

Liebe Leserin, lieber Leser,

Sie sind hoffentlich gut angekommen im 2007. Jahr nach der Zeitrechnung! Diesmal geht es um die Datierung von Ereignissen, die jenseits des Vorstellbaren und schriftlich Überlieferten sind. Woher weiß man, dass vor 4,567 Milliarden Jahren aus dem sog. Sonnennebel Sonne und Planeten, darunter die Erde, hervorgingen, woher, dass vor 13,7 Milliarden Jahren mit dem sog. Urknall alles (d.h. der überschaubare Teil des Universums) seinen Anfang nahm? Es ist einhundert Jahren her, dass der nordamerikanische Radiochemiker Bertram B. Boltwood (1870-1927) aus dem Bleigehalt von Uranerzen auf ein Erdalter von 2,2 Milliarden Jahren schloss. Das war weit mehr, als was damals Geologen wie Astronomen zu akzeptieren bereit waren. Uran zerfällt radioaktiv über Zwischenstufen in Blei. Kennt man die Halbwertszeit von Uran – die Zeitdauer, nach der sich die Hälfte des Urans in Blei verwandelt hat –, kann man aus dem Bleianteil den Zeitpunkt berechnen, als das Uran in reiner Form auskristallisierte.

Bis zur Entdeckung der Radioaktivität hatten alle Altersabschätzungen zu kurz gegriffen. Man hatte etwas wesentliches übersehen gehabt: die Radioaktivität. Das Abkühlalter der Erde von einigen hundert Millionen Jahren beispielsweise ließ das ständige Nachheizen der Erde durch den radioaktiven Zerfall außer Acht. Ohne thermonukleare Energiequelle fiel auch das Alter der Sonne um zwei Größenordnungen zu klein aus. (Auch für die Umwandlung von Wasserstoff in Helium im Sonneninnern zeichnet der radioaktive Zerfall verantwortlich!)

Das Alter des Universums aus der Galaxienflucht abzuleiten, ist simpel. Problematisch wird's nur, wenn das radiochemische Alter der Erde das Weltalter übertrifft, wie in den 30er Jahren geschehen. Wie sich schließlich herausstellte, hatten die Astronomen die Größe des Universums wieder einmal total unterschätzt gehabt. Heute scheint alles in bester Ordnung. Kein Stern ist älter als das Universum.

Einen guten Start ins neue Jahr wünscht Ihnen

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Januar

Immer Anfang Januar kommt die Erde auf ihrer leicht elliptischen Bahn der Sonne am nächsten. (Daran wird sich auch die nächsten Tausend Jahre nichts ändern.) Am 4. Januar ist es wieder so weit. Nahe dem Perihel der Erdbahn erscheint die Sonne 3,4% größer und 6,9% heller am Himmel als im nordsommerlichen Aphel.

Am 27. Januar durchquert der Mond wieder einmal die Plejaden.

Von den Planeten macht der Saturn von sich reden. Er geht am 10. Februar in Opposition. Venus wird in den nächsten Monaten immer mehr Abendstern. Ende Januar geht sie zwei Stunden nach der Sonne erst unter.

In der Morgendämmerung sind Mars und Jupiter zu sehen. Jupiter wird ab dem Frühling interessant, Mars erst in der zweiten Jahreshälfte.

Wann alles anfing

Der kosmische Zeitrahmen ist durch die kosmologische Expansion, das Aufblähen des Universums vorgegeben. Den Zeitpunkt des Urknalls zu bestimmen ist *im Prinzip* denkbar einfach. Ich nehme mir eine weit entfernte Galaxie vor, deren Fluchtgeschwindigkeit und Entfernung bekannt sind, und berechne mir die Zeit, die sie benötigt hat, von hier nach dort zu gelangen. Im Urknall war die Dichte formal unendlich und alles „hier“. In erster Näherung kann von einer konstanten Geschwindigkeit ausgegangen werden. Die Crux bei der Sache ist natürlich die Entfernung. Sie ist einem Sternsystem nicht so ohne weiteres anzusehen. Da, wie man bis vor kurzem annahm, die Ausdehnung des Universums durch die anziehende Wirkung der kosmischen Massen gebremst sein sollte, liefert das Expansionsalter eine Obergrenze für das Weltalter. (Inzwischen verstärkt sich der Verdacht, dass eine allgemeine kosmologische Abstoßung sogar eine Beschleunigung der kosmologischen Expansion nach sich ziehen könnte.)

Schwierigkeiten bereitet nicht nur die Entfernungsbestimmung. So eine Galaxie ist nicht am expandierenden Raum festgeheftet. Sie hat eine merkliche Individualbewegung von Dutzenden von Kilometern pro Sekunde. Das Individuelle vom Systematischen zu trennen, ist im Einzelfall unmöglich. Es ist nicht ausgeschlossen, dass eine Galaxie zufällig auf uns zurast, anstatt sich von uns zu entfernen. Das hat eine interessante statistische Konsequenz. Fast

immer hilft Mittelwertbildung, um zu einem genaueren Ergebnis zu gelangen. Das lernt man in der Schule. Genau das funktioniert beim Weltalter aber nicht, da ja, wie angedeutet, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eine Galaxie relativ zu uns unbewegt sein kann. Ihre Eigenbewegung auf uns zu hebt die kosmologische Expansion auf, und das Weltalter, also ihr Beitrag zum Mittelwert, wird formal unendlich. (In der Tat kennt die Verteilungsfunktion über das Weltalter, eine sog. Cauchy-Verteilung, gar keinen Erwartungswert! So etwas gibt es. Trotzdem kann man natürlich einen sinnvollen Wert für das Weltalter finden, den Median beispielsweise, oder einfach den Modalwert.)

