-Rotverschiebung und Merkur-Perihel-Drehung schien die Theorie der AR Ende der 60er Jahre überlegen und wurde 1968–1975 in vielen Veröffentlichungen diskutiert. Mit zunehmender Messgenauigkeit sah dann wieder die AR besser aus. Ganz aus dem Rennen ist Brans-Dicke nicht, weil die Theorie mit einem Parameter nahe an die AR heranskaliert werden kann; bei sehr hoher Genauigkeit könnte Brans-Dicke also die AR immer noch besiegen. Das würde heute aber alle überraschen.

Quasar

Erstentdeckung: Radioquelle 3C48 als Lichtquelle identifiziert am 26.10.1960 von T. Matthews, A. Sandage, 5m-Spiegel Mount Palomar, Kalifornien. Gibt Anstoß zu 'relativistischer Astrophysik'.

Die Entdeckung schuf Forschungsgebiet der Relativistischen Astrophysik. Konferenz vom 16.–18.12.1963 in Dallas, Texas mit 300 Wissenschaftlern.

Rotverschiebung

Direkte Messung 18.6.1976: Wasserstoff-Maser im ballistischen Weltraumflug. Gemessene Effekte (Gravitationsverschiebung und Zeitdilatation) stimmten bis auf einen Fehler von 0,007% mit von der AR vorhergesagten Werten überein.

Gravitationswellen

passen zu Messungen an "binärem Pulsar", einem Doppelsternsystem, dessen einer Bestandteil ein Pulsar ist. (150p⁴³³) "Die zeitliche Signatur der Pulsar-Strahlung ist eine vorzügliche Uhr, und durch die extrem genaue Beobachtung dieser Himmelsuhr konnte eine Änderung in der Umlaufgeschwindigkeit dieses Pulsars von etwa einer zehnmillionstel Sekunde pro Jahr dingfest gemacht werden. Dieses Resultat aus dem Jahre 1978 entspricht genau dem Energieverlust des 'binären Pulsars' durch die Abstrahlung von Gravitationswellen gemäß Einsteins Formel aus dem Jahre 1918." Geht über Einsteins drei berühmte *experimenta crucis* hinaus!

Gravitationslinse

1979 wird Doppelquasar Q 0957+561 entdeckt: Paar von sechs Bogensekunden getrennte Quasare gleicher Spektren und Fluchtgeschwindigkeit. Interpretiert als ein Quasar, dessen Licht in Gravitationslinse gekrümmt und auf zwei Wegen zu uns kommt. Bestätigt durch spätere Entdeckung einer Galaxis am zu vermutenden Orte. Später weitere sechs Doppelquasare gefunden.

Neue Rolle

"Die tatsächliche Entdeckung von Gravitationslinsen hatte der AR eine neue Rolle innerhalb der Astronomie eingeräumt. Die Idee besteht nicht darin, die Gravitationslinse als neuen Test für die AR zu benutzen..., [sondern] vielmehr, die allgemein-relativistische Beschreibung der Lichtablenkung als richtig anzusehen ... und den Linseneffekt als astronomisches p⁸⁸Werkzeug zu benutzen." (556p⁸⁷⁻⁸⁸)

Raumkrümmung

(556p¹⁰⁹⁻¹³⁷) I. Shapiro (Dez. 1964): "Vierter Test der AR", *Physical Review Letters* Ein Radarstrahl wird während der oberen Konjunktion dicht an der Sonne vorbei zum Merkur geschickt und sein Echo aufgefangen. Das Signal unterliegt damit einem hinreichend starkem Gravitationsfeld. Zum Vergleich wird ein Lichtweg zu Merkur vermessen, der weit genug von der Sonne weg bleibt; aus dem gemessenen Abstand kann der Konjunktions-Abstand sehr genau, aber rechenintensiv extrapoliert werden.

