

Das Nichts ist das einzige große Weltwunder.

René Magritte

Nichts ist wirklicher als das Nichts.

Samuel Beckett

Liebe Leserin, lieber Leser,

Januar, der Janusköpfige, ladet ein zu Rückblick und Vorschau. Für die Astronomengilde war das Jahr 2011 ein erfolgreiches: Der Physiknobelpreis ging immerhin an drei Astronomen. Der Jubel ob der „Dunklen Energie“ ist allgemein, doch genau genommen handelt es sich um das preisgekrönte Eingeständnis einer intellektuellen Blamage allerersten Ranges: Wir haben schlicht keine Ahnung, woraus das Universum hauptsächlich besteht. Sowohl die „Dunkle Materie“ als auch die „Dunkle Energie“, beide sind zutiefst obskur. Dennoch gibt es einiges dazu zu sagen. Der Kosmos-Bote nimmt die Preisverleihung an Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt und Adam G. Riess erneut zum Anlass, auf die „Dunkle Energie“ sprechen zu kommen.

Was die Entdeckung der „Dunklen Energie“ so bemerkenswert macht? Nun, sie wurde uns aufgezwungen, geschah wider Willen. Nur Einsichten, die *ungelegen* kommen, überzeugen!

In der Presse wird derzeit viel über des Universums Schicksal spekuliert, als ob es morgen schon so weit wäre und die Konsequenzen der sich stetig beschleunigenden Expansion schon bald jederman sichtbar würden. Sich über „letzte Dinge“ zu äußern, die keiner wird jemals nachprüfen können, entbehrt nicht des Reizes, ist aber deshalb noch keine Wissenschaft.

Ist Vorschau überhaupt machbar? Von den Meteorologen mussten wir lernen, dass dies angesichts der Komplexität der Welt nur begrenzt möglich ist. Ja, leider war's ein Mann des Wetters, Edward Norton Lorenz (1917–2008), der 1963 bei einem einfachen nichtlinearen System, der atmosphärischen Konvektion, den Schmetterlingseffekt entdeckte, und kein Himmelsmechaniker. (Obwohl der geniale Henri Poincaré (1854–1912) das deterministische Chaos beim n -Körper-Problem der Himmelsmechanik lange vor Lorenz „gesehen“

hatte.) Erst 1986 entschuldigte sich ein Physiker im Namen aller Kollegen dafür, die „gebildete Öffentlichkeit“ jahrhundertlang glauben gemacht zu haben, die Newtonschen Gesetze der Bewegung machten die Zukunft im Prinzip berechenbar.

Für das innere Planetensystem ist die himmelsmechanische Vorhersagbarkeit auf wenige Millionen Jahre beschränkt. Mehr ist nicht drin. Und daran ändern auch bessere Rechner nichts. Beim Universum sieht's womöglich besser aus. Das ist einfacher gestrickt. Die kosmologische Expansion wird sich nicht von heute auf morgen ändern. *Der* Schwung reicht für Äonen. Aber es gibt ein Horizontproblem. Wir können an Lichtjahren nur so weit blicken, wie das Universum an Jahren alt ist. Die gute Nachricht: Unser Horizont weitet sich¹! Das schafft andererseits aber auch Raum für Überraschungen. Niemand weiß, was hinterm Horizont lauert. Nur in einem endlichen Universum ist man gegen Überraschungen gefeit. Die Beschwichtigung, wonach auch dort „Draußen“ die Dinge ihren gewohnten Gang nehmen, also nichts Unerwartetes von dort zu gewärtigen sei, beruht allein auf der Annahme, dass sich in einem Moment am Anfang der Zeit das Universum gewaltig aufgebläht habe. Der ganze Weltenraum, viel viel weiter als wir heute zu schauen vermögen, war zuvor ein mikroskopisch kleines Etwas aus der Nanowelt. Jeder Teil wusste vom anderen, bevor die kausale Anbindung durch das überschnelle Aufblähen schlagartig gekappt wurde und die Kommunikation abbriss. Das erklärt, warum Teile des Himmels, die heutzutage einige Winkelgrade voneinander entfernt sind, nahezu die gleiche Temperatur von 2,7 K (−270,4°C) haben. Ohne diese anfängliche Inflation können sie niemals in Wärmekontakt gestanden, d. h. sich „abgesprachen“ haben.

