

Liebe Leserin, lieber Leser,

meine Tochter überraschte mich mit dem Slogan „Wissen ist Nacht“. In einem ihrer Bücher erforscht ein gewisser Prof. Nachtigaller das Dunkel. Ich bin ihr dankbar für diesen Aufhänger. Herr Nachtigaller muss Kosmologe sein, denn zwei Dinge erfüllen das moderne Universum fast ganz: das Dunkle und das Nichts, wobei letzteres bereits die Oberhand hat. Meine Wissenschaft spricht unpathetisch von dunkler Materie und dunkler Energie.

Dieser Newsletter ist der Versuch, etwas Licht auf eine der dunklen Seiten des Universums zu werfen. Viel wird dabei nicht herauskommen, so viel kann ich Ihnen schon versprechen.

Die hellen Seiten gibt es natürlich auch. Frühlingsvollmond ist am 30. März. Der Sonntag darauf ist Ostern.

Genießen Sie die „Zeit des Erwachens“!

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im März

Eine Opposition steht ins Haus, wieder einmal: Saturn befindet sich am 22. März (jedenfalls für unsere Zeitzone) von der Erde aus gesehen der Sonne genau gegenüber und ist daher in diesen Tagen die ganze Nacht über sichtbar. Und er ist uns nahe: $8 \frac{1}{2}$ Astronomische Einheiten bzw. 71 Lichtminuten. Sage keiner, letzteres mache nichts aus! In 71 Minuten bewegt er sich immerhin um $\frac{1}{3}$ seines Durchmessers weiter auf seiner Umlaufbahn um die Sonne. Wo wir ihn sehen, ist er nicht mehr! Wer es genaunimmt im Sonnensystem, die NASA beispielsweise, kommt um die Anrechnung von Lichtlaufzeiten nicht umhin.

Der astronomische Frühling beginnt am 20. März, 18:32 MEZ. Tag und Nacht sind dann gleich lang. Das Sommerhalbjahr beginnt. Dass der Frühlingsbeginn immer in den März fällt, ist ohne tiefere Bedeutung. Unser Kalender ist so eingerichtet.

Noch eine Formalie: Am letzten Sonntag im März wird die Uhr um eine Stunde vorgestellt. Der 28. März ist ein kurzer Sonntag.

Von Machos und Waschlappen

Die Rotationskurve eines Spiralnebels, die Art und Weise, wie die Umdrehungsgeschwindigkeit mit zunehmendem Abstand zum Rotationszentrum variiert, offenbart, wo die gravitierende Masse in einem Sternsystem sitzt. Nur ein Bruchteil davon ist in Gestalt von Sternen oder interstellarer Materie (leuchtendes Gas und dunkler Staub) tatsächlich sichtbar. Das meiste, was in den Außenbezirken der Galaxien an Stoff lagert, ist dunkel. Das war die Botschaft des Februar-Newsletter, wo es um das Rotationsgebaren der Andromedagalaxie ging.

Die Frage nach der Natur der unsichtbaren Materie in den Galaxienhalos blieb unbeantwortet. Und daran wird auch dieser Newsletter nichts ändern. Aber es gibt mehr dazu zu sagen, als bisher zur Sprache gekommen ist. Beispielsweise gibt es einen Hinweis von Seiten der Chemie, wonach dieses Material nicht-baryonischer Natur sein muss. Wenn das keine bemerkenswerte Aussage ist!

Doch der Reihe nach! Man sollte womöglich alle Möglichkeiten in Betracht ziehen. Der Schwerkraft ist bekanntlich schnuppe, wer an wem zerrt. Sie, die schwächste Kraft im Konzert der vier Naturkräfte, wirkt universell. Ob Goldklumpen, Hühnerfeder oder Neutrino, bei Abwesenheit von Reibung fällt alles gleich schnell. So könnte es sich bei der unsichtbaren Materie in den Galaxien wenigstens teilweise um schwer oder gar nicht sichtbare normale Materie handeln, sprich massearme, leuchtschwache Sterne und braune Zwerge, massereiche schwarze Löcher oder sogar Gas, das einfach derart heiß ist, dass es bevorzugt im Röntgenlicht strahlt. Jahrelang hat man versucht, mittels des Gravitationslinseneffektes sog. Machos ausfindig zu machen: *massive astrophysical compact halo objects*. Was man gefunden zu haben glaubt, reicht bei weitem nicht aus, die massereichen Halos der Galaxien damit zu bevölkern.

Die Macho-Idee zeugt von gesundem wissenschaftlichen Konservativismus. Man sucht die Lösung eines Problems im Bereich des Bekannten und Naheliegenden, auf exotische Erklärungen kann man zur Not immer noch ausweichen. Der Ansatz ist vernünftig, schließlich haben wir noch längst nicht jedes Baryon im Universum ausfindig gemacht. Baryonen sind die Elementarteilchen, die der starken Wechselwirkung unterliegen. Die bekanntesten und am weitesten verbreiteten Baryonen sind das Proton und das Neutron. Aus diesen Teilchen setzen sich die Atomkerne zusammen. (Die Baryonen selbst bestehen aus jeweils drei unzertrennlichen Quarks.) Dass ein Atomkern aus

vielen positiv geladenen Protonen nicht wegen der elektrostatischen Abstoßung auseinanderbricht, verdankt er der „starken“ Kernkraft. Sie schweißt die Nukleonen zusammen. Der Begriff „starke Wechselwirkung“ ist gerechtfertigt.