Zwei Effekte sind zu erwarten, die die Laufzeit gegenüber dem klassischen Fall vergrößern: 1) Äquivalenzprinzip, d.h. Zeitdilatation wg. Gravitations-Rotverschiebung (125 μ sec Verzögerung); 2) sonnennahe Raumkrümmung ist "Umweg" (zufällig 125 μ sec Verzögerung laut AR, etwas weniger laut Brans-Dicke).

Damit haben wir einen direkten Test der AR. Messungen 1967 ergaben ihre Bestätigung mit 20% Genauigkeit; ähnliche Genauigkeiten ergaben sich für die Venus.

- Mariner Die Raumsonden Mariner sechs und 7 erlaubten 1969/70 unglaubliche 3% Genauigkeit; exaktere Echo-Definition aufgrund der Transponder-Technik verbessert den Wert gegenüber den schlecht definierten und schwachen passiven Echos an Planetenoberflächen. Allerdings ist die Bahn der leichtgewichtigen Sonden stärker verrauscht als die eines Planeten (Lichtdruck etc.).
- Viking Darauf Messungen an der auf Mars gelandeten Viking-Lander-Sonden 1 und 2 (1977); zusätzlich X- und S-Bandmessung, die erlauben, aufgrund der Frequenzdifferenz frequenzabhängige Verzögerungseffekte in der äußeren, sehr turbulenten Sonnenatmosphäre zu korrigieren. Nach eineinhalb Jahren Auswertung ergab sich eine AR-Bestätigung von fantastischen 0,1%!
- G=konstant (556p183f) Viking-Lander 1 geht zu gut auf der Venus und lebt statt neun Monaten sechs Jahre. Ermöglicht traumhaft genaue Langzeitmessungen astronomischer Parameter des Sonnensystems, aus denen hervorgeht, dass die Gravitationskonstante mit einer relativen Genauigkeit von 10^{-11} /Jahr konstant bleibt, wie es die AR will. Damit ist die Konstanz aber noch nicht in Sicherheit!
- Starkes Äquivalenzprinzip (556p137-150)
- Nordtvedt-Effekt Starkes Äquivalenzprinzip gilt, wenn die Gravitations-Bindungsenergie-Masse genauso gravitationsbeschleunigt wird wie andere Massen. K. Nordtvedt leitete 1967 her, dass dieses Prinzip für die AR gilt, für Brans-Dicke (u.a. Theorien) aber nicht: hier sind die Gravitationsgleichungen nichtlinear, schwere und träge Massen nicht exakt gleich, so dass gleiche Massen nicht immer gleich beschleunigt würden. Nach Brans-Dicke wird der Mond wegen seiner geringeren Gravitations-Bindungsenergie im Schwerefeld der Sonne stärker beschleunigt als die Erde, was sich in leichter Deformation seiner Bahn um die Erde äußert. Nach Brans-Dicke ergibt dieser Nordtvedt-Effekt ganze 130 cm Abweichung gegenüber dem Fall starker Äquivalenz.
- Apollo Hauptziel des Apollo-Lasermessprogramms war die Verifikation des Nordtvedt-Effekts! Durch Lasermessungen an ab APOLLO-11 am 21.7.69 auf dem Mond platzierten Rückstrahlern konnte der Mondabstand im Dezember 1971 mit 15 cm Genauigkeit vermessen werden. Mittlerweile war die komplizierte, schwer gestörte Mondbahn hinreichend genug vermessen worden, um den Nordtvedt-Effekt zu prüfen. Die sehr komplexe Auswertung wurde von zwei Teams völlig unabhängig durchgeführt: im Rahmen von 30cm Genauigkeit null Effekt: Bravo AR, sorry Brans-Dicke.
- Offen ist bis heute das Problem der Sonnenabflachung: “schwingende Verzerrungen der Sonne bei wohldefinierten Frequenzen...”, die von einem Dutzend Zyklen pro Stunde bis hin zu einem mehrere Stunden dauernden Zyklus”, empfindlich abhängig von Rotation des Sonneninnern, 6x schneller als außen. Halbe Bogensekunde Beitrag zur Merkur-Perihel-Drehung, “unangenehm groß” für AR-Vorhersage von 0,2 Bogensekunden. (556p103) Jedoch tatsächlicher Abflachungswert stark mit Annahme über Physik der Sonnenatmosphären belastet; direkte Messungen mit Weltraumsonden wären wünschenswert.(556p103f)

