Das dynamische Universum von Bruno Leibundgut

Veränderungen am Nachthimmel sind selten. Mit Ausnahme der Phasen des Mondes und seiner Wanderung tut sich offensichtlich nichts. Nur bei genauen und ausgedehnten Beobachtungen werden Bewegungen von einigen wenigen Planeten sichtbar. Alle paar Jahre erregt ein Komet mit seinem Besuch im inneren Bereich unseres Sonnensystemes Aufmerksamkeit, und zuweilen erscheint auch ein neuer Stern, als Nova (verkürzt aus dem Lateinischen "Stella Nova") bezeichnet. Die Milchstraße mit ihren hellen und dunklen Gebieten ändert sich ebenso wenig wie die Sternbilder.

Dennoch steht nichts still im Universum. Die Erde bewegt sich mit einer mittleren Geschwindigkeit von 30 Kilometern pro Sekunde um die Sonne. Unser Stern kreist mit etwa 300 Kilometern pro Sekunde um das Zentrum der Milchstraße und vollendet einen Umlauf in 225 Millionen Jahren. Diese Geschwindigkeit ist typisch für viele Sterne in unserer Galaxis. Derweil strebt die Andromeda–Galaxie, ein schwacher Lichtfleck im gleichnamigen Sternbild zwischen Perseus und Kassiopeia, mit 600 Kilometern pro Sekunde auf uns zu: ein Zusammenstoß ist in zwei bis drei Milliarden Jahren zu erwarten. Trotzdem besteht keine Gefahr für irgendwelches Leben, das dann existiert: Galaxien fallen durcheinander hindurch, ohne dass Sterne miteinander kollidieren. Erst vor ein paar Jahren wurde eine Kleingalaxie entdeckt, die gerade von der Milchstraße verschluckt wird. Einflüsse auf den Rest der Galaxis gibt es keine.

Zusammenstöße von Galaxien sind extrem selten. Mit Ausnahme von etwa einem Dutzend Objekten entfernen sich alle von uns. Die Fluchtgeschwindigkeiten reichen von ein paar 100 Kilometern zu mehreren 10.000 Kilometern pro Sekunde. Dabei besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Distanz und Geschwindigkeit: je weiter ein Objekt entfernt ist, desto größer ist seine Fluchtgeschwindigkeit. Diese Expansion des Universums wurde vor siebzig Jahren von Edwin Hubble (1889–1953) entdeckt; inzwischen hat man sie bis an die Grenzen des beobachtbaren Universums nachgewiesen. In gewisser Weise sieht es aus, als ob wir in der Mitte einer gigantischen Explosion säßen. Das Universum hat aber kein Zentrum. Man muss sich dies so vorstellen wie Punkte auf einem Ballon, der aufgeblasen wird. Da bewegen sich auch alle Punkte voneinander weg, und zwar in gleicher Weise, egal welchen Punkt man auswählt, und weiter entfernte Punkte bewegen sich schneller als nahe. Ein anderes Beispiel sind Rosinen in einem Kuchen, der während des Backvorgangs aufgeht.

Die Expansion bedeutet, dass die Galaxien in der Vergangenheit viel näher zusammen lagen. Das Universum war früher auch viel heisser, genauso wie sich Luft in einer Pumpe erhitzt, wenn sie zusammengepresst wird. Es war so heiss, dass keine Atome existieren konnten und es nur aus Strahlung und Elementarteilchen bestand. Dieser extreme Zustand wird als Urknall bezeichnet, aus dem sich alle beobachtbaren Strukturen entwickelt haben.

Die momentane Expansionrate des Universums ist der Quotient aus der Fluchtgeschwindigkeit einer Galaxie, wie sie von der Erde erscheint, und ihrer Distanz zu uns. Er wird Hubble–Konstante genannt und mit H0 bezeichnet. H0 ist also keine absolute Zahl, sondern hat eine Masseinheit, Geschwindigkeit (km/s) pro Strecke. Dies ist äquivalent zu einer inversen Zeit (1/Sekunde). Kehrt man nun die Expansion um und berechnet den zeitlichen Abstand bis zu dem Moment, in dem alle Galaxien in einem hypothetischen Punkt vereint waren, so erhält man das Alter des Universums. Wäre die Hubble–Konstante seit dem Urknall gleich geblieben, wäre dies genau der Kehrwert von H0. Wir wissen allerdings, dass sich H0 im Laufe der Zeit änderte. Nur in einem komplett leeren Universum wäre die Konstante immer konstant, doch mit Materie im Universum sollte sich das Universum früher schneller als heute ausgedehnt haben.

Die einzige Kraft, die der universellen Expansion entgegenwirkt, ist die Gravitation. Da sie nur anziehend wirkt (eine gute Eigenschaft, die uns auf der Erde hält und dafür sorgt, dass die Atmosphäre nicht in den Weltraum entweicht), sollte sie die Expansion eigentlich bremsen. In einigen Fällen wurde diese in der Tat von der Gravitationskraft überwunden. So sind – siehe oben – die Milchstraße und die Andromeda–Galaxie gravitationell aneinander gebunden. Die globale Abbremsung des Universums hängt direkt von der mittleren Dichte der Materie ab. Wenn wir diese kennen würden, könnten wir das Alter des Universums berechnen – sollte man jedenfalls meinen.

Als zum ersten Mal ein Wert für die Hubble–Konstante vorgelegt wurde, ergab sich eine peinliche Situation: Das aus H0 abgeleitete Alter des Universums war viel kleiner als das Alter der Erde oder der Sonne, wie es aus physikalischen und chemischen Messungen folgt. Dies ist natürlich unmöglich, und es stellte sich bald heraus, dass man die Entfernungen zu den Galaxien unterschätzt hatte. Allerdings hat sich das "Hubble–Alter" immer unterhalb des Alters der ältesteten bekannten Sterne gehalten, und die Peinlichkeit wurde nur etwas verschoben. Erst kürzlich zeichnete sich ein Ausweg aus dem Dilemma ab.