Eine Inflation hinter uns und eine vor uns: das ist der Stand der Forschung. (Oder auch nicht. Für Roger Penrose beißt sich die Schlange gar in den Schwanz. Das Ende, es erweist sich womöglich als neuer Anfang, als ein neuer Zyklus der Zeit ...)

„Was soll's?“, werden Sie sagen. Der Äon ist nicht jedermanns Sache. Womit sich unsereiner so herumschlägt, ist von kleinerem Zuschnitt. Hier unten wimmelt's von Schmetterlingseffekten.

Willkommen im „Schaltjahr der Nachhaltigkeitsforschung“!

Ihr Hans-Erich Fröhlich

¹Falls sich das Universum weiterhin beschleunigt aufbläht, sollte sich eines fernen Tages der Horizont sogar wieder verengen.

Der Himmel im Januar

Am 5. Januar strahlt die Sonnenscheibe in maximaler Größe vom Firmament. Keine Angst, der wahre Sonnendurchmesser wächst so schnell nicht. Es ist vielmehr der Abstand zur Erde, der z. Z. immer Anfang eines Jahres minimal wird. Die Erde durchläuft das Perihel ihrer Ellipsenbahn.

Venus und Mars sind im Kommen. Die Venus dient uns in den nächsten Monaten als Abendstern. (In der zweiten Jahreshälfte versieht sie ihren Dienst als Morgenstern. Dazwischen taucht sie kurz vor der Sonnenscheibe auf, am 6. Juni. Es ist der letzte Venustransit in diesem Jahrhundert!) Mars steht immer früher auf, gegen Monatsende bereits vor 21 Uhr.

Noch ist Jupiter gut am Abendhimmel sichtbar. Ist er untergegangen – kurz nach Mitternacht –, macht im Osten schon der nächste Riese seine Aufwartung, Saturn.

Ich weiß nicht, unter welche Rubrik die folgende Meldung fällt: Am 8. Januar jedenfalls wird der Kosmologe, Quantentheoretiker und Thermodynamiker Stephen Hawking 70!

Dunkle Energie

Eigentlich ist es kein Wunder. Das Weltall dehnt sich aus, Stoff und Strahlung (insbesondere letztere) sind immer dünner gesät, die Leere nimmt irgendwann überhand, wird beherrschend. Irgendwann? Traut man neueren Beobachtungen, wie offenbar das Nobelpreiskomitee, hat das Vakuum schon längst die Führung übernommen. Und sein Einfluss wächst. Es gibt immer mehr davon.

Doch lassen Sie uns der Reihe nach vorgehen. Dass ein Universum, wo die Schwerkraft das Sagen hat, nicht statisch sein kann, muss bereits Newton klar gewesen sein. (Dazu bedarf es nicht des mathematisch anspruchsvollen Apparates der Einsteinschen Allgemeinen Relativitätstheorie (ART). Für eine in sich konsistente Beschreibung des Kosmos ist sie allerdings unumgänglich.) Ohne inneren Druck, ohne Fliehkraft – wogegen sollte das Universum rotieren? – muss jede Massenansammlung entweder in sich zusammenstürzen oder aber, falls sie anfänglich auseinanderstrebte, dies im Laufe der Zeit immer langsamer tun. Die Schwerkraft zehrt am Schwung der Expansion. Reicht der Anfangsschwung nicht aus, sollte so ein Universum nach geraumer Zeit sogar wieder in sich zusammenbrechen. (Das ist wie im Falle einer Rakete, die

die zweite kosmische Geschwindigkeit, die Entweichgeschwindigkeit, verfehlt. Die fällt unweigerlich zurück.)