<Riesenglücklicher Zufall> und anthropisches Prinzip vgl. →R9

- (14p198) “Die Naturkonstanten, durch die sich unser Kosmos definiert, sind in vielerlei Hinsicht rätselhaft”, möglicherweise zufällig bzw. auf Zufälle in der kosmischen Entwicklung zurückgehend; es gebe jedenfalls keine Erklärung für die Werte, die sie nun mal haben, “würden jedoch einige davon nur wenig verändert, könnten keine organisierten komplexen Strukturen existieren (von denen Leben nur ein extremes Beispiel darstellt). Es gibt eine ganze Anzahl berühmter, fein aufeinander abgestimmter Koinzidenzen, was den Wert der Naturkonstanten angeht. Gäbe es sie nicht, würden auch wir nicht existieren. Wir wissen jedoch nicht, ob diese Zusam-

menhänge glückliche Zufälle unter allen (oder zumindest vielen) möglichen Ergebnissen sind, oder ob es nur eine einzige mögliche Kombination dieser Naturkonstanten gibt, die in sich widerspruchsfrei ist. Können die Konstanten auch andere Werte annehmen”, wie “erste Überlegungen” zu einer Superstring-Theorie (SST) nahelegen, “dann ließen sie sich auch passend einstellen, wenn Universen experimentell als Vakuumschwankungen ‘geschaffen’ werden.”

Verdächtig gute Feinabstimmung: vgl. Updike, Gottesprogramm (515) und Breuer (46)

Barrows stellt sich eine Superzivilisation vor, mit nichts anderem beschäftigt als dem Feintuning dieser Konstanten im Hinblick auf Chancenoptimierung biologischer Evolutionen, und stellt fest: “Die Tatsache, dass sich unser Universum durch etwas auszeichnet, das manche als verdächtig gute Feinabstimmung der Naturkonstanten betrachten, könnte sogar als Beweis dafür angenommen werden, dass diese Abstimmung langlebiger Universen durch fortgeschrittene Bewohner schon seit vielen kosmischen Zeitaltern im Gang ist. Leider kann diese amüsante Theorie nicht erklären, warum die Konstanten jene für die Entstehung von Leben günstigen Wert hatten, lange bevor die Fähigkeit zur Feineinstellung von ‘Baby-Universen’ existierte. Das zwingt anzunehmen, dass das Leben glücklicherweise ein gastfreundliches Universum vorfand oder dass das Leben innerhalb einer großen Bandbreite möglicher Werte für die Naturkonstanten virtuell unvermeidlich ist.”

(14p¹⁹⁹)

“Der britische Kosmologe Fred Hoyle kommentierte seine Entdeckung der seltsam zufälligen Anordnung der Energieniveaus in den Kohlenstoff- und Sauerstoffkernen, ohne die es uns vermutlich nicht gäbe, einmal mit folgenden kühnen Worten:

Hoyle

‘Ich glaube, dass jeder Wissenschaftler, der die Frage genauer betrachtet, zu dem Schluss kommt, dass die Gesetze der Kernphysik ganz bewusst im Hinblick auf die Folgen, die sie im Innern von Sternen verursachen, entworfen wurden. Wenn dies so ist, dann sind alle scheinbaren Zufälligkeiten Teil eines tieferliegenden Plans. Andernfalls stehen wir wieder vor einer monströsen Folge von Zufällen.’

Mit ähnlichen teleologischen Vermutungen reagierte Freeman Dyson auf die zufälligen Koinzidenzen zwischen der Stärke der elektromagnetischen Kraft und den Kernkräften, die einen zu schnellen Materieverbrauch bei den Kernreaktionen in Sternen verhindern – bei einem zu schnellen Ausbrennen der Sterne würde in ihrer Umgebung jedes lebensfreundliche Milieu verschwinden, lange bevor die Evolution komplex biologische Strukturen hervorbringen könnte.

