

Vortrag am 10.11.2017: AUS STERNENSTAUB GEBOREN ! Petra Petersen, Celle

Ausgangsthese

Der Mensch gleicht einem Staubkorn im riesigen Universum, wurde als Teil der Evolution selbst aus Sternenstaub geboren. Sein Gehirn als Teil der Natur vermag somit adäquate Fragen über die Natur zu stellen, auch partiell Antworten zu erhalten - auf der Suche danach, was die Welt in ihrem Innersten zusammenhält. Der „Rote Faden“: URKNALL → Elementarteilchen → Atome → Moleküle → Polymere → Protobionten → Zellen, Einzeller → Vielzeller, wie Pflanzen, Tiere, Menschen → Gruppen.

Gliederung des Vortrags

1. Wie ist das Universum entstanden, und welche Struktur hat es heute?
 2. Wie arbeiten Astronomen?
 3. Sterne: Geburt – Leben – Tod
 - 3.1. Die Sonne - ein Fixstern unter ... Milliarden
 - 3.2. Das HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm
 - 3.3. Protosterne - T-Tauri-Sterne
 - 3.4. Massearme und massereiche Sterne
 - 3.5. Supernovae
 - 3.6. Neutronensterne, Pulsare, Magnetare
 - 3.7. Schwarze Löcher
 4. Wie wird sich das Universum weiter entwickeln?
 5. Leben im Universum: Aus Sternenstaub geboren!
-

Ad 1: Wie ist das Universum entstanden, und welche Struktur hat es heute?

Astronomische, kosmologische Beobachtungen der letzten Jahrzehnte unterstützen die Theorie eines singulären Beginns des Universums (Big Bang, Urknall) und eine darauf folgende andauernde Entwicklung, physikalische, chemische, biologische Evolution. Als Begründer der Urknall-Theorie gilt der belgische Theologe und Astronom Georges LEMAITRE (1894-1966), der im Jahre 1931 erstmals für diesen Anfangszustand den Begriff „Uratom“ oder „Kosmisches Ei“ verwendete.

1.1. Grundlagen

- Universalität der Naturgesetze
- **Kosmologisches Prinzip** (1933) von Edward A. MILNE (1896-1950): Großräumige räumliche aber nicht zeitliche Uniformität des Universums: Insgesamt gleichmäßige Verteilung der Materie im Universum: Prinzip der Homogenität. Insgesamt gleiche Darstellung des Universums aus allen Raumrichtungen: Prinzip der Isotropie.

1.2. Definition URKNALL

- Gleichzeitige Entstehung von Materie, Energie/Strahlung, Raum und Zeit: letztere als vierdimensionales Raumzeit-Kontinuum, s.u.: EINSTEIN
- Nach bisherigen Erkenntnissen mathematisch nicht beschreibbare Anfangssingularität
- Mit dem Urknall Beginn auch der Existenz der (uns bekannten) Naturgesetze, verstanden als universell gültig, s.o.

1.3. Bisher zwei fundamentale Theorien

- **Allgemeine Relativitätstheorie**, ART; Albert EINSTEIN (1879-1955: 25.11.1915): Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen Materie und Raum-Zeit, aufgefasst als vierdimensionales Raumzeit-Kontinuum. Deutung der Gravitation (Kraft der allgemeinen Massenanziehung) als geometrische Eigenschaft der durch sie sich lokal krümmenden Raumzeit: Materie „hängt“ im „Netz“ der Raumzeit.
- **Quantenfeldtheorie**, QFT: Weiterentwicklung der Quantenmechanik durch einheitliche mathematische Beschreibung einer großen Anzahl von Teilchen und Feldern. Dabei werden sowohl die Teilchen und Felder als auch Energie und Impuls als quantisiert aufgefasst.
- Dabei fundamentales Problem: Bisher mathematische Unverein(-heitlich-)barkeit dieser beiden fundamentalen Theorien: Gequantelte Teilchen, Felder, Energie, Impuls in der als Kontinuum aufgefassten Raumzeit und Gravitation. Notwendig wäre die mathematische Darstellung der Quantisierung der Gravitation, evtl. auch der Raumzeit: Vereinheitlichung von Quantenfeldtheorie und Allgemeiner Relativitätstheorie zur **Quantengravitation** mit dynamischem Raumzeit-Hintergrund. Ansätze bisher u.a. in der Stringtheorie, auch durch die Entdeckung des HIGGS-Teilchens, das offenbar der Materie die Masse verleiht; doch die Suche nach der - salopp - „Weltformel“ ist bisher nicht durchschlagend erfolgreich.