Dass die kosmologische Expansion *gebremst* vonstatten geht, schien ausgemacht. Trotzdem maß man nach. Man bediente sich dazu spezieller Supernovae: explodierender weißer Zwerge². (Auch wenn aller paar Sekunden irgendwo im Universum eine Supernova aufleuchtet, ein solches Ereignis aufzuspüren ist bei einem so großen Universum keine leichte Sache!) Da man davon ausgehen kann, dass die Wucht der thermonuklearen Detonation und die Lichtausbeute damals wie heute dieselbe ist, dient die scheinbare Helligkeit einer solchen Supernova als Maß für ihre Entfernung. Man kann in der Tat mittels Ia-Supernovae den Raum ausloten und die heutige Expansion des Kosmos mit der in der Vergangenheit vergleichen. Der Astronom nutzt dabei aus, dass es ihm vergönnt ist, in die Vergangenheit des Universums zu schauen. Die Überraschung war perfekt. Die Expansion *verlief* in der Tat anfänglich gebremst, schlug aber bereits vor Jahrmilliarden (bei einer Rotverschiebung von 0,6) offenbar in eine beschleunigte um, als gäbe es eine Art Anti-Gravitation! (Inzwischen gibt es unabhängig von explodierenden weißen Zwergen Hinweise, wonach die kosmologische Expansion in der Tat an Fahrt gewinnt.)

Anti-Gravitation gibt's tatsächlich – und sie ist ein alter Hut von Einstein, wie wir sehen werden. Jeder kennt die Formel $E = m \cdot c^2$. Masse und Energie sind einander äquivalent. Ein Gramm Strom sind 25 Millionen kWh und kostet entsprechend einige Millionen Euro. Da Masse, also Stoff, anziehend auf andere Massen wirkt, muss Energie (beispielsweise Wärme) auch gravitativ anziehend sein.

Nehmen Sie den Gasdruck, eine Energiedichte. Die entsprechende Massendichte ist wegen des Faktors c^2 im Alltag verschwindend gering. Dennoch: Druck trägt nach Einstein wie Masse zur Schwerkraft bei! Das hat Folgen. Ein Neutronenstern kann deswegen nicht schwerer als, sagen wir, 2 1/2 Sonnenmassen sein. Um das Gewicht eines Neutronensterns auszuhalten, muss der Innendruck immens sein. Man kann sich vorstellen, was passiert, trägt der Druck selbst zur Schwerkraft bei. Irgendwann ist kein Halten mehr. So entstehen schwarze Löcher von wenigen Sonnenmassen.

Gibt es negativen Druck? Der müsste ja dann logischerweise für gravitative

²Für weiße Zwerge ist die Masse nach oben quantenmechanisch begrenzt. Wird durch Aufsammeln von Material diese Grenze erreicht, kommt es zur thermonuklearen Detonation.

Abstoßung sorgen. Na klar! Spannen Sie eine Feder oder ein Gummiband! Zugspannung ist negativer Druck. Die Federspannung vermindert folglich ein wenig die Schwere, die vom Federmaterial ausgeht. Verglichen mit der stoffbedingten Eigenschwere fällt diese zugbedingte negative Schwerkraft allerdings nicht ins Gewicht, ansonsten müsste sich ja eine Spiralfeder, je stärker sie gespannt wird, um so mehr selbst strecken und spannen. Sie müsste erst allmählich, dann immer schneller von selbst auseinanderschnellen – wie das Universum.

Gibt es reine Zugspannung? Auch hier war Einstein Vordenker. Um das Universum an seiner Entwicklung zu hindern, verpasste er kurzerhand einem freien Parameter seiner ART, einer Integrationskonstanten, den passenden Wert. Das war 1917. Anziehung und Abstoßung hielten wie durch Zauberei einander die Waage, das statische Weltall war gerettet. Allerdings erwies sich dieses durch Feinabstimmung erzwungene Gleichgewicht als labil. Die kleinste Störung und das künstlich ausbalancierte Universum fiel in sich zusammen oder bräche immer schneller auseinander. Als sich 1929 herausstellte, dass das Weltall eh expandiert, bedauerte Einstein seinen Kunstgriff und soll die sog. kosmologische Konstante als „größte Eselei seines Lebens“ bezeichnet haben. Heute ist sie wieder in aller Munde. (Woran man sieht, dass bei einem Genie selbst die Fehler noch genial sind.) Die kosmologische Konstante bietet sich an, die beobachtete beschleunigte Ausdehnung des Universums zu beschreiben. Sie wirkt wie ein allgegenwärtiger konstanter negativer Druck. Allzu bedeutend darf diese Abstoßung allerdings nicht sein, man bekäme ja sonst ihre lokale Auswirkung im Planetensystem zu spüren.