Dyson

‘Wenn wir den Kosmos betrachten und die vielen physikalischen und astronomischen Zufälle sehen, die sich zu unserem Vorteil ausgewirkt haben, scheint es fast, als hätte das Universum gewissermaßen von unserem Kommen gewusst.’

Evolution oder Aufzucht von Universen

(14p²⁵⁹)

Die meisten Evolutionsbiologen würden den Einfluss “selbstorganisierender physikalischer Prozesse” bei der biologischen Evolution “strikt ausschließen”, und in Fußnote 27 wird Dawkins genannt (was uns nicht wundert), aber auch Gould (was uns sehr wundert). Als Gegenbeispiel nennt er Kauffman (271).

Der entsprechende Umkehr-Dogmatismus ist der reduktionistische Fundamentalismus der ‘harten’ Naturwissenschaften:

“Physiker und Astronomen gehen ... davon aus, dass alle grundlegenden Phänomene mit Hilfe der Gesetze erklärt werden müssen, die für die vier Grundkräfte der Natur gelten. Die umständliche Erklärung einer fundamentalen Eigenschaft des sichtbaren Universums als Folge irgendeines Selektionsprozesses wäre ihnen zuwider.” So aber könne man die Spekulationen von Smolin und Harrison über inflationäre Universen verstehen:

(14p259-260)

“Bei Smolin handelt es sich gewissermaßen um eine ‘natürliche’ Auslese; durch die größere Zahl ^{p260} Schwarzer Löcher steigt hier die Chance, dass eine spezifische Variante des Universums überlebt. Bei Harrison gehen die Änderungen dagegen auf das bewusste Eingreifen intelligenter Wesen zurück, so dass man von ‘künstlicher Auslese’ oder ‘erzwungenem Ausbrüten’ blasenförmiger Universen sprechen sollte.”

‘Züchten’ heißt das Wort.

”Auch Lindes sich selbst reproduzierende Inflation lässt sich als Evolution durch natürliche Auslese deuten. Jede inflationäre Blase erzeugt Nachkommen, die die wieder der Inflation unterliegen (Reprodukt). Die definierenden physikalischen Konstanten und andere Eigenschaften dieser Baby-Universen weisen kleine Änderungen auf (*Variation*), doch sie enthalten auch noch Spuren der physikalischen Merkmale jener Blase, aus der sie hervorgegangen sind (*Vererbung*). Diejenigen Sorten von Blasen, die die meisten Baby-Universen produzieren, vermehren sich stark und dominieren auf Dauer das Universum. Wenn wir nun den Biologen glauben, dass Leben ein durch *Reproduktion, Variation und Vererbung* definierter Prozess ist, dann ergibt sich aus all dem die höchst erstaunliche Konsequenz, dass das sich selbst reproduzierende Universum ein lebender Organismus ist!

Topologie des Universums

(14p262-263)

Einsteins Gleichungen “sagen ^{p263} uns, wie wir aus der Verteilung von Sternen und Galaxien die Geometrie [*lies: die metrischen Eigenschaften*] des Universums bestimmen können, aber seine Topologie [*als allgemeinere geometrische Eigenschaft*] lassen sie offen. Bei einem kritischen oder offenen Universum, so nehmen die Astronomen der Einfachheit halber an, entspricht die Topologie der eines endlosen flachen Tuches, und dies nennen sie die ‘natürliche’ Topologie.”

“Da die Möglichkeit, dass die Topologie des Universums nicht natürlich, sondern ‘unnatürlich’ ist, bei weitem größer ist, lässt sich sogar die Meinung vertreten, dass eine unnatürliche Topologie wahrscheinlicher sei.”

Fußnote:

“Man hat auch herauszufinden versucht, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Universum mit anfänglichen Quanteneigenschaften eine natürliche Topologie aufweist. Leider ist das Ergebnis alles andere als eindeutig: je nach Art der Berechnung erhält man verschiedene Lösungen.”