1.4. Zur Struktur des Universums

- Die Milchstraße ist bei weitem nicht die einzige Galaxie im Universum: **Filamentstruktur des Universums: Milliarden Galaxien!** (s.a. HUBBLE-Weltraumteleskop: Deep Field- und Ultra Deep Field Aufnahmen)
- Edwin HUBBLE (1889-1953): Entdeckung, Deutung der Rotverschiebung der Spektrallinien der allermeisten Galaxien: Zugrunde liegt der optische DOPPLER-Effekt: Fortbewegung der Galaxien mit messbaren Geschwindigkeiten in der sich (aus)dehnenden Raumzeit-Struktur: Je größer die Entfernung, desto größer die Rotverschiebung der Spektrallinien der Galaxien, d.h. desto größer die Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien.
- Expansion des Universums, Zurückrechnung ergibt einen Beginn vor ca. 13,8 Milliarden Jahren: Urknall.

1.5. Hinweise für die Richtigkeit der Urknall-Theorie

- Rotverschiebung: Expansion des Universums, s.o.
- Relative Häufigkeit der leichtesten, ursprünglichsten Elemente der uns bekannten baryonischen Materie im Universum: Wasserstoff (ca. 74%), Helium (ca. 24%), dazu kleine Mengen an Lithium.
- Entdeckung der kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung („cosmic microwave background“, CMB, 3K-Strahlung – 2,8K - entspricht rund -270 Grad C)), 1948/1964: Zu deuten als schwaches „Restglimmen“ des Urknalls rund 380.000 Jahre nach dem Urknall (Ende der Rekombinationsphase), derzeit bevorzugtes Untersuchungsobjekt, um nähere Aufschlüsse über beobachtete leichte Dichteschwankungen in der CMB zu erhalten: Satelliten bisher: COBE, WMAP, PLANCK.
- Endliches Alter der Objekte im Weltall: Sterne, Galaxien

- Entdeckung der Gravitationswellen (Vorhersage durch EINSTEIN 1916, Entdeckung 2015, Veröffentlichung 2016, Nobelpreis 2017): Wellen in der Raumzeit, „Zittern“ der Raumzeit, hervorgerufen durch, hier, zur Entdeckung geführt habend: Kollision zweier Schwarzer Löcher mit jeweils ca. 30 Sonnenmassen vor 1,3 Milliarden Jahren! 2017: Erneute Detektierung von Gravitationswellen, zurückzuführen auf die gleichzeitig lichtoptisch gefundene Kollision zweier Neutronensterne.

Ad 2: Wie arbeiten Astronomen? Zur Erkenntnisgewinnung in der Astronomie: Nutzung weiter Bereiche des Spektrums elektromagnetischer Wellen:

2.1. Sichtbares Licht: Spektralanalyse. 3 Beispiele für terrestrische optische Großteleskope:

- Very Large Telescope (VLT 1-4), Mount Paranal, Atacama-Wüste/Chile, seit 1998-2002
- Large Binokular Telescope (LBT): Mount Graham, Arizona/USA, seit 2005
- Gran Telescopio Canarias (GTC): Roque de los Muchachos, La Palma/Spanien, seit 2007.

2.2. Radiowellen: 4 Beispiele für terrestrische Radioteleskope:

- Arecibo Observatory: Puerto Rico, seit 1963
- Radioteleskop Effelsberg: Eifel/Deutschland, seit 1972
- Atacama Large Millimeter-/submillimeter Array (ALMA): Atacama-Wüste/Chile, seit 2011-2013
- Radioteleskop Provinz Guizhou, SW-China: Derzeit größtes Radioteleskop der Erde, seit 2016.

2.3. Gamma-, Röntgen-, UV- und Infrarotstrahlung: 7 Beispiele für Raumsonden, Weltraumteleskope:

- Cosmic Background Explorer (COBE): NASA, 1989-1993
- Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP): NASA, seit 2011
- Europäische Raumsonde PLANCK: ESA, 2009-2013
- HUBBLE-Weltraumteleskop: NASA und ESA; seit 1990,
- Nachfolger im Bau: 2018: JAMES WEBB: NASA, ESA und CSA (Kanada)
- International Space Station (ISS): seit 2000
- Weltraumteleskop GAIA: ESA, seit 2016
- Kometen-Mission ROSETTA: ESA, 2004-2016

Ad 3: Sterne: Geburt – Leben – Tod:

3.1. Kreislauf der Materie, s. Schema im Vortrag

3.2. Entstehung der Elemente - Bausteine von „LEBEN“, s.a. Kap. 5:

- **Mit dem Urknall:** Wasserstoff und Helium
- **In kosmischer Strahlung:** Lithium, Beryllium, Bor
- **In Sternen** - hier ohne Größenunterscheidung, durch Kernfusionsprozesse: Chlor, Stickstoff, Sauerstoff, Fluor, Neon, Natrium, Magnesium, Aluminium, Silicium, Phosphor, Schwefel, Argon, Kalium, Calcium, Titan, Vanadium, Mangan, Eisen, Kupfer, Zinn - u.v.a.
- **In Supernovae und, nach neuesten Erkenntnissen, zum Teil (Beispiel: Gold) bei der Kollision von Neutronensternen (s. Gravitationswellen und optische Beobachtungen, Oktober 2017, s.o.) :** Aluminium, Silicium, Titan, Vanadium, Eisen, Cobalt, Nickel, Selen, Blei, Krypton, Rubidium, Molybdän, Xenon, Wolfram, Iridium, Plutonium, Gold, Silber, Blei, Polonium, Radium, Uran – u.v.a.