Was aber verbirgt sich an Physik hinter der kosmologischen Konstanten? Sie könnte für eine spezielle Eigenschaft des Quantenvakuums stehen, seine Elastizität. Die Physiker haben von jeher ein gespanntes Verhältnis zur Leere. Ende des 19. Jahrhunderts erfanden sie den „Äther“ als gewichtsloses elastisches Medium, in dem sich elektromagnetische Wellen ausbreiten sollten. Schallwellen bedürfen der Luft, elektromagnetische Wellen des Äthers, so sagte man sich. Die Ätherhypothese musste 1881 zu Grabe getragen werden. Der Versuch, den „Ätherwind“ der Erde zu messen, war gescheitert. Der unerwartete Ausgang des Michelson-Experiments auf dem Potsdamer Telegrafenberg aber gab den Startschuss zur (speziellen) Relativitätstheorie. Später sorgte das Quantenvakuum für Furore. Es darf nämlich nicht „leer“ sein. Das widerspräche den Gepflogenheiten der Quantenwelt. Jeder Versuch, das Nichts auf Null-Komma-Nix festzunageln, führt unweigerlich dazu, dass

sich dieser Zustand ändert³, und zwar sofort! Kurz, das Quantenvakuum, der leere Raum an sich, ist ein seltsames „Zeug“ mit fluktuierender Nullpunktsenergie. Seine Federkraft (Casimir-Effekt) stellt sogar ein ernstes Hindernis für die Nanotechnik dar.

Kann man sich irgendwie plausibel machen, dass eine Weltkugel aus Nichts exponentiell expandiert? Nun, die Menge an Vakuum, die in einer solchen Kugel steckt, wächst mit dem Volumen, geht also mit der dritten Potenz des Radius. Die gravitative Abstoßungskraft⁴ an der Kugeloberfläche, sie fällt à la Newton mit dem Quadrat des Radius. Die auswärts gerichtete Beschleunigung, die die Kugeloberfläche erfährt, ist mithin proportional dem Kugelradius. Mathematisch ausgedrückt ist die zweite Ableitung des Weltradius nach der Zeit (die Beschleunigung) dem Weltradius selbst proportional. Das führt letztlich auf einen mit der Zeit exponentiell anwachsenden Weltradius. Die Zeitspanne, binnen derer sich der Weltradius jeweils verdoppelt, ist eine Naturkonstante. Verstünden die Physiker das Vakuum, sollten sie diese Verdopplungszeit ausrechnen können.

Neben dem ordinären Vakuum, das in mehreren Varianten auftreten kann, hat der Physiker noch ein gehaltvolleres „Triebmittel“ in petto, die „Quintessenz“. In der Aristotelischen Weltsicht erhebt sich das „fünfte Wesen“ als ätherisches Element über die vier „grobstofflichen“ Urstoffe, Feuer, Erde, Wasser und Luft. Es wird symbolisiert durch den fünften Platonischen Körper, den Dodekaeder. Wie es scheint, ist der „Äther“ nicht totzukriegen!

³Dahinter steckt Heisenbergs Unschärferelation. Man kennt das: Je schärfer ich den Ort eines Teilchens fixiere, indem ich es beispielsweise in einen kleinen Kasten sperre, desto größer sein Drang nach Ortsveränderung. So ein eingesperrtes Quantending rennt wie ein wildes Tier gegen seine Mauern an, je enger der Käfig, desto entschiedener. (Dieser Tatsache verdanken wir weiße Zwerge und Neutronensterne. Selbst am Temperaturnullpunkt, -273°C , gibt es diesen quantenmechanischen Entartungsdruck.) Zwar gibt's im Vakuum keine realen Teilchen, aber dafür virtuelle. Sie kommen und gehen. Für beliebig kurze Zeiten darf der Satz von der Erhaltung der Energie beliebig verletzt werden.

⁴Die Abstoßung durch die Vakuumspannung übertrifft die Anziehung durch die Vakuummasse betragsmäßig um das Dreifache. Virtueller Stoff stößt doppelt so stark ab, wie normaler Stoff anzieht!