Im Falle einer Torus-Topologie müsste das Licht unaufhörlich im Zylinder umlaufen, so dass alle Himmelsobjekte theoretisch unendlich viele Bilder erzeugen müssten, worauf es bisher keine Hinweise gebe. Die vom Satelliten C*O*B*E gemessenen Bilder sähen ganz anders aus, “wenn das Universum bis zu einer Grenze von etwa 15 Milliarden Lichtjahren eine andere Topologie hätte als ein ausgebreitetes, flaches Tuch.”

Beobachtungen, anhand deren wir uns ein Gesamtbild der Topologie des Universums machen können, seien uns versperrt. “Das ist sehr bedauerlich, denn ob es der Physik gelingen wird zu zeigen, ob bzw. wie ein Universum aus dem ‘Nichts’ geschaffen werden kann, dürfte sehr stark davon abhängen, welche Topologie das zu schaffende Universum hat.”

Anfang der Welt

(14p264)

Die religiöse und mythologische Überlieferung habe mindestens Einfluss auf die Wahl der naturwissenschaftlichen Modelle. Die Mythen liefern “Ansatzmöglichkeiten für kosmologische Theorien”. Die unserer Kultur verbreiteten kosmologischen Mythen berichten von einem Anfang der Welt, und die Interpretation dieser Berichte sei tausend Jahre lang Gegenstand des Theologenstreits gewesen, “einschließlich des subtilen Problems, ob mit der Welt auch die Zeit geschaffen wurde oder nicht”.

- (14p265) “Dieser kulturelle Hintergrund bildete geradezu einen Nährboden für die Vorstellung von einem expandierenden Universum.”
- (14p266) “Unsere überkommenen religiösen Anschauungen (oder Abwehrgefühle gegen sie) könnten unter Umständen unsere Neigung verstärken, der modernen mathematischen Kosmologie eine bestimmte Richtung zu geben. Manche Kosmologen suchen nach Modellen mit einem Anfang und bemühen sich, diesen mathematisch darzustellen. Andere betrachten die die Vorhersage eines Anfangs als Zeichen, dass die betreffende Theorie unter extremen Bedingungen versagt, und versuchen, dies durch eine Modifikation der Gravitationstheorie zu vermeiden.”
- (14p266) Singularitätstheorem von Penrose und Hawking: Alle Teilchenbahnen sind endlich, vorausgesetzt, “dass die Gravitation in jedem Fall Anziehungskraft ausübt”. [Sic; gemeint ist: dass jede Form von Materie mit Gravitation verbunden ist] NB: daneben gebe es noch weitere Annahmen (gefährlich, diese zu verstecken!)
Daraus folge dann die metaphysische Aussage, dass der 'Anfang der Welt' kein Artefakt unserer Beschreibung ist (wie die Pole der Erde, die eine Singularität der Koordinaten darstellen, aber die physikalische Stetigkeit im Wesentlichen unberührt lassen), sondern eine reale physikalische Begebenheit.
- (14p266) “Zwischen 1966 und 1975 lieferte das ‘Singularitätstheorem’ sehr gute Gründe für die Überzeugung, dass unser sichtbares Universum (das manche Kommentatoren stillschweigend mit dem Universum gleichsetzten) einen Anfang hatte. Die beiden entscheidenden Annahmen des Theorems – die gravitative Anziehungskraft sowie das Vorhandensein von genügend Materie und Energie im Universum – schienen zuzutreffen. Die Mikrowellenhintergrundstrahlung, so stellte sich heraus, lieferte genug Masse und Energie, und alle von den Physikern bisher experimentell entdeckte oder theoretisch postulierte Materie zeigt gravitative Anziehungskraft. Das Theorem schien also für unser Universum gültig zu sein.”
- Extremalpolation als Quelle des Aberglaubens** (Extrapolation vom Normalen ins Extreme)
- Der Schluss vom Normalen aufs Extreme zeigt sich immer wieder als fragwürdig: mit Sprüngen von Quantität in Qualität muss immer gerechnet werden. Die Kosmologie liefert dafür so manches Beispiel – wie hier im Falle extrem hoher Temperatur:*
- (14p267–268) Nach 1975 begann sich die Situation zu ändern. Die Kosmologen begannen ernsthaft darüber nachzudenken, welche Auswirkung die quantenphysikalische Unbestimmtheit auf die gravitative Anziehungskraft hat. Neue Forschungsarbeiten über das Verhalten von Elementarteilchen bei extrem hohen Temperaturen regten neue Bemühungen an, die Frühphase des Universums zu rekonstruieren und entsprechende Theorien anhand astronomischer Beobachtungen zu überprüfen. Alle diese Arbeiten führten letztlich zu Alan Guths These eines inflationären Universums... Eines stellten die Untersuchungen jedenfalls klar: die vorhandenen Elementarteilchentheorien legen unvermeidlich die Annahme neuer Typen von Materie nahe. Diese neuen Teilchen – die Skalarfelder, die die Inflation in Gang setzen – können negativen Expansionsdruck erzeugen, und wenn sie sich in jener Frühphase nur sehr langsam verändern, rufen sie ^{p268} Antigravitation hervor ... Die Elementarteilchenphysik lieferte viele plausible Anhaltspunkte für Materiefelder, die unter dem Einfluss sehr großer Energien Antigravitation entwickeln, und dies wiederum macht es möglich, dass sich die Inflation voll entfalten kann.”
- Da damit die Voraussetzungen des Singularitätstheorems nicht mehr gegeben sind, ist “die Singularität der Frühzeit des Kosmos nicht mehr zu beweisen”.
- Das ‘Multiversum’ gebärt im Zuge ‘ewiger Inflation’ ständig neue ‘Baby-Universen’, “von denen manche sich zu Universen in der Größe unseres sichtbaren Universums aufblähen, während einfach andere kollabieren und sich in eine Wolke