Zu denken gibt auch der Andromedanebel. Er kommt ebenfalls auf uns zu. Er, wir und einige andere Galaxien, meistens Zwergsternsysteme, bilden eine kleine Galaxienansammlung, die sog. Lokale Gruppe. Und die ist gravitativ gebunden, hat sich längst von der allgemeinen kosmologischen Expansion abgekoppelt. (Ich muss da immer an einen Woody-Allen-Film denken, wo die Mutter genervt von ihrem altklugen Söhnchen, den das expandierende Universum depressiv hat werden lassen, harsch kontert, „You’re here in Brooklyn! Brooklyn is not expanding!“ Wie recht sie hat!)

Inzwischen kennt man das Weltalter sehr genau. Mit Hilfe des WMAP-Satelliten kann es auf 13,7 Milliarden Jahre festgenagelt werden.

„Die Sterne sind ein altes Feuer“

Als Stern ist die Sonne ein simples Ding, eine heiße Gaskugel im energetischen Fließgleichgewicht. Was sie an Energie durch Abstrahlung verliert, wird durch thermonukleare Reaktionen in ihrem Innern nachgeliefert. So etwas lässt sich verhältnismäßig leicht auf dem Computer simulieren. Die Physik verdünnter, d. h. idealer Gase ist bestens bekannt, nichts Kompliziertes wie Festkörperphysik. So ein Sonnenmodell enthält nur wenige freie Parameter. Die müssen durch andere, messbare Größen fixiert werden. Ein freier Parameter ist das Alter. Gemessen werden heute nicht nur Masse, Radius, Leuchtkraft und chemische Zusammensetzung der jetzigen Sonne, sondern darüber hinaus jede Menge von Eigenschwingungen der Sonnenkugel. Sie erlauben es dem Helioseismologen, tief in die Sonne zu „hineinzuschauen“ und theoretische Modelle am wirklichen Sonnenkörper zu testen.

Das helioseismologische Alter der Sonne von $4,57 \pm 0,11$ Milliarden Jahren stimmt bestens mit dem Alter urtümlicher Meteorite und dem der Erde überein, das auf dem radioaktiven Zerfall beruht. Zwar handelt es sich bei der

Radioaktivität um einen stochastischen Vorgang – der Zerfallszeitpunkt eines Atomkerns ist nicht vorhersagbar! –, da aber selbst die kleinste Probe eine Unmenge von Atomkernen enthält, geht diese vom Zufall gesteuerte Uhr dennoch extrem genau.

Die Uran-Blei-Methode ist die bekannteste. Ihr Vorteil: Sie erlaubt gleichzeitig zwei unabhängige Zeitbestimmungen im Jahrmilliardenbereich. Das Uranisotop U-235 zerfällt mit einer Halbwertszeit von 700 Millionen Jahren in das Bleisotop Pb-207, U-238 mit 4,5 Milliarden Jahren in Pb-206. Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Uran-Blei-Uhr, wie auch aller anderen radiochemischen Altersbestimmungen, ist natürlich ein *geschlossenes System*. Die Zerfallsprodukte müssen im Idealfall im Mineral verbleiben und das über Jahrmilliarden hinweg. Die Erde beispielsweise ist tektonisch aktiv. Das Oberste wird aller paar hundert Millionen Jahre zuunterst gekehrt. Kontinentalplatten tauchen ins heiße Innere ab, werden eingeschmolzen und an den mittelozeanischen Rücken neu gebildet. Die Erdoberfläche hat eine „bewegte“ Geschichte hinter sich. Es ist gar nicht so einfach, Mineralien zu finden, die über geologische Zeiträume witterungsfest und chemisch beständig sind. Die ältesten sog. Zirkone, ein Mineral, das in diesem Zusammenhang immer genannt wird, weil in dessen Kristallstruktur die Uran- und späteren Bleiatome wie in einem Käfig gefangen sind, findet man in Westaustralien. Sie sollen 4,4 Milliarden Jahre auf dem Buckel haben. Noch älter sind gewissen feuerfeste Einschlüsse, sog. CAIs (Ca-Al-rich inclusions), in primitiven Meteoriten. Sie stammen aus den Anfangstagen des Sonnensystems, als im sich abkühlenden solaren Urnebel die allerersten Festkörper auskondensierten. Ihr Alter von $4,567 \pm 0,0006$ Milliarden Jahren wird gemeinhin als das Geburtsalter des Sonnensystems ausgegeben. (Die berühmten Chondrulen, die von Aufschmelzvorgängen künden, dürften zwei, drei Millionen Jahre jünger sein.) Bis durch Aufsammeln von Material aus dem Urnebel so ein Planetenkeimling auf seine Endgröße angewachsen ist, vergeht eine gewisse Zeit. Im Falle der Erde dürften wenige Dutzend Millionen Jahre ins Land gegangen sein, was aber ein Klacks ist, verglichen mit ihrem Alter.

<http://www.kosmos-bote.de>