Lange nahmen die Kosmologen an, dass das Universum genügend Masse enthält, um die Expansion irgendwann zum Stillstand zu bringen. Messungen der letzten Jahre haben Zweifel an dieser Annahme aufkommen lassen: Es wurde klar, dass nicht genug "normale" Materie vorhanden ist, um jenen Endzustand zu erreichen. Unter normaler oder baryonischer Materie verstehen wir alles, aus dem die beobachtbare Welt zusammengesetzt ist, somit alles, was aus Atomen besteht. Die Annäherung der Andromeda–Galaxie kann nur verstanden werden, wenn zusätzlich nicht–baryonische Masse vorhanden ist, um genügend Anziehung zu haben. Sie muss aus Teilchen bestehen, die noch unentdeckt sind, und wird allgemein Dunkle Materie genannt. Die Frage ist jetzt, ob es genügend Dunkle Materie gibt, um die Expansion des Universums irgendwann zu beenden.

Wie misst man etwas, das man nicht sehen kann? Hier hilft uns die Allgemeine Relativitätstheorie von Albert Einstein (1879–1955) weiter. Sie stellt einen Bezug von Masse, Raum und Zeit her. Masse krümmt den Verbund von Raum und Zeit, und aus der Größe dieser Krümmung folgt wiederum die mittlere Massendichte. Ist es also möglich, die globale Geometrie des Universums zu messen, so können wir auch bestimmen, ob genügend Masse vorhanden ist, um seine Expansion zu stoppen. Solche Messungen, bei denen Distanzen zu entfernten Objekten bestimmt werden, haben nun zwei unabhängige Forscherteams in den letzten Jahren durchgeführt. Beide sind transatlantische Zusammenschlüsse, die in einem heftigen Wettkampf stehen. Dabei gelang es dem einen Team, dem *Supernova Cosmology Project*, eine ganze Reihe entfernter Objekte zu erfassen, während die andere Gruppe, das *High–z Supernova Search Team*, dem auch der Verfasser angehört, etwas bessere Messwerte erbrachte. Vollkommen unabhängig gelangten dabei beide Gruppen zu unerwarteten und erstaunlichen Resultaten.

Wie schon angedeutet, ist die Messung von astronomischen Distanzen nicht einfach. Hier hilft uns jetzt eine spezielle Art von Sternexplosionen, die Supernovae. Solche extrem hellen "Neuen Sterne" sind zuweilen auch in weit entfernten Galaxien auszumachen. Eine Untergruppe dieser Supernovae ist der Typ Ia: Er scheint eine sehr gleichförmige Erscheinung zu sein, denn die Explosionen dieser Gruppe erreichen alle dieselbe Leuchtkraft. Vergleicht man jetzt nahe und entfernte Ia–Supernovae, so kann die relative Distanz gemessen werden. Zur Verblüffung der Astronomen stellte sich heraus, dass die entfernten Supernovae weiter weg sind, als in einem ungebremsten Universum erwartet wird. Dies ist paradox. Wir wissen, dass Materie im Universum existiert und folglich eine Abbremsung vorhanden sein müsste, aber die Messungen deuten daraufhin, dass die Expansion nicht abgebremst wurde, ja sie scheint sich im Gegenteil beschleunigt zu haben!

Eine mögliche Lösung dieses Dilemmas hat Albert Einstein aufgezeigt. Als er zum ersten Mal seine Allgemeine Relativitätstheorie auf das Universum anwandte, glaubte er an einen ewig gleichen Kosmos. Die Relativitätstheorie beschreibt allerdings ein dynamisches Universum, das entweder expandiert oder kontrahiert. Um seine Lehre der – scheinbaren – Realität anzupassen, führte Einstein die sogenannte Kosmologische Konstante ein, die der Gravitation entgegenwirkt. Mit der Entdeckung der globalen Expansion durch Hubble war diese Konstante allerdings hinfällig. Einstein selbst hat sie sofort aufgegeben und als seine "grösste Eselei" bezeichnet. In unseren Tagen erlebte sie jedoch eine unerwartete Rückkehr, denn die Messungen der Ia–Supernovae lassen sich nur mit ihrer Hilfe erklären.

Es ist die Energie des Vakuums in der Form der Kosmologischen Konstante, die das Universum auseinander treibt, und möglicherweise sind wir gerade dabei, seine grundlegenden Parameter zu bestimmen. Für die Hubble–Konstante hat sich in den letzten Jahren ein Konsens für einen Wert um 70 Kilometer pro Secunde pro Megaparsec etabliert; allerdings wären auch 60 oder 80 denkbar. Da die Raumzeit vermutlich nicht gekrümmt ist und die Gesamtenergie des Universums sich zu 30 Prozent in seiner Materie – der sichtbaren wie der dunklen – und zu 70 Prozent in der Kosmologischen Konstanten manifestiert, ergibt sich ein Alter von 13 oder 14 Milliarden Jahren, komfortable genug für die ältesten Sterne mit 11 Milliarden Jahren.

Damit ist das Schicksal des Universums besiegelt. Es wird sich für immer ausdehnen, getrieben von der Vakuumsenergie, deren physikalische Erklärung noch unklar ist. Kopernikus riss die Menschen aus der Sicherheit des geozentrischen Weltbildes. Später, in den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts, zerfiel die Hypothese von der einen Milchstraße: es wurde klar, dass Millionen von Galaxien existieren. Und jetzt haben wir gelernt, dass der Kosmos zwar einen Anfang im Urknall hatte, aber nie ein Ende finden wird.