von Raum und Zeit auflösen”. “Dieser Prozess scheint endlos weiterzugehen. Ob er jedoch auch einen Anfang hat, diese Frage können wir noch nicht beantworten.”

Kosmische Unschärfen: Plancklänge, -zeit, -energie

(14p268–269)

“Es gibt einen Zeitpunkt in der Vergangenheit, vor dem die grundlegenden Annahmen der einsteinschen Gravitationsgleichungen keine Gültigkeit mehr besitzen. Raum und Zeit unterliegen dann einer quantenphysikalischen Unbestimmtheit, die in Einsteins Theorie unberücksichtigt bleibt, aber bedeutsam wird, sobald man ^{p269} räumliche Strukturen mit Abständen unter 10^{-33} cm, Zeitintervalle unter 10^{-43} Sekunden oder Energien über 10^{19} GeV zu bestimmen versucht.” (Plancklänge, Planckzeit, Planckenergie)

Um den Zeitraum vor 10^{-43} Sekunden nach Urknall zu untersuchen, ist eine Quantentheorie der Gravitation erforderlich. “Am aussichtsreichsten ist die Superstring-Theorie, doch ist unklar, ob sie singuläre Universen zulässt oder nicht.”

Explodierende Schwarze Löcher

(14p271)

Hawking hat gezeigt: Schwarze Löcher “strahlen von ihrer Oberfläche Teilchen und Strahlung ab und verdampfen dabei, wenn auch extrem langsam.” Bei Schwarzen Löchern, die das Endstadium einer Sternentwicklung darstellen, bleibt es bei dieser Langsamkeit, und es passiert nichts Aufregendes. Anders dagegen mit den sehr viel kleineren Schwarzen Löchern, wie sie sich nur in der frühesten Entwicklungsphase des Universums – um die 10^{-23} sec nach Urknall – haben bilden können, und die heute so auf 10^{14} g (Masse eines kleinen Berges) geschrumpft sind. “Mit dem Verlust an Masse steigt die Temperatur der Strahlung und auch die Verdampfungsgeschwindigkeit. Ebenso wird der Ereignishorizont immer kleiner. Wenn die planckschen Werte erreicht werden, explodiert ein Schwarzes Loch in einer Art Mini-Urknall. Wir wissen nicht, was dann von ihm übrigbleibt *[oder was daraus entsteht – W.S.J.]*. Doch wenn sich eine solche Explosion aus der Nähe beobachten ließe, könnten wir für einen Augenblick einen Eindruck von den physikalischen Vorgängen nahe der Planck-Zeit gewinnen, ohne die Abschirmung eines Ereignishorizonts.”

... und damit womöglich eine Verletzung der ‘Kosmischen Zensur’, die laut Penrose uns arme Erdenwürmer gnädig vor dem obszönen Anblick einer nackten Singularität abschirmt.

(14p271-272)

Auf ihrer Suche nach explodierende Schwarzen Löchern gehen Astronomen “davon aus, dass diese Löcher hochenergetische Gammastrahlen abstrahlen und Ausbrüche von starken Radiowellen und kosmischer ^{p272} Strahlung zeigen.” Sowohl messtechnische als auch theoretische Chancen stehen schlecht; möglicherweise habe die Inflation alle Unregelmäßigkeiten in der frühen Masseverteilung so geglättet, dass es zu keinen passenden Schwarzen Löchern gekommen sei. Lediglich zu Ende der Inflationsphase geben einige “unorthodoxe Versionen der Inflationstheorie” ein Entstehungsfenster frei.

Quantengravitation und Zeitreisen

(14p304-305)

Integration über Zeitpfade erstrecken?

“David Deutsch hat sich mit quantentheoretischen Aspekten der Zeitreise beschäftigt. Er meint, dass man die Möglichkeit von Zeitreisen ernsthaft prüfen muss, wenn man zu einer korrekten Formulierung für die Theorie der Quantengravitation kommen will. Bei der Berechnung der Wahrscheinlichkeit bestimmter Veränderungen im Weltraum können wir Zeitreisen einbeziehen oder unberücksichtigt lassen. Es wäre interessant, experimentelle Bedingungen zu schaffen, bei denen die relative Häufigkeit von Ergebnissen damit zusammenhinge, ob Zeitreisen berücksichtigt sind oder nicht. So könnte experimentell überprüfen, ob Zeitreisen in der Wirklichkeit vorkommen oder nicht. Deutsch schlägt eine quanten-

theoretische Lösung der 'Großvater-Paradoxa' [die entstehen, wenn Zeitreisende ihre Großväter umlegen] vor. Er zeigt, dass das 'Quantenuniversal', in das der Zeitreisende zurückkehrt, nie dasselbe sein kann (Im Sinne von Everetts 'Mehrweltentheorie'). Deutsch ist bei dem Gedanken unwohl, dass man durch eine Reise in die Vergangenheit kostenlos Informationen ^{p305} sammeln könnte, um dann irgendetwas zu 'erfinden'. Natürlich wäre dadurch die ganze Evolution durch natürliche Auslese umgangen. Man könnte Organismen trainieren oder vor Risiken warnen, die ihnen in der Entwicklungsgeschichte noch bevorstehen. Deutsch sucht dieses Unbehagen über Zeitreisen wie in der Wissenschaft üblich auf bestimmte Prinzipien zu stützen und schlägt in diesem Fall ein Evolutionsprinzip vor, das verbieten soll, mit Hilfe von Zeitreisen kostenlos Informationen zu erhalten."

So wie es hier zitiert ist, klingt es ein wenig arg adhoc. Es sollte möglich sein, solche Prinzipien aus einfacheren (am besten schon bekannten) herzuleiten – ähnlich wie beim maxwellschen Dämon, wo aus der Aufstellung der Entropiebilanz alles folgt; qualitatives Argument genau wie beim Großvater: dort (im temporalen Sinne), wo ich den 'frühen' Organismen etwas 'mitteile', zweigt ein neues Universum ab, und das vorherige, wo die Organismen nach wie vor unbelehrt sind, bleibt unverändert, und es bleibt dem Zeitreisenden auch fürderhin verschlossen.