In der Schule hat man uns beigebracht, dass *alles* aus Atomen besteht. Fast die gesamte Masse eines Atoms entfällt aber auf seinen baryonischen Kern. Alles, was wir anfassen können, was etwas wiegt, besteht aus Baryonen. Das griechische „barys“ bedeutet „schwer“. Es sind die Baryonen, die den Dingen Dauer verleihen. Die Anzahl der Baryonen(ladungen) ist eine Erhaltungsgröße! Noch nie ist der Zerfall eines Protons beobachtet worden. Seine Halbwertszeit übertrifft auf jeden Fall 10^{31} Jahre. Das sind immerhin 10^{21} Weltalter!

Doch wie schon Shakespeare wusste und treffend zu formulieren verstand, es gibt „mehr Dinge zwischen Himmel und Erde als sich unsere Schulweisheit träumen lässt“. Das Universum, das All, gehört dazu. Es besteht, nach allem, was wir zu wissen glauben, zu 96 % aus nicht-baryonischem Material! Die Tatsache, dass wir von Baryonen umgeben sind, ja selbst aus solchen bestehen, bedeutet nicht, dass diese Sorte von Materie deshalb auch die vorherrschende ist.

Wie kommt man auf so eine Ungeheuerlichkeit? Dazu muss ich etwas ausholen.

Sekunden nach dem Urknall hatte sich der Stoff, bedingt durch die Ausdehnung, so weit abgekühlt gehabt – auf wenige Milliarden Grad –, dass sich Protonen und Neutronen nicht mehr ständig ineinander umwandeln konnten. Kernphysiker, denen es in der Hauptsache um die starke Kernkraft geht, unterscheiden kaum zwischen den beiden, wenn man das so sagen darf. Die Neutrinos, die in dieses Geschäft involviert waren, koppelten ab und bildeten seither einen universellen Neutrinohintergrund. Von dem bekommen wir aber nichts mit. Neutrinos gehen durch die Dinge hindurch, als gäbe es sie nicht. Dabei wäre die Messung dieser Relikte aufschlussreich, erlaubte sie es uns doch, von der Beobachtung her, bis auf eine Sekunde an den Urknall heranzukommen! Wir kommen auf die Neutrinos zurück.

Damals jedenfalls „froh“ – der Kosmos war aus Neutrinossicht „unterkühlt“ – das Neutronen-Protonen-Verhältnis bei 1:7 ein. Neutronen sind (im thermodynamischen Gleichgewicht) seltener als Protonen, sie wiegen etwas mehr als diese. Minuten später waren die Neutronen bis auf wenige Ausnahmen in α -Teilchen (Heliumatomkernen) verbaut und – gerettet. (In freier Wildbahn

hat ein Neutron nur eine Lebenserwartung von elf Minuten. Schwerer als ein Proton, wandelt es sich spontan unter Abgabe eines Elektrons und eines (Elektron-Anti-)Neutrinos in ein solches um. Dem Proton ist das verwehrt. Es repräsentiert den Grundzustand „des“ Baryons. Es gibt nichts leichteres, in das es übergehen könnte. Es kann energetisch nicht tiefer fallen.)

So ein Neutron findet allemal einen Partner – nur in Bindung vermag es zu überdauern –, aber sechs von acht Baryonen gehen notgedrungen leer aus. Das ist der Grund, weshalb unsere baryonische Welt vorwiegend aus Wasserstoff besteht! $3/4$ (= $6/8$) aller Baryonen sind alleingebliedene Protonen. Und der Rest? Er findet sich (fast) ausnahmslos im Helium wieder. Tatsächlich macht Helium im Kosmos (baryonen)massemäßig 24 % aus. Die Theorie vom heißen Urknall erklärt so ganz nebenbei, warum jedes 13. Atom in der Welt ein Heliumatom ist! Die Heliumhäufigkeit ist eine der Stützen dieser Theorie. (Was die Sterne später an Helium hinzugetan haben, ist unerheblich.)

Um kein Missverständnis aufkommen zu lassen: Das Helium in Luftschiffen und Ballonen kommt nicht aus dem Urknall, es kommt vom radioaktiven Zerfall schwerer Elemente.

Interessanter als Helium ist Deuterium, schwerer Wasserstoff. Dieser enthält ein Neutron. Deuterium gibt's zwar nur in Spuren, der Masseanteil liegt bei nur 0,001 %, aber von seinem Beitrag zum primordialen Elementenmix kann man etwas lernen. Die Deuteriumhäufigkeit fixiert das Anzahlverhältnis zwischen Baryonen und Photonen der Hintergrundstrahlung. Je höher der Deuteriumanteil, desto geringer die Baryondichte. Der Deuteriumgehalt der Welt ist ein Indikator für den Baryonengehalt der Welt. Die Photonendichte ist bekannt: 411 cm^{-3} heutzutage. Baryonen sind nach Ausweis der Deuteriumhäufigkeit viel viel seltener. Auf zehn Kubikmeter Kosmos kommt im Mittel ein Baryon. Und das wiederum macht gerade einmal 4 % der Gesamtdichte im Kosmos aus. Auf die dunkle Materie entfallen 23 %, auf die noch ominösere dunkle Energie sogar 73 %.

Im Gegensatz zum Helium ist das Deuterium in „schwerem Wasser“ wirklