Das Schicksal des Universums

Günther Hasinger, MPE Garching

Galaxien

Wenn wir einmal das Glück haben, in einer sternklaren Nacht an den Himmel zu schauen, sehen wir das helle Band der Milchstraße über uns. Abbildung 1 zeigt das Panorama der gesamten Milchstraße. In der Mitte der Abbildung, die den gesamten Himmel umfasst, ist das galaktische Zentrum, für das unbewehrte Auge unsichtbar. Bei genauerem Hinsehen stellen wir fest, dass das schwache Leuchten aus Tausenden von Sternen besteht. Wir scheinen uns mitten in einer Scheibe aus Sternen zu befinden. Fast alle Objekte, die wir mit bloßem Auge am Nachthimmel sehen, sind Sterne unserer Milchstraße – der Galaxis. Nur in der rechten unteren Hälfte des Bildes sind zwei kleine Nebelflecken zu finden, von denen der Seefahrer Maggellan 1521 berichtete. Die Magellan'schen Wolken sind zwei kleine, der Milchstraße nahe gelegene Galaxien.

Hätten wir Infrarot-Augen, so könnten wir die Milchstraße so sehen wie in Abbildung 2, die mit dem Infrarot-Instrument DIRBE des amerikanischen Satelliten COBE aufgenommen wurde: ein schmales, helles Band von Sternen durchsetzt mit Staub und mit einer zentralen Verdickung: dem Galaktischen „Bauch" – ein bisschen wie man sich eine fliegende Untertasse vorstellt. Das sichtbare Licht der weit entfernten Sterne wird durch dazwischen liegende Gas- und Staubwolken verschluckt, so dass wir mit dem bloßen Auge nur die am nächsten liegenden Sterne sehen können, während die langwellige Infrarotstrahlung ungehindert durchdringt. Unser Sonnensystem liegt also weit ab vom Zentrum der Milchstraße, so weit dass wir diese so beobachten, wie vergleichbare, genau von der Kante gesehene Galaxien. Wenn wir uns über die Ebene der Milchstraße hinaus erheben könnten, würden wir feststellen, dass unsere Galaxie ein gigantisches Spiralrad aus Sternen und Gasnebeln ist, sehr ähnlich der wunderschönen Spiralgalaxie NGC 1232 in der Abb. 3, die mit dem Very Large Telescope der ESO in der chilenischen Atacama-Wüste aufgenommen wurde. Diese relativ nahe Galaxie sehen wir fast genau von oben. Wie an Perlenschnüren aufgereiht sieht man die jungen, blauen Sterne in den Spiralarmen der Galaxie, während im Zentrum die älteren, roten Sterne vorherrschen. Insgesamt gibt es in der Milchstraße oder anderen typischen Spiralgalaxien etwa 100 Milliarden Sterne. Das Sonnensystem liegt in unserer Galaxie am Rand eines der äußeren Spiralarme und was wir als „Milchstraße" sehen, sind die Sterne, Gas- und Staubwolken der uns umgebenden Spiralarme.

Das 1990 gestartete Weltraumteleskop „Hubble", benannt nach dem amerikanischen Astronom Edwin Powell Hubble, ist immer noch das schärfste Auge, das die Astronomen besitzen. Mit Hilfe dieses Hubble Space Teleskops (HST) hat eine internationale Gruppe von Astronomen 1996 ein eigentlich leeres Himmelsfeld im Sternbild des Großen Wagens etwa eine Woche lang durchgehend belichtet und dabei mit die schwächsten und am weitesten entfernten Objekte entdeckt, die je ein Mensch gesehen hat. Das „Hubble Deep Field" in Abb. 4 zeigt auf einer Himmelsfläche, die etwa 100 Mal kleiner ist als der Vollmond, eine bizarre Vielfalt von Objekten in allen Formen und Farben. Während man mit bloßem Auge am Nachthimmel praktisch nur Sterne aus unserer eigenen Milchstraße erkennt, ist es in diesem Bild umgekehrt: bis

auf zwei Sterne sieht man nur weit entfernte Galaxien. Hochgerechnet auf den ganzen Himmel sehen wir hier etwa 100 Milliarden Galaxien. Die am schwächsten leuchtenden Objekte müssen sehr weit von uns entfernt sein, ihr Licht war deshalb sehr lange zu uns unterwegs, zum Teil mehr als die Hälfte des Alters des Universums. Wir beobachten deshalb diese Galaxien nicht so, wie sie heute aussehen würden, sondern so wie sie ausgesehen haben, als sie noch wesentlich jünger waren, quasi in ihrer Kinderstube. Tatsächlich sieht man in diesem Bild nur wenige große, ausgeprägte Spiralen, sondern hauptsächlich Objekte, die viel kleiner und unregelmäßiger sind, als die heutigen Galaxien. Häufig scheinen mehrere Galaxien in einem Tanz umeinander verwoben, sich zum Teil sogar gegenseitig zu durchdringen. Wir werden noch sehen, dass dies wahrscheinlich ganz normale Entwicklungsstufen von Galaxien darstellt. Die Farben der Galaxien lassen zum Teil auf das Alter ihrer Sterne schließen, blaue Galaxien haben viele junge, rote mehr alte Sterne. Durch den im nächsten Kapitel behandelten Effekt der kosmologischen Rotverschiebung erscheinen jedoch die weiter entfernt liegenden Objekte röter.

Kosmologische Rotverschiebung

In den Farben des Regenbogens sehen wir das Spektrum der Sonne. Josef Fraunhofer hat im Jahre 1818 im Sonnenspektrum dunkle Linien entdeckt, die von den verschiedenen chemischen Elementen auf der Sonnenoberfläche herrühren, wie wir heute wissen. Jeder Stern zeigt ein charakteristisches Muster dieser Spektrallinien, aus dem sich seine chemische Zusammensetzung oder die Temperatur an seiner Oberfläche ableiten lassen. Ende des 19. Jahrhunderts wurde von Hermann Carl Vogel in Potsdam die Technik entwickelt, aus der Verschiebung der Spektrallinien auf die Geschwindigkeit von Sternen zu schließen. Dabei wird der von dem Wiener Physiker Christian Doppler im 19. Jahrhundert entdeckte Doppler-Effekt ausgenutzt, den wir alle aus eigener Anschauung kennen. Wenn sich eine Schallquelle mit großer Geschwindigkeit auf den Beobachter zu bewegt, erscheint ihr Ton höher, als wenn sie sich weg bewegt. An vorbei rasenden Polizeiautos oder Rennwagen kann man diesen Effekt deutlich hören. Im Falle einer Lichtquelle, die sich auf uns zu bewegt, erscheint das Spektrum zum Blauen hin verschoben, falls sie sich entfernt, zum Roten.

Galaxien bestehen zu einem großen Teil aus Sternen, deshalb finden sich auch in ihren Spektren ähnliche Spektrallinien. Anfang des 20. Jahrhunderts konnten Edwin Hubble und eine Reihe anderer Astronomen zeigen, dass die Spektrallinien bei den meisten Galaxien zum roten Teil des Spektrums hin verschoben sind, dass sich diese also überwiegend von uns weg zu bewegen scheinen, zum Teil mit sehr großen Geschwindigkeiten. Nur die Galaxien in unserer unmittelbaren Nachbarschaft bewegen sich auf uns zu. Noch überraschender war, dass sich die Galaxien um so schneller fort bewegen, je weiter sie von uns entfernt sind – das ganze Weltall scheint auseinander zu fliegen. Dabei entfernen sich die Galaxien nicht etwa nur von uns, sondern jede Galaxie von jeder anderen, etwa wie die Rosinen in einem Hefeteig, der während des Backens aufgeht.

Der Urknall

Die schematische Darstellung in Abb. 5 zeigt, dass zu einem späteren Zeitpunkt alle Galaxien weiter auseinander stehen werden, zu einem früheren Zeitpunkt aber alle viel näher beisammen gewesen sein müssen. Die einfache Extrapolation ergibt damit einen Anfangszeitpunkt, zu dem das gesamte Universum auf extrem kleinem Raum mit extrem hoher Dichte zusammen gepresst gewesen sein muss. Ein derartiges expandierendes Universum hatte sich bereits 1917 aus Einsteins Feldgleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie ergeben und wurde von dem holländischen Astronom Willem de Sitter theoretisch vorhergesagt. Der russische Physiker Gamow hat als erster den Schluss gezogen, dass das Universum in seiner Frühzeit extrem heiss gewesen sein muss. Ähnlich wie bei einer Luftpumpe, bei der die zusammengepresste Luft heiß wird, gilt dies auch für die auf extrem kleinem Raum zusammengequetschte Ur-Materie. Fred Hoyle, ein Kritiker dieser Theorie wollte sich über diese Interpretation lustig machen und erfand den Namen „Big Bang“, der sich bis heute durchgesetzt hat. Den Folgen dieses „Urknalls“ sind die Astrophysiker und Kosmologen heute mehr denn je auf der Spur.

Ich möchte hier nicht auf die bisher noch weitgehend unklare Physik des inflationären “Ur-Ereignisses” eingehen. Jedoch schon etwa 10^{-32} Sekunden nach dem Urknall kann das junge Universum mit der heutigen Standard-Physik beschrieben werden. Seit diesem Zeitpunkt kühlt der ursprünglich 10^{28} Grad heiße Feuerball kontinuierlich ab, wobei nach und immer mehr der uns bekannten Teilchen und Strukturen “ausfrieren”. Abb. 6 zeigt die verschiedenen Phasen der kosmischen Evolution. Etwa eine Sekunde nach dem Urknall ist die zunächst aus Quarks, Gluonen und höchstenergetischen Photonen bestehende “Quark-Suppe” so weit abgekühlt, dass sich jeweils drei Quarks zu Protonen und Neutronen zusammenschließen und von der nun immer niedriger werdenden Energie der Photonen nicht mehr auseinandergebrochen werden können. Inzwischen herrscht in dem Feuerball nur noch eine ähnliche Temperatur wie im Inneren unserer Sonne. Wie im Kernfusions-Ofen der Sonne schließt sich ein Teil der Protonen und Neutronen zu Heliumkernen und einigen anderen leichten Atomkernen zusammen. Mit der Kernsynthese in den ersten Minuten beginnt der Aufbau des Periodensystems der Elemente. Alle schwereren Kerne, zum Beispiel die für die Entwicklung von Sternen und Planeten notwendigen Elemente Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff, werden erst später durch die Fusion im Bauch von Sternen “gebacken”.

Das Aufklaren und der Mikrowellen-Hintergrund

Nach einem Zeitraum von etwa 100.000 Jahren, als das junge Universum etwa 1000 mal kleiner war als heute, hatte es sich auf 3000 Grad Kelvin abgekühlt. Diese Temperatur ist vergleichbar mit der Oberfläche der Sonne (5000 Grad) oder dem Inneren einer Kerzenflamme (ca. 2000 Grad). Zu diesem Zeitpunkt durchläuft das Universum einen Phasenübergang, der sein Aussehen dramatisch verändert (siehe Abb. 7). Materie und Wärmebad entwickeln sich seither ohne wesentliche Wechselwirkung. Vor der Entkopplung ist die Energie der Lichtquanten höher als die Bindungsenergie des Wasserstoffs. Die Elektronen und die Atomkerne sind deshalb getrennt: dieser Zustand wird als Plasma bezeichnet. Die Lichtquanten wiederum werden ständig durch die Elektronen von ihrer geraden Bahn abgelenkt, das Universum ist damit undurchsichtig wie ein dichter Nebel. Sobald die Temperatur unter 3000 Grad abfällt, können sich Protonen und Elektronen zu Wasserstoffatomen zusammenschließen. Damit ist die Bahn frei für die Photonen, die sich seither ungehindert durch den Raum bewegen – der Nebel klart auf. Wir können diesen

Phasenübergang relativ einfach im täglichen Leben beobachten. Abbildung 8 (links) zeigt den Schattenwurf einer Kerzenflamme. Man erkennt deutlich, dass das Feuer der Kerze nicht nur aus der leuchtenden Flamme besteht, sondern dass darüberhinaus das heisse, verbrannte Gas nach oben hin abströmt. Dies ist der Grund, warum man sich auch noch weit oberhalb einer Kerzenflamme die Finger verbrennen oder ein Streichholz entzünden kann. Das rechte Bild zeigt die Nahaufnahme einer Kerzenflamme sowie wiederum deren Schatten. Erstaunlicherweise ist der Schatten der Flamme dunkel, diese ist also undurchsichtig. Die scharfe Grenze der Kerzenflamme ist durch den Übergang zwischen dem undurchsichtigen Plasma- und dem durchsichtigen Gas-Zustand gegeben.

Das Aufklaren im frühen Universum ist damit ein relativ alltäglicher Vorgang. Es war wiederum Gamow, der 1948 als erster auf die Idee kam, dass die Lichtquanten, die damals von dem aufklarenden, heißen Plasmaball ausgesandt wurden, noch heute frei durch den Raum fliegen müssen. Inzwischen hat sich jedoch ihre Energie durch die von der stetigen Ausdehnung des Universums verursachte Verdünnung etwa Tausend mal verringert, die Temperatur muss auf wenige Grad über dem absoluten Nullpunkt abgesunken sein (siehe Abb. 6). Eine andere Betrachtungsweise des selben Tatbestandes sagt aus, dass wir, wenn wir in die Tiefen des Kosmos und damit zurück in die Anfänge der Zeit blicken, den Zustand des Universums zum Zeitpunkt der Entkopplung, den sogenannten Feuerball, direkt beobachten können. Wir sehen eine heiße Plasma-Wand (wie die scharfe Grenze der Kerzenflamme), die sich aber fast mit Lichtgeschwindigkeit von uns entfernt. Das von ihr ausgesandte Licht ist dementsprechend sehr stark rotverschoben, die ursprüngliche Temperatur von etwa 3000 Grad sehen wir deshalb auf etwa 3 Grad Kelvin abgekühlt. Das von Gamow vorhergesagte “Echo” des Urknalls wurde im Jahr 1964 zufällig von den amerikanischen Radioastronomen Arno Penzias und Robert Wilson entdeckt, als sie versuchten, eine erhöhte Hintergrunds-Temperatur ihrer Radio-Antenne zu verstehen, die aus allen Himmelsrichtungen und zu allen Tages- und Nachtzeiten gleich erschien. Die kosmische Mikrowellen-Hintergrund-Strahlung, für deren Entdeckung Penzias und Wilson später den Nobel-Preis erhielten, wurde in den Jahren 1989-1994 von dem Cosmic Background Explorer (COBE) Satelliten der NASA in wunderschönem Detail vermessen. COBE konnte dabei nicht nur die Temperatur der Strahlung auf exakt 2.725 Grad Kelvin festlegen, sondern fand darüber hinaus am Himmel verteilt noch minimale Schwankungen der Temperatur in der Größenordnung von einigen hundertausendstel Grad (siehe Abb. 9), welche die ersten, primordialen Strukturen im Universum darstellen.

Die Theorie sagt auch voraus, dass der ursprüngliche Feuerball minimale oszillatorische, sogenannte „akustische“ Schwingungen ausgeführt haben sollte, ähnlich wie ein mit Wasser gefüllter Luftballon oder der berühmte grüne „Wackelpudding“. Die detaillierte Form und Frequenz dieser Schwingungen hängt von der Gesamt-Energie und dem Anteil der Materie im Universum ab. Es kann als ein Triumph der Urknall-Theorie angesehen werden, dass mit Hilfe höher aufgelöster Messungen der Mikrowellen-Hintergrund-Strahlung mit Höhenforschungs-Ballonen und bodengebundenen Interferometern in den letzten Jahren die vorhergesagten akustischen Schwingungen im Hintergrund beobachtet werden konnten. Diese Messungen geben Hinweise auf die Existenz einer „Dunklen Materie“ (siehe unten), sowie einer bisher noch vollkommen unverstandenen „Dunklen Energie“ die scheinbar die Expansion des Kosmos auch heute noch beschleunigt (siehe dazu den Artikel „Die Zukunft des Universums“ im selben Tagungsband).

Dunkle Materie und Strukturbildung

Nach unserem heutigen Verständnis bilden die minimalen Fluktuationen der Mikrowellen-Hintergrunds-Strahlung winzige Dichteunterschiede im Universum zum Zeitpunkt der Entkopplung zwischen Strahlung und Materie ab. Sie stellen damit die ersten großräumigen Strukturen im Kosmos dar. Es ist nach wie vor ein großes Rätsel, wie aus dieser homogenen Frühphase die äußerst komplizierten Strukturen des heutigen Universums, Galaxien, Sterne, Planeten, letztlich auch Menschen entstehen konnten. Letztendlich genügen sehr kleine Dichteunterschiede der normalen Materie nach der Entkopplung, um sich von der allgemeinen Ausdehnung des Kosmos abzulösen und unter ihrer eigenen Schwerkraft zusammenzustürzen. Das würde jedoch längere Zeit dauern, als der Materie im jungen Universum zur Verfügung steht. In den letzten Jahren ist immer deutlicher geworden, dass der größte Teil der Materie im Kosmos nicht aus dem Stoff besteht, aus dem Sterne und Planeten gemacht sind, den wir “Baryonen” nennen, sondern aus einer geheimnisvollen Art von Teilchen, die bisher noch nicht nachgewiesen werden konnte – der Dunklen Materie, die sich bisher nur durch ihre Schwerkraft verrät. Die dunkle Materie kann wesentlich früher kollabieren, als die baryonische Materie und formt im Lauf der Zeit einen Schaum von Filamenten und leeren Zwischenräumen. Abb. 10 zeigt eine der auf modernsten Supercomputern nachgebildeten Simulationen der Entwicklung der Dunklen Materie. In den fünf linken Abbildungen ist jeweils ein würfelförmiger Ausschnitt des Universums mit einer Kantenlänge von 140 Millionen Lichtjahren (heute) dargestellt, in dem zwei Millionen Materieteilchen dem freien Lauf ihrer Gravitationskräfte überlassen werden. Eine typische Galaxie besteht aus etwa 700 Teilchen, von denen der Übersichtlichkeit halber hier nur 10% dargestellt sind. Die Zahlen an der linken oberen Ecke jedes Bildes stellen die zugehörige Rotverschiebung und damit in etwa das Alter des Universums dar: z=28.62 entspricht ca. 100 Mio. Jahre, z=8 ca. 900 Mio. Jahre, bis z=0, was dem heutigen Universum, etwa 13.5 Mrd. Jahre nach dem Urknall entspricht. Auf der rechten Seite von Abbildung 10 ist zu den gleichen Zeiten ein wesentlich kleinerer Ausschnitt der Simulation, dafür aber mit allen Teilchen gezeigt. Wie von Geisterhand entstehen aus der zunächst fast gleichmäßig verteilten Materie innerhalb relativ kurzer Zeit die ersten Kondensationskeime größerer Strukturen, fast wie die Schaumkronen sich brechender Wellen. Danach bilden sich Filamente aus, an denen die Galaxien wie an Perlenschnüren aufgereiht sind, sowie große Leerräume fast ohne Galaxien. Am Kreuzungspunkt von Filamenten entstehen dichte Gebiete mit Tausenden von Galaxien – die Galaxienhaufen und Superhaufen. Besonders in diesen dichten Gebieten kommt es sehr häufig zur Wechselwirkung und Verschmelzung mehrerer Galaxien zu immer größer werdenden Gebilden. Gleichzeitig heizt sich die Materie in den dichten Gebieten immer weiter auf, so dass sie beginnt, im Röntgenlicht zu strahlen. Im heutigen Universum soll bereits mehr als die Hälfte der Baryonen heißer als 100.000 Grad sein. In besonders dichten Gebieten können sich die Baryonen-Wolken effizient abkühlen, zum Beispiel dadurch, dass sie Strahlung aussenden. Sie können dann unter ihrer eigenen Schwerkraft zusammenstürzen und entkoppeln sich von der dunklen Materie. Die kühlen, dichten Phasen der Baryonischen Materie beginnen, erste Sterne oder protostellare Systeme zu bilden. Das „Erste Licht“ im

Universum entsteht möglicherweise schon bei einer Rotverschiebung von etwa 30, also ganz am Anfang der obigen Simulation.

Derartige Simulationen werden durch neueste astronomische Beobachtungen gestützt. Die Galaxien sind am Himmel tatsächlich nicht gleichmäßig, sondern in einer Schaum-Struktur verteilt, ganz so wie sie sich aus den kosmologischen Simulationen ergibt. Viele Galaxien gehören zu riesigen Galaxienhaufen, auch unsere Milchstraße fällt zusammen mit der lokalen Gruppe von Galaxien in einen gigantischen Haufen, der in der Konstellation Virgo steht. Außerdem bewegt sich die Milchstraße auf unsere große Nachbar-Galaxie, den Andromeda-Nebel zu, den sie in etwa 4 Milliarden Jahren erreichen wird. Den spektakulärsten Beweis für die Existenz dunkler Materie liefern die großen leuchtenden Bögen, die mit Hilfe des Hubble Space Teleskops seit einigen Jahren in den meisten großen Galaxienhaufen beobachtet werden (siehe Abb. 11). Hier werden nach Einsteins Theorie der Lichtablenkung durch große Massen die Lichtstrahlen von hinter dem Haufen liegenden Galaxien so stark abgelenkt, dass die Bilder der Galaxien in Bögen oder sogar Ringe verzerrt werden. Aus der Verzerrungswirkung der Gravitationslinse kann man unmittelbar schließen, dass die dafür notwendige Masse etwa hundert mal größer ist, als die Masse sämtlicher Galaxien in dem Haufen. Mit Röntgensatelliten, wie zum Beispiel ROSAT, Chandra und XMM-Newton ist es gelungen, die heiße baryonische Materie in den Galaxienhaufen aufzuspüren, die etwa zehn mal schwerer ist als die Galaxien. Die Verschmelzung und den „Kannibalismus“ von Galaxien kann man an vielen Beispielen im lokalen Universum studieren, eines der schönsten ist in Abb. 12 gezeigt.

Kalender des Universums

Zum Abschluss möchte ich, einer Idee meines Garchinger Kollegen Peter Kafka folgend, die ereignisreiche Geschichte des Universums noch einmal im Zeitraffer Revue passieren lassen, und zwar so, dass die Zeit zwischen Urknall und jetzt (ca. 13.5 Mrd. Jahre) in ein Jahr gepresst wird, von 1. Januar bis 31. Dezember. Eine Sekunde dieses Jahres entspricht dann etwa 500 Jahren Echtzeit. Gleichzeitig möchte ich noch einige Monate in die Zukunft blicken. Auf dieser Zeitskala geschieht die Entkopplung zwischen Strahlung und Materie bereits, wenn das Jahr erst 11 Minuten alt ist. Bereits am 19. Januar entstehen die ersten Galaxien, möglicherweise auch die Schwarzen Löcher in ihren Zentren. Die Sterne beginnen, in ihren Fusionsmägen die Elemente zusammenzubrauen. Am 28. Januar hat die älteste, heute bekannte Galaxie ihr Licht ausgesandt. Das Maximum der Sternentstehung und des Galaxienkannibalismus ist gegen Ende März.

Dann passiert lange Monate nichts weiter, als dass immer neue Generationen von Sternen immer mehr schwere Elemente zusammenbrauen, angeheizt durch Galaxienzusammenstöße und Verschmelzungen. Irgendwann Anfang September entsteht auf diese Weise auch die Sonne und mit ihr unser Planetensystem. Erstaunlicherweise wird bereits gegen Ende September das erste Leben – Blaualgen - auf der Erde gefunden, möglicherweise befruchtet durch organische Moleküle aus interstellaren Wolken. Was in den Monaten danach auf der Erde passiert, ist weitgehend unklar, es gibt Spekulationen, dass das junge Leben auf der Erde mehrfach neue Anläufe unternehmen musste, weil es möglicherweise durch

Kometeneinschläge oder das völlige Einfrieren der Erde wieder ausgelöscht wurde. Neuere Erkenntnisse aus der Geo-Biologie (siehe die Beiträge in diesem Tagungsband) zeigen aber, dass das Leben wesentlich robuster ist, als bisher angenommen, und sich selbst Kilometer tief in der Erdkruste oder in heißen vulkanischen Quellen auf dem Ozeanboden erhalten kann.

Die ersten Wirbeltiere und Pflanzen entstehen jedenfalls erst in der zweiten Dezemberhälfte in einem wahren Furioso der Evolution. Rechtzeitig zu Weihnachten sind auch der Wald, die Fische und Reptilien entstanden. Am 25. Dezember treten die ersten Säugetiere auf den Plan. Am 28. Dezember sterben die Saurier aus und machen damit Raum zur rapiden Entwicklung größerer Säugetiere, die am 30. Dezember um 20:00 Uhr ihre schwerste Prüfung in der Entstehung des Menschen hat. Der Neanderthaler, eine Seitenlinie, lebt 5 Minuten vor Mitternacht, Jesus Christus 15 Sekunden und wir selbst - ein menschliches Leben von 100 Jahren dauert 0.2 Sekunden in diesem Maßstab – ein Wimpernschlag der Geschichte.

Wenn wir unseren Erdball nicht innerhalb der ersten 15 Sekunden des nächsten Jahres selbst zerstören, so dauert es doch nur bis etwa 12. Januar, bis es auf der Erde zu heiß zum Leben wird, die Sonne dehnt sich im Laufe der Zeit langsam aus und das Wasser auf der Erde fängt an zu kochen. Spätestens bis dahin müssen wir also einen anderen Planeten zum Leben gefunden haben. Am 25. März wird die Milchstraße vom Andromeda-Nebel verschluckt (falls dieser nicht doch knapp vorbeischrammt) – welch wunderbarer Anblick für die Astronomen der Zukunft. Etwa am 6. April wird die Sonne ihren Wasserstoff verbraucht haben, sich zum Roten Riesen ausdehnen und die inneren Planeten Merkur und Venus verschlucken. Von der Erdoberfläche aus gesehen wird sie von Horizont zu Horizont reichen, aber es werden dort etwa 3000 Grad herrschen – ungefähr so heiß wie das Universum zum Zeitpunkt der Entkopplung von Strahlung und Materie war. Ob das Zufall ist?

Abb. 1: Panorama der Milchstraße im sichtbaren Licht (Axel Mellinger, 2000)

Abb. 2: Mit dem Infrarot-Experiment DIRBE auf dem amerikanischen COBE-Satellit aufgenommenes Panorama der Milchstraße (Goddard Space Flight Center, USA)

Abb. 3: Aufnahme der Spiralgalaxie NGC 1312 mit dem Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte in der chilenischen Atacama-Wüste (ESO Garching)

Abb. 4: Das Hubble Deep Field, eine der tiefsten Aufnahmen mit dem Hubble Space Teleskop. Auf einer Fläche etwa 100 mal kleiner als der Vollmond wurden mehrere Tausend entfernte Galaxien beobachtet. (Space Telescope Science Institute, USA).

Abb. 5: Schematische Darstellung der Galaxienfluchtbewegung und des „Urknalls“.

Abb. 6: Ausdehnung und Abkühlung des Universums und Kosmologische Epochen. Die horizontale Achse gibt die Zeit in einer sehr gestauchten Darstellung an, die vertikale Achse die Ausdehnung (schwarze Kurve) und die Temperatur des Universums. Auf die einzelnen Epochen wird im Text eingegangen. (Liebscher, Potsdam)

Abb. 7: Entkopplung von Strahlung und Materie etwa 300.000 Jahre nach dem Urknall. Vor der Entkopplung (links) sind Elektronen (rot) und Protonen (blau) getrennt, danach (rechts) zu Wasserstoffatomen zusammengeschlossen. Die Lichquanten (gelb) können sich nach der Entkopplung frei durch den Raum bewegen.

Abb. 8: Schatten von Kerzenflammen. Der scharfe Übergang vom leuchtenden Plasma der Flamme zum durchsichtigen Gas der Umgebung kann mit dem Aufklaren im frühen Universum verglichen werden.

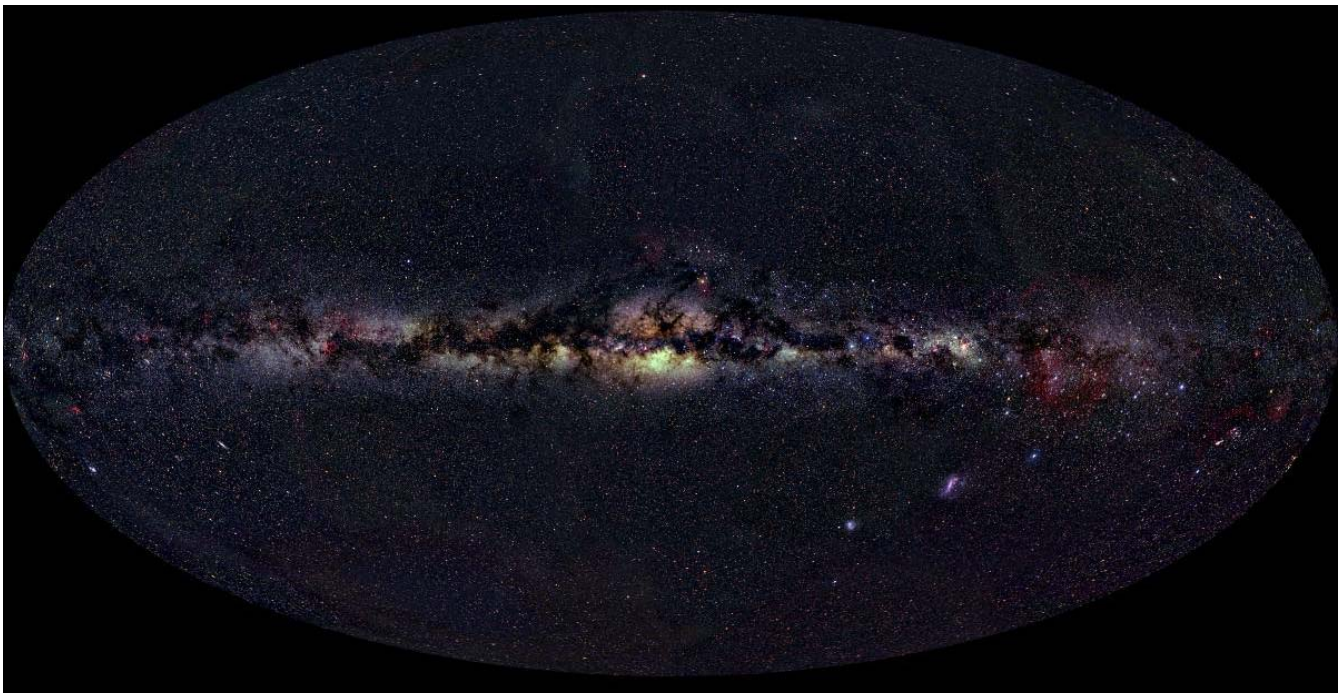
Abb. 9: Vom Cosmic Background Explorer (COBE) der NASA COBE gemessene Himmelskarte des Mikrowellenhintergrundes**.** (Goddard Space Flight Center, USA)

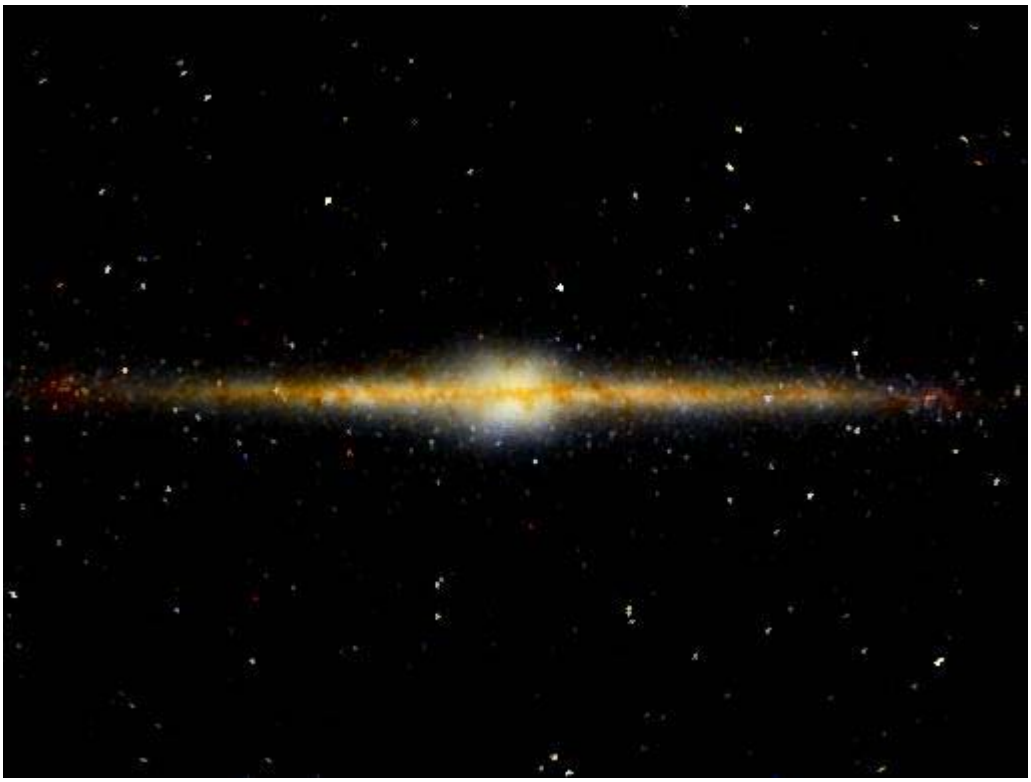
Abb. 10: Simulation der großräumigen Strukturbildung durch die Eigengravitation der Dunklen Materie aus ihrer homogenen Frühphase. Eine Galaxie entspricht einem der kompakten Klumpen im Bild rechts unten. Die Zahl links oben gibt die Rotverschiebung an (siehe Text). (A. Kravtsov, A. Klypin, S. Gottlöber, AIP)

Abb. 11: Aufnahme des Galaxienhaufens Abell 2218 mit dem Hubble Space Teleskop. Hinter mehreren Hundert Galaxien des Haufens, die alle ähnliche Farben haben, sieht man leuchtende blaue und rote Bögen. Dies sind Bilder von weiter entfernt liegenden Galaxien, die durch die Gravitationslinsenwirkung (Einsteins Lichtablenkung) der Dunklen Materie des Galaxienhaufens verformt werden. (Space Teleskop Science Institut, Baltimore, USA.)

Abb. 12: Wechselwirkende Galaxien NGC 2207 und IC 2163, aufgenommen mit dem Hubble Space Teleskop. Ein ähnliches Schicksal könnte der Milchstraße und dem Andromeda-Nebel in ca. 4 Mrd. Jahren bevorstehen. (Space Telescope Science Institut, Baltimore, USA)

Abb. 13: Kalender des Universums

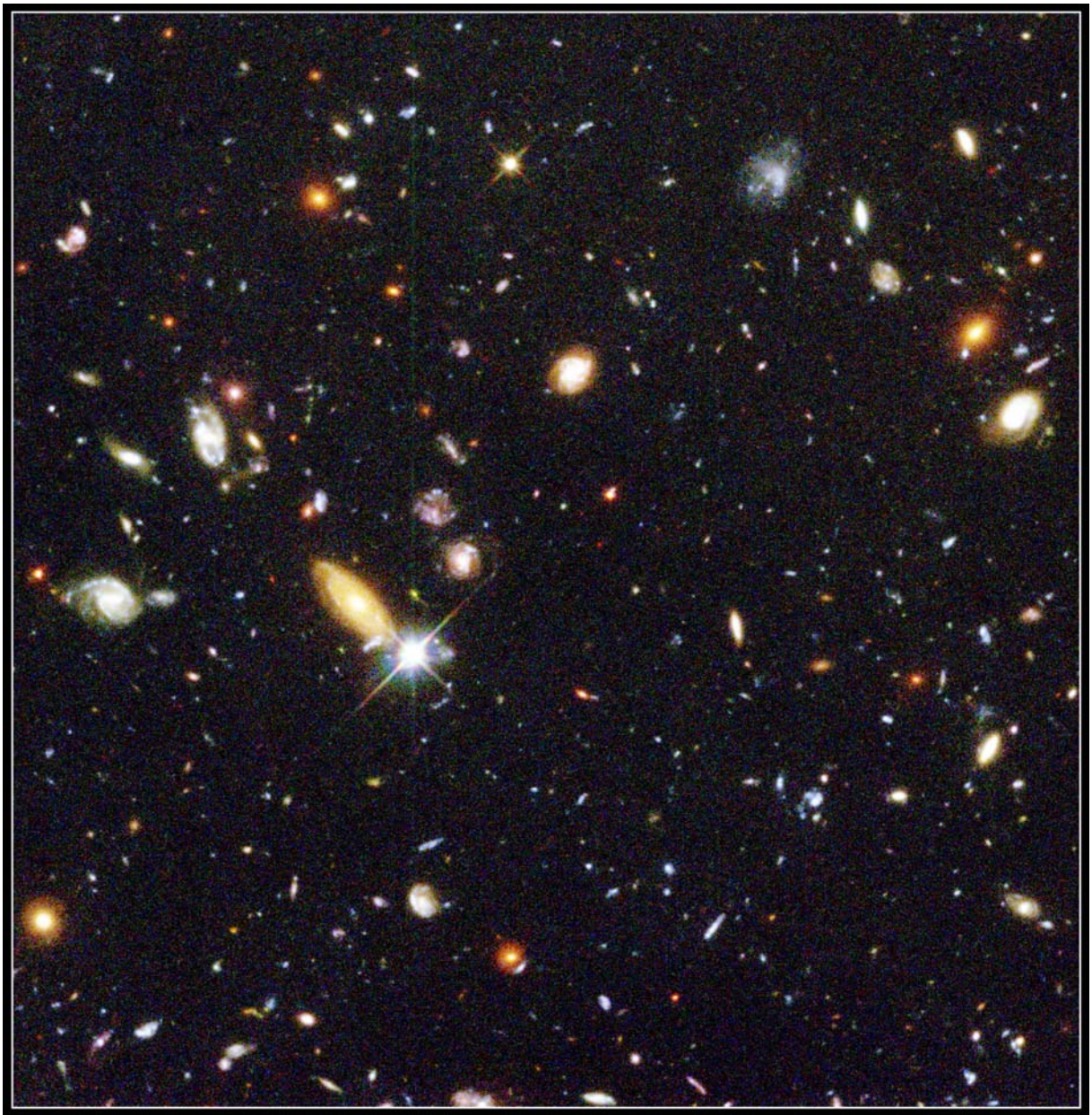




Spiral Galaxy NGC 1232 - VLT UT 1 + FORS1

ESO PR Photo 37d/98 (23 September 1998)

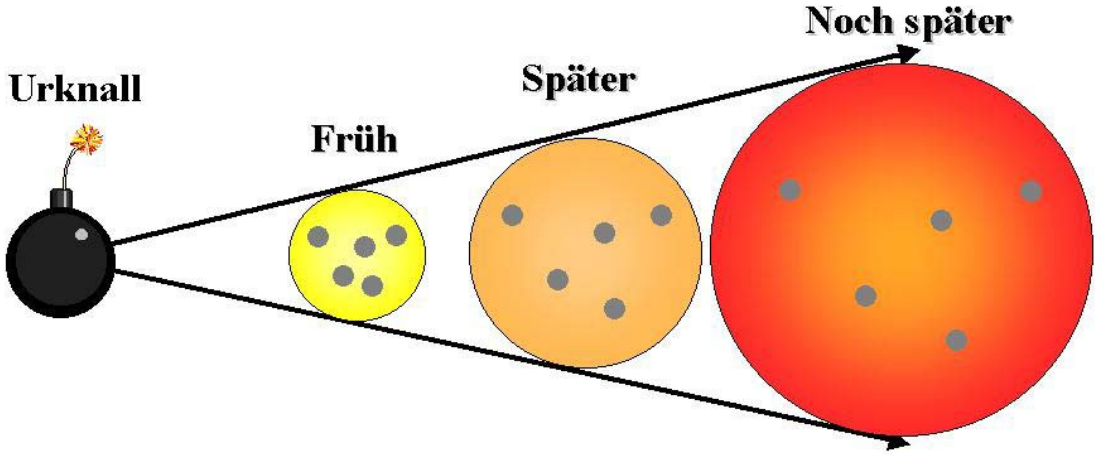
©European Southern Observatory

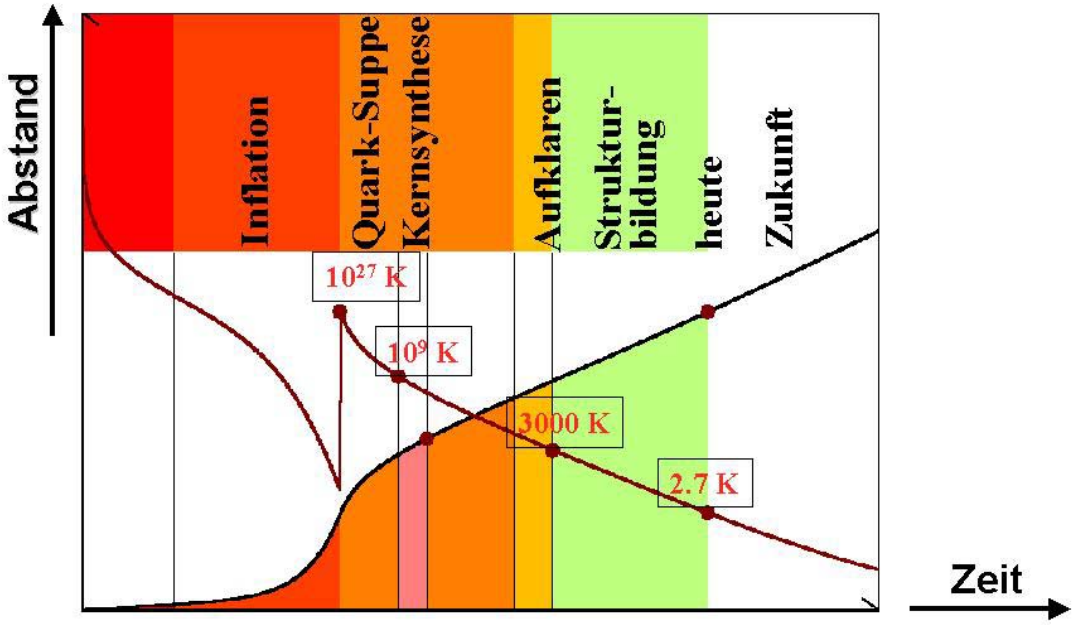


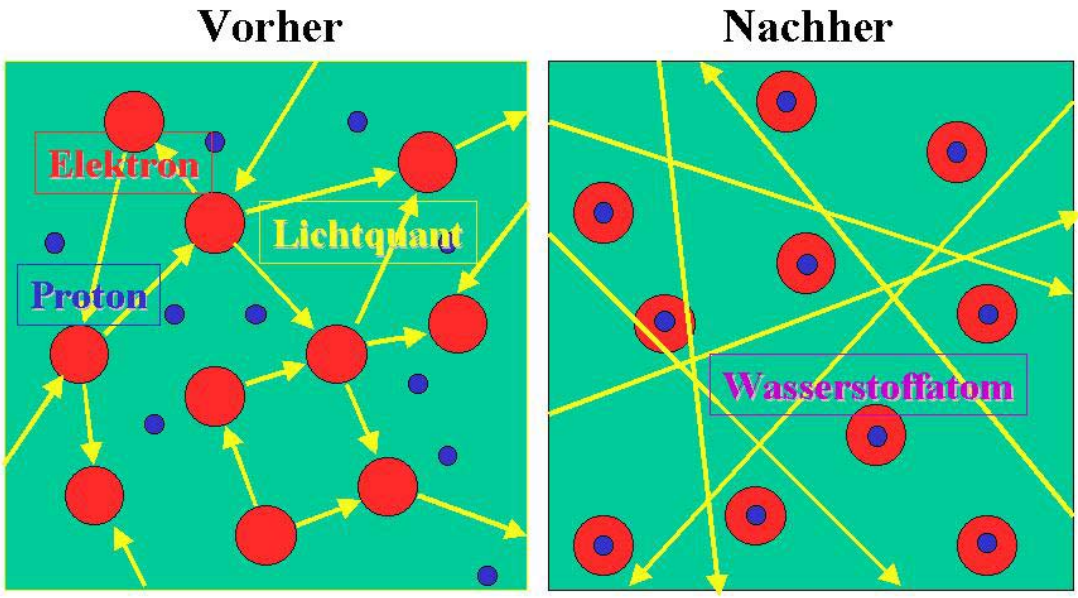
Hubble Deep Field

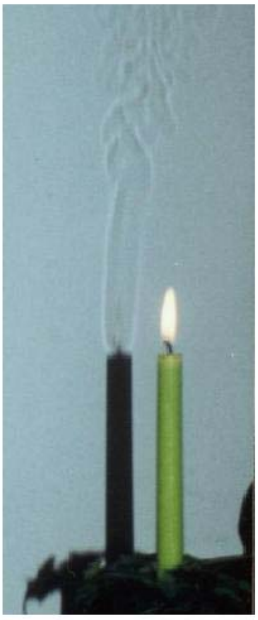
Hubble Space Telescope • WFPC2

PRC96-01a • ST ScI OPO • January 15, 1995 • R. Williams (ST ScI), NASA

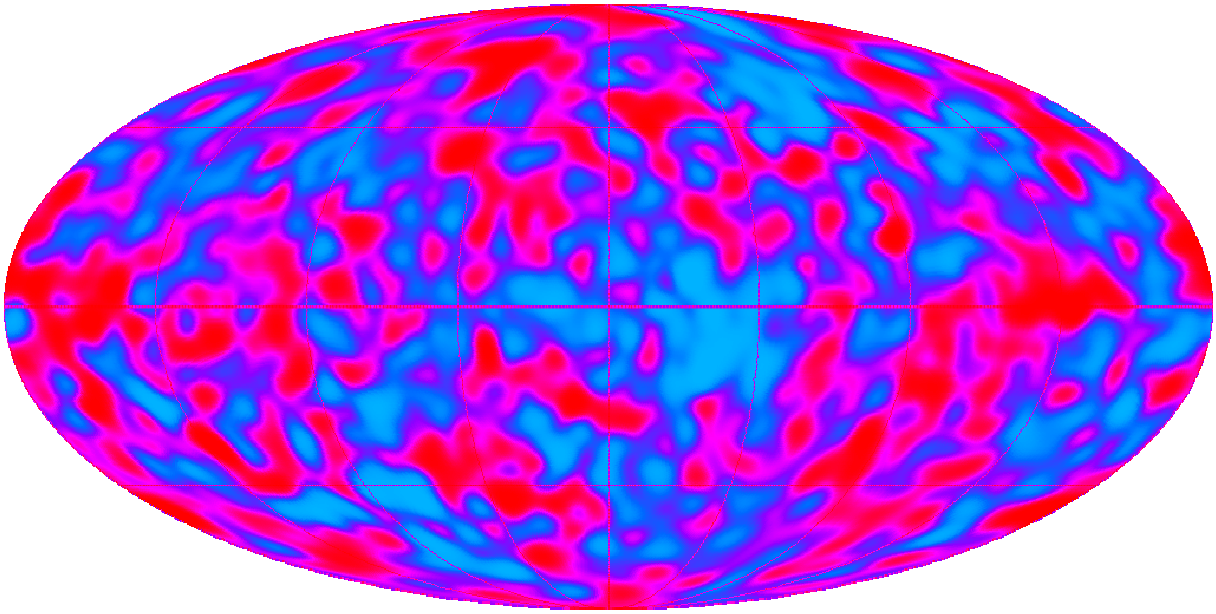

Urknall
Früh
Später
Noch später

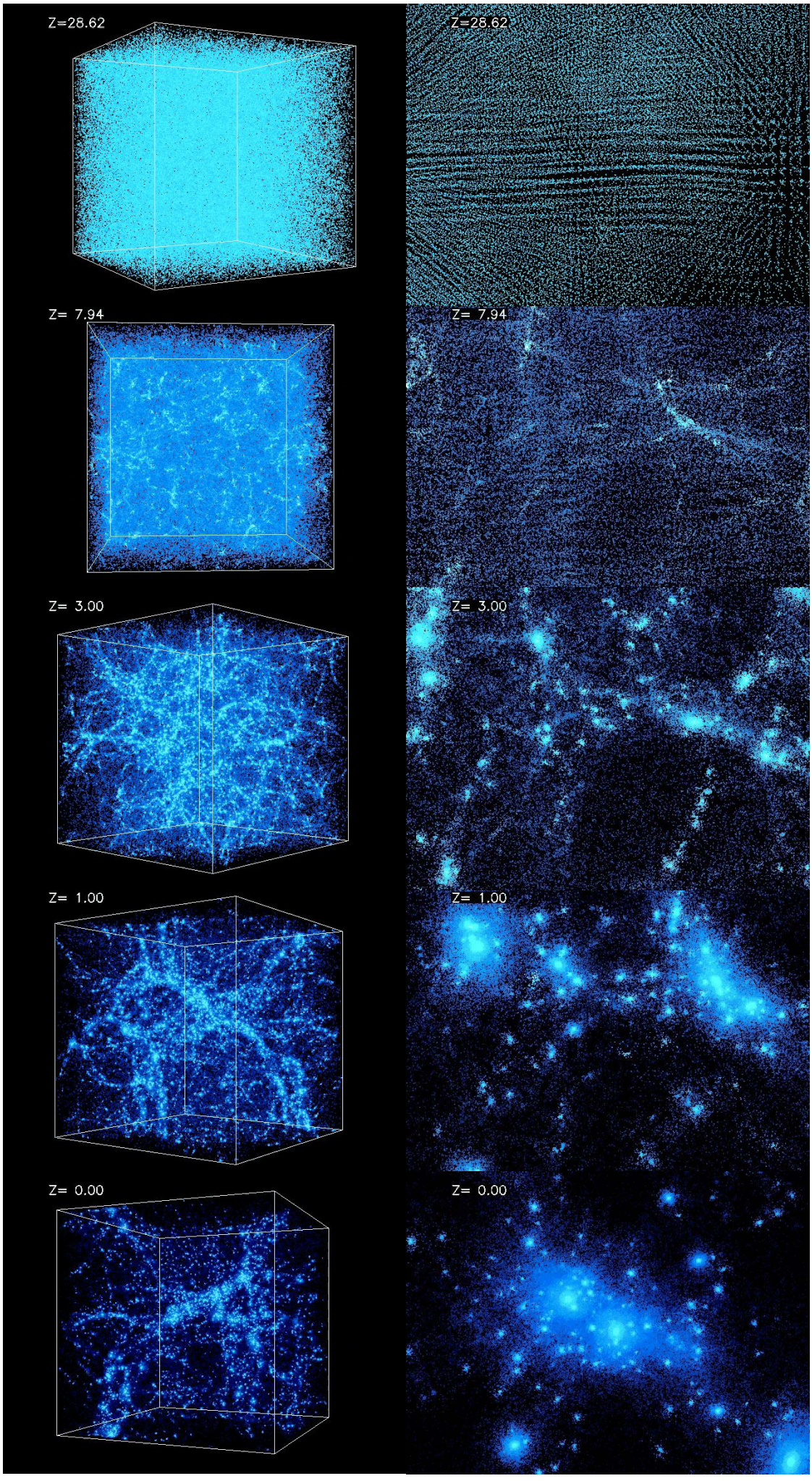

Abstand
Inflation
Quark-Suppe
Kernsynthese
Aufklaren
Struktur-
bildung
heute
Zukunft
10^27 K
10^9 K
3000 K
2.7 K
Zeit

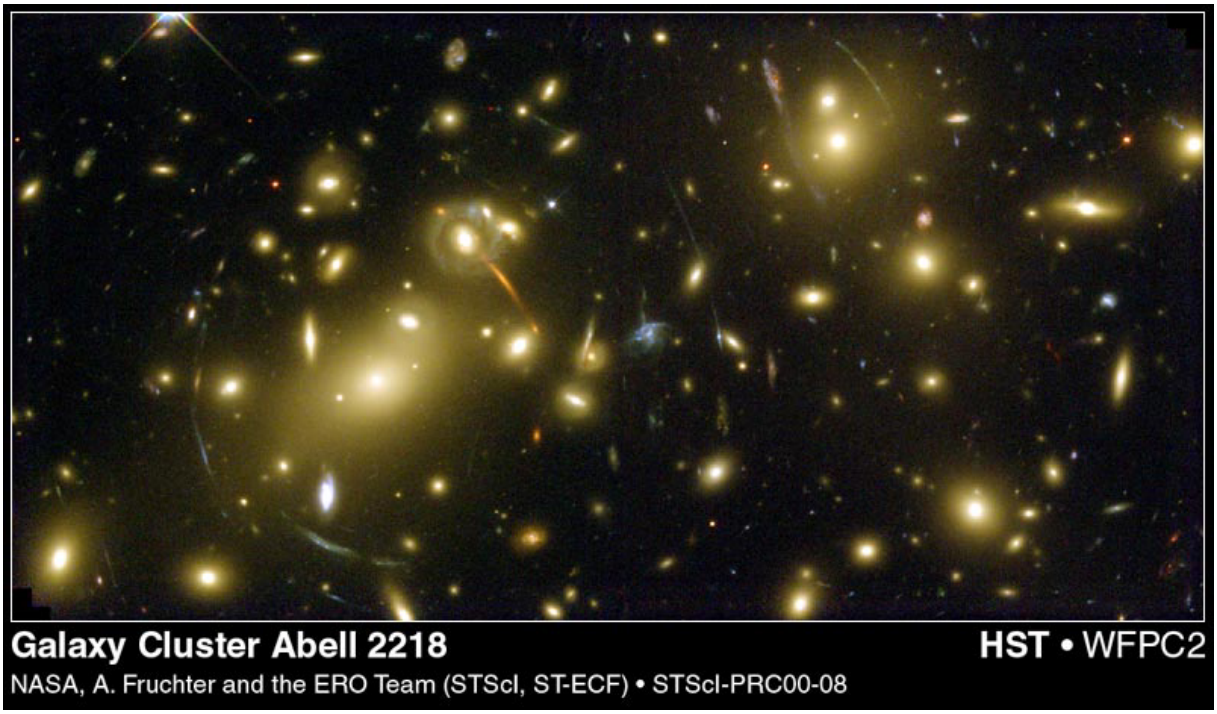

Vorher
Nachher
Elektron
Lichtquant
Proton
Wasserstoffatom



Plasma ist
undurchsichtig

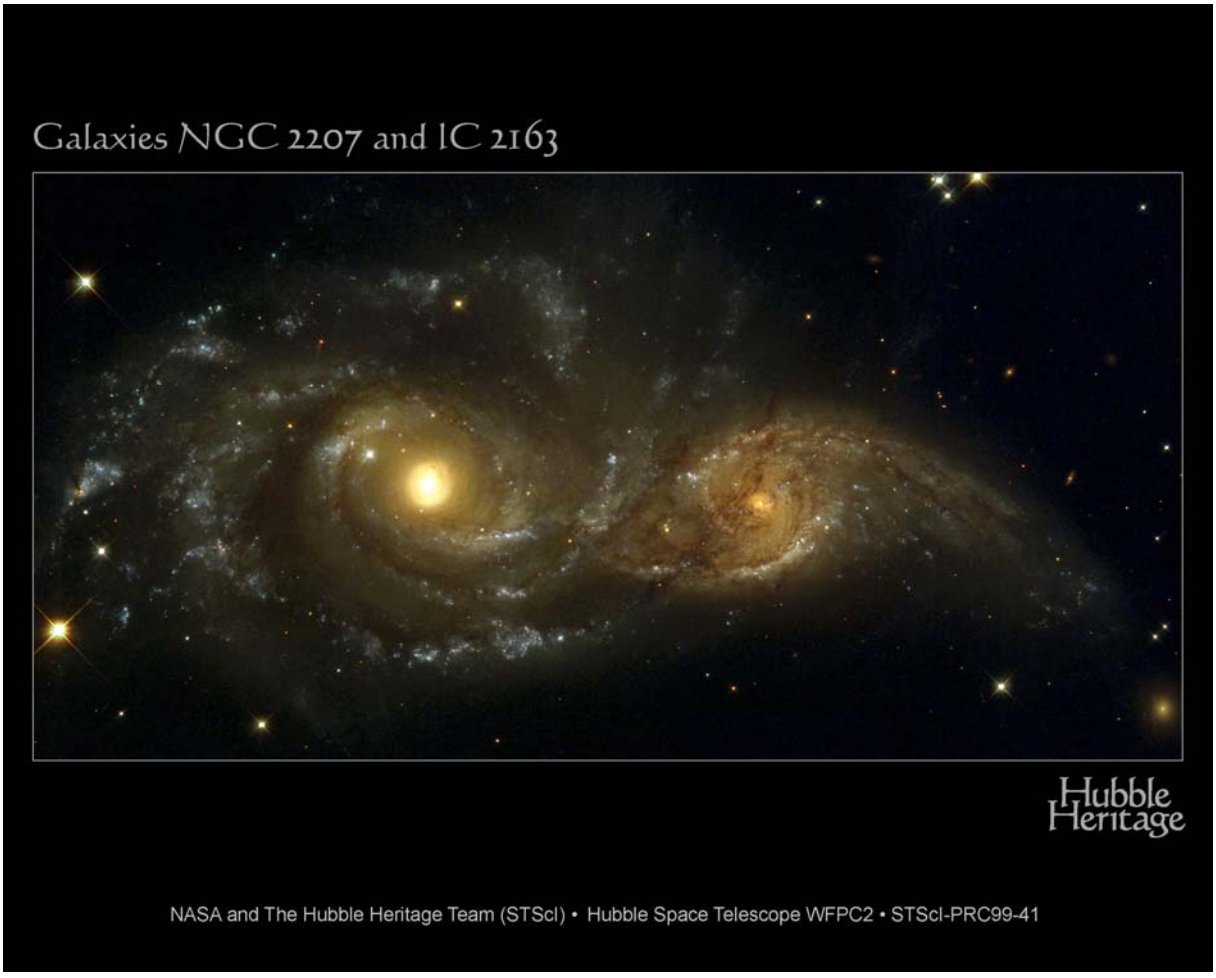



Z=28.62
Z=28.62
Z= 7.94
Z= 7.94
Z= 3.00
Z= 3.00
Z= 1.00
Z= 1.00
Z= 0.00
Z= 0.00



Galaxy Cluster Abell 2218 **HST** • WFPC2

NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI, ST-ECF) • STScI-PRC00-08



Kalender des Universums

Jan	1. Jan 0h00	Urknall, Entstehung der Elemente H, He, ...
Feb	1. Jan 0h11	Entkopplung von Strahlung und Materie
Mär	19. Jan	Erste Galaxien entstehen, Schwarze Löcher?
		Sterne erzeugen die Elemente C, N, O ...
Apr	28. Jan	Älteste bekannte Galaxie
Mai	27. Mär	Maximum der Sternentstehung, das Grosse Fressen
Jun		
Jul	9. Sep	Entstehung der Sonne und der Erde
Aug	28. Sep	Entstehung des Lebens auf der Erde, Blaualgen
Sep	16.-19. Dez	Wirbeltierfossilien und Pflanzen
Okt	20.-24. Dez	Wald, Fische, Reptilien
Nov	25. Dez	Säugetiere
Dez	28. Dez	Aussterben der Saurier
Jan	30. Dez 20h	Entstehung des Menschen
Feb	-5 min	Neanderthaler
Mär	-15 sek	Jesus Christus
Apr	**-0.2 sek**	**Unser Leben**
	12. Jan	Erde wird zu heiß zum Leben
	25. Mär	Milchstraße wird vom Andromeda-Nebel verschluckt
	6. Apr	Sonne bläht sich zum roten Riesen auf