Ad 4: Wie wird sich das Universum weiter entwickeln?

1. Raumzeit-Krümmung: Großräumig anscheinend nicht vorhanden. Derzeitige Berechnungen und Computersimulationen gehen von einem eher flachen Universum aus.
2. Weitere Entwicklung abhängig von Materie- und Energiegehalt des Weltalls - Problem:
 - 2.1. Baryonische - uns geläufige - Materie: Nur knapp 5% der gesamten Materie (!):
 - 2.2. Dunkle Materie (ca. 23%): Wechselwirkungen beobachtbar, nähere Einzelheiten dazu aber unbekannt, offenbar DER Strukturbildner im Universum von Anfang an: Filamentstruktur, s.o.
 - 2.3. Dunkle Energie (ca. 72%): Völlig unbekannt. Bekannt ist nur, dass die Dunkle Energie der Strukturbildung durch die Dunkle Materie entgegenzuwirken scheint: Sie ist die Ursache der Expansion, zunehmend sich beschleunigend, Zusammenhänge, Folgen sind unbekannt.
 - 2.4. Folgen für die weitere Entwicklung des Universums - hypothetisch, da der Materie- und Energiegehalt des Universums zu 95% unbekannt ist, damit auch die fundamentalen Theorien (Allg. Relativitätstheorie und Quantenfeldtheorie), in Ermangelung der sie umfassenden „Quantengravitation“, s.o., nicht schlussführend sind. Hypothetische Szenarien:
 - 2.4.1. BIG CRUNCH: Verlangsamung der Expansion – Überwiegen der Gravitation – Kontraktion des Universums mit der Möglichkeit eines erneuten Urknalls: Das ZYKLISCHE UNIVERSUM. Bewertung: Nach bisherigen Erkenntnissen eher unwahrscheinlich, da immer weitere Zunahme der Expansion beobachtet wird.
 - 2.4.2. CONTINUE FOREVER: Fortgesetzte konstante Expansion bis „in alle Ewigkeit“.
 - 2.4.3. BIG CHILL mit Extremfall: BIG RIP: Weitere Zunahme der Expansion mit der Möglichkeit des „Zerreißen“ des Universums.
 - 2.4.4. ODER: Multiversum? Die wohl nach dem Urknall erfolgte Inflation wäre dann bereits VOR dem Urknall in einem hypothetischen „wabernden“ Inflationsfeld, Inflaton, vorhanden gewesen, Ursache der „Geburt“ u.v.a. „unseres“ Universums. (Vergleich: Geburt einer Vulkaninsel im Ozean: Ozeanboden hier dem Inflaton entsprechend, Vulkaninsel hier „unserem“ Universum entsprechend, als eines von unzähligen - mit zufällig DEN optimalen Bedingungen zur Entstehung von Galaxien, Planeten, Leben (...) ... → Selektion der Universen ... (Hypothesen)
Zusammenhang zur Stringtheorie, zum HIGGS-Teilchen/HIGGS-Feld, zur Dunklen Energie? Offene Fragen.

Ad 5: Aus Sternenstaub geboren!

1. Entstehung der Elemente: s. Kap. 3.2. – Beispiel: Weitere Entwicklung der Sonne: Stadium Roter Riese in ca. 5 Milliarden Jahren: Große Teile der in Jahrmilliarden durch Kernfusionsprozesse in der Sonne entstandenen Elemente gelangen ins Weltall, Grundlage erneuter Sternentstehung, Prozesse seit Jahrmilliarden. Endstadium wie im Falle des Ringnebels in der Leier.
2. MILLER-UREY-Experiment (1953): Entstehung organischer Moleküle - u.a. Aminosäuren - im einfachen Laborexperiment unter Nachbildung der Bedingungen auf der Ur-Erde, seit Jahrzehnten mit diversen Varianten international belegt.
3. Entstehung und Ansiedlung einfacher Organismen (hier: Röhrenwürmer) an hydrothermalen Quellen (Wassertemperatur an den Quellen ca. 400 Grad C, wesentlich kälteres Wasser in der Umgebung) u.a. am Mittelatlantischen Rücken.
4. Nachweis organischer Stoffe an/in Meteoriten, zahlreiche Meteoriteneinschlagskrater auf der Erde bekannt.
5. Nachweis einer Vielzahl organischer Moleküle in Sternentstehungsgebieten, u.a. im Orionnebel durch Spektralanalysen.

**„Es sieht so aus, dass Bausteine des Lebens aus den Tiefen des Alls auf die Erde geregnet sind!
Wir bestehen aus Sternenstaub!“**