

Kosmologie – das Weltall als Ganzes betrachtet

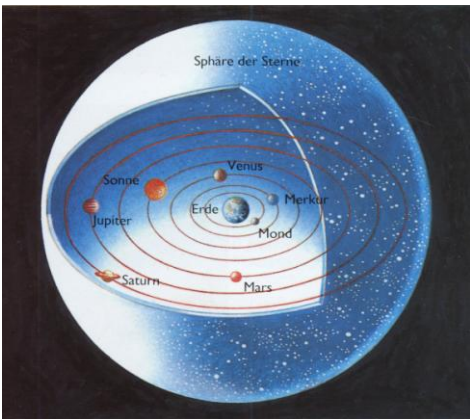
Die Vorstellungen des Menschen von den Anfängen bis heute – die wichtigsten Etappen



Das Weltbild der alten Kulturvölker

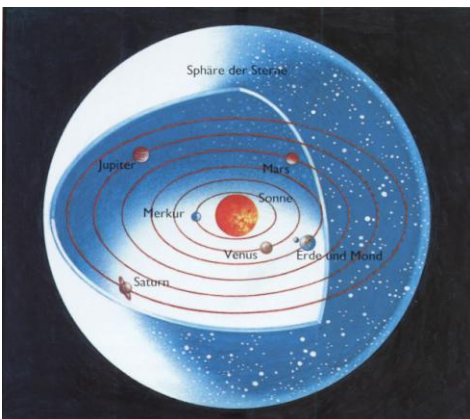
- Die Erde ist eine
- Über sie wölbt sich eine mit den Gestirnen.

Steht man in einer sternklaren Nacht auf freiem Feld und versetzt sich in die Lebensumstände von vor 3000 und mehr Jahren (fast keine naturwissenschaftlichen Kenntnisse, kaum weite Reisen, kein Internet), so kann man diese Vorstellung nachempfinden. Die subjektive Wahrnehmung wurde als objektive Realität angesehen.



Das geozentrische Weltbild des Ptolemäus (um 150)

- Die Erde ist eine Sie bildet das Zentrum der gesamten Welt, des Kosmos‘.
- Sieben „Wandelsterne“ umkreisen die Erde.
- Um dieses System wölbt sich eine Kugel, an welcher die „Fixsterne“ befestigt sind. Diese Fixsternsphäre ist die äußere Begrenzung des Kosmos‘.
- Alles dreht sich um die Erde und bewirkt den Auf- und Untergang der Gestirne.



Das heliozentrisches Weltbild des Kopernikus (1543)

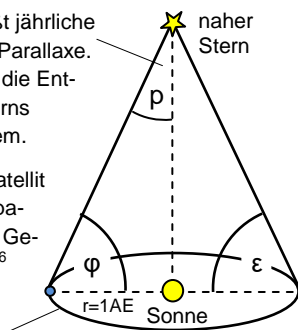
- Nicht die Erde, sondern die steht im Zentrum.
- Die Planeten sind kugelförmige Himmelskörper wie die Erde und umlaufen die Sonne.
- Der Mond umläuft zusätzlich die Erde.
- Die ist noch immer äußerer Abschluss der Welt. Doch sie rotiert nicht mehr. Die scheinbare Drehung des Himmels hat ihre Ursache in der

Quelle der ersten drei Bilder:
Lindner, K., Schukowski, M.: *Astronomie – Lehrbuch Sek. I, Volk und Wissen 1999*

Der Winkel p heißt jährliche trigonometrische Parallaxe. Er ist ein Maß für die Entfernung eines Sterns vom Sonnensystem.

Der Astrometriesatellit Gaia misst Sternparallaxen mit einer Genauigkeit von 10^{-6} Bogensekunden.

Erdbahn mit Erde



Die Überwindung der Fixsternsphäre (1838)

- Bessel 1838: Der Stern 61 Cygni verschiebt sich jahreszeitlich wiederkehrend am Himmel.
- Während des Umlaufes der um die ändert sich die Blickrichtung zu nahen Sternen ein wenig. Je kleiner diese Verschiebung (Parallaxe), desto schlanker das Dreieck und desto größer die Entfernung des Sterns.
- Da die Sterne unterschiedlich weit weg sind, gibt es keine Wir blicken in einen ausgedehnten Raum.

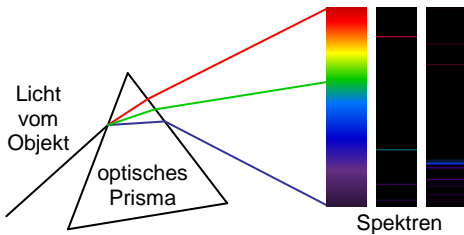
1. Welche der Ihnen bekannten Planeten fehlen in den Bildern 2 und 3? Warum fehlen sie?
2. Durch die Entdeckung der Sternparallaxen wird die kopernikanische Weltvorstellung (s. o.) teils bestätigt, teils aber auch widerlegt. Erläutern Sie das.
3. Warum mögen die Sternparallaxen erst im 19. Jahrhundert entdeckt worden sein? Formulieren Sie Ihre Vermutung in Sätzen.

Das Newton'sche Gravitationsgesetz:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

m_1, m_2 sind die Massen zweier Körper, r ist der Abstand der Massenmittelpunkte.

$$G = 6,6726 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$



Prinzip der Lichtzerlegung. Rechts drei Emissionsspektren: das kontinuierliche Spektrum einer Glühlampe im Vergleich zu den Linienspektren des atomaren Wasserstoffs und Sauerstoffs.

Doppler-Effekt:

$$\frac{v_r}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$$

Das Gravitationsgesetz – im Himmel wie auf Erden

1687 erkannte, dass jene Kraft, die Gegenstände zu Boden fallen lässt, auch diejenige ist, die die Planeten auf ihre Bahn um die Sonne zwingt: die Massenanziehung oder Gravitation. Das legte nahe, dass die irdischen Naturgesetze universell, d. h. im gesamten Universum, gelten. Die auf dem Gravitationsgesetz beruhende Himmelsmechanik ermöglicht es, die wahre Bewegung der Himmelskörper zu berechnen.

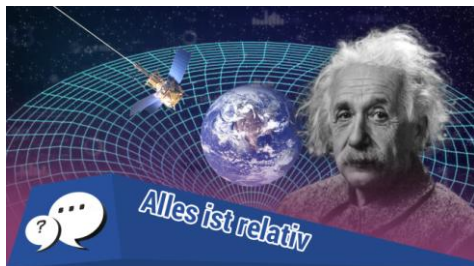
Auch die Chemie stimmt – die Astrophysik entsteht

- Durch die Zerlegung ihres können Himmelskörper chemisch analysiert werden (Kirchhoff, Bunsen 1860).
- Seither findet man überall im Weltall die gleichen chemischen Elemente wie auf der Erde, was die universelle Gültigkeit der Naturgesetze abermals bestätigt.
- Aus den Spektren lassen sich zudem Radialgeschwindigkeiten und Magnetfelder berechnen. Das funktioniert auch mit IR-, UV-, Radio-, Röntgen- und Gammastrahlung.
- Das neue (Spektren auswertende) Teilgebiet der Astronomie bekam den Namen Astrophysik.

Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie

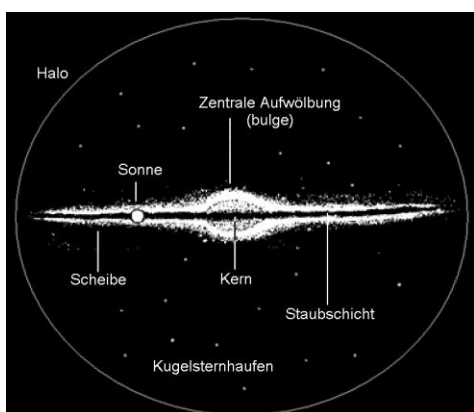
Raum,, Materie und Energie existieren nicht unabhängig voneinander. Indem Albert Einstein 1905/1915 zeigte, wie sie miteinander verknüpft sind, entstanden genauere Modelle des Universums. Damit sagte er z. B. die Lichtablenkung in Gravitationsfeldern und die Existenz von Gravitationswellen vorher, die 1919 bzw. 2015 tatsächlich nachgewiesen wurden.

Bildquelle: <https://i.ytimg.com/vi/SHNSk-EpVN4/maxresdefault.jpg>



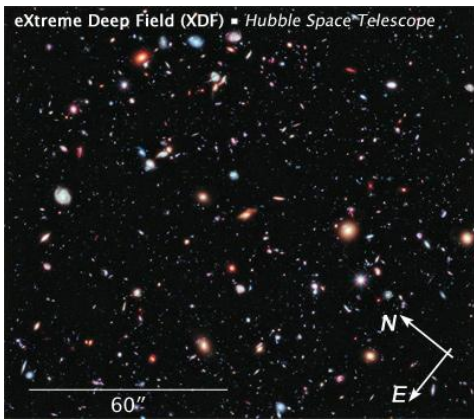
Die Entdeckung des Milchstraßensystems

- Mit der Erfindung des entpuppte sich das am Nachthimmel sichtbare schwach leuchtende Band, die Milchstraße, als eine Vielzahl von (Galilei 1609).
- Das deutete man richtig als Innenanblick unseres Sternsystems. Aus Sternzählungen ergab sich seine ungefähre Form mit der dezentralen Lage der Sonne (Herschel 1785). Man nennt es oder Galaxis.
- Mit den darin befindlichen RR-Lyrae-Sternen ermittelte man die Entfernung zu vielen Kugelsternhaufen und gewann daraus ein 3D-Modell der Galaxis (Shapley 1919).



Moderne Seitenansicht des Milchstraßensystems. Es besteht aus 100 bis 300 Mrd. Sternen. Skizze: Gerardo Inhester, in astronomy.utfs.org

1. Errechnen Sie die Gravitation zwischen a) einem 200g-Apfel und der Erde, b) Sonne und Erde.
2. Die Emissionslinien verraten, von welchem Gas das Licht erzeugt wurde. Erklären Sie das.
3. Die Sonne umläuft das Zentrum des Milchstraßensystems in einem Abstand von 26500 Lichtjahren einmal in 230 Mio. Jahren. Errechnen Sie die mittlere Bahngeschwindigkeit und vergleichen Sie das Ergebnis mit Geschwindigkeiten innerhalb des Sonnensystems.



Hubble eXtreme Deep Field (XDF), knapp 0,04° Seitenlänge, veröffentlicht 2012.

Quelle: NASA, ESA,
http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/xdf.html

Hubble-Gesetz:

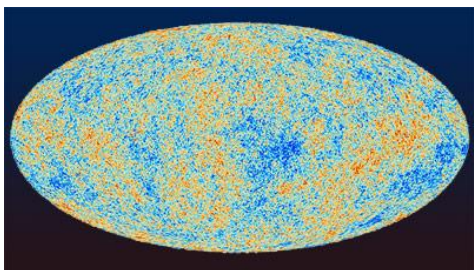
$$v = c \cdot z = H_0 \cdot r$$

v ist die Flucht-, c ist die Lichtgeschwindigkeit, z die kosmologische Rotverschiebung,

$$H_0 \approx 67 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$$

die Hubble-Konstante

und r die Entfernung.



Der kosmische Mikrowellen-Hintergrund, ein Baby-Bild des Universums.

Die roten Bereiche sind 0,001% heißer als die blauen. Hier deuten sich bereits die oben genannten schwammähnlichen Großstrukturen an, die heute von den Superhaufen gebildet werden (Planck-Satellit 2013).

Quelle: PLANCK-Kollaboration, ESA

Das Weltall besteht nur zu 4,9% aus der uns bekannten Materie, aus Atomen und Elementarteilchen. 26,8% deutet man als Dunkle Materie und 68,3% als Dunkle Energie. Von ihnen kennen wir nur die Wirkungen, nicht aber ihr physikalisches Wesen. (Die angegebenen Prozentsätze gelten für z=0)

Es gibt nicht nur unser Sternsystem (1923/25)

Am Himmel sind nicht nur Sterne, sondern auch Nebelflecken zu sehen. Wie anhand der darin vorhandenen Delta-Cephei-Sterne gemessen werden konnte, liegen spiralförmig aussehende weit außerhalb des

Es sind selbst Galaxien (Hubble 1925). Das linke Bild zeigt einen besonders tiefen Blick ins Weltall, das Hubble eXtreme Deep Field (XDF). Dazu wurden von einem winzigen Ausschnitt des Südlichen Sternhimmels 2000 über mehrere Jahre gesammelte Einzelbilder überlagert. Das Summenbild entspricht einer Belichtungsdauer von insgesamt 23 Tagen und zeigt 5500 Galaxien. Rechnet man das auf die gesamte Himmelskugel hoch, kommt man auf ca. 200 Mrd. Galaxien. Sie bilden Galaxienhaufen, diese wieder Superhaufen, welche sich in schwammähnlichen Großstrukturen anordnen.

Die Expansion des Weltalls (1920er Jahre)

Nachdem man von vielen Galaxien Entfernung und Rotverschiebung gemessen hatte, erkannte man, dass sie sich von uns wegbewegen. Je ihre Entfernung, desto schneller. Das Weltall dehnt sich aus (Wirtz 1924, Lemaître 1927). Hubble zeigte 1929, dass das Licht von Galaxien umso stärker rotverschoben ist, je weiter sie von uns entfernt sind.

Der Urknall

Diese Expansion lässt sich 13,8 Mrd. Jahre zurückverfolgen, wo das Universum ein extrem dichter, heißer „Ball“ gewesen sein muss. Es scheint, als sei es kurz davor plötzlich entstanden. Man spricht vom

380.000 Jahre danach hatte es sich auf 3000 K abgekühlt. Nun konnten sich Protonen und Elektronen zu neutralem Wasserstoff verbinden, wodurch das Weltall durchsichtig wurde. Das zu diesem Zeitpunkt erzeugte Licht empfangen wir noch heute, aus allen Richtungen. Weil sich das Universum inzwischen stark ausgedehnt hat, besitzt es jetzt allerdings eine viel größere Wellenlänge. Aus dem damaligen Licht sind Radiowellen, Mikrowellen, geworden. Sie zeichnen ein Bild des Universums, wie es 380.000 Jahre nach dem Zeitpunkt Null war (Bild links).

Dunkle Materie und Dunkle Energie

Ein rotierendes Sternsystem bedarf einer bestimmten Masse, um den gravitativen Zusammenhalt zu gewährleisten. Davon ist aber nur ein kleiner Teil beobachtbar. Die fehlende anziehende „Dunkle Materie“ ist noch nicht gefunden.

1998 wiesen Perlmutter, Schmidt und Riess nach, dass das Universum beschleunigt expandiert. Wodurch es auseinandergetrieben wird, ist ebenfalls ein Rätsel. Die große Unbekannte besitzt aber schon einen Namen. Es ist die „Dunkle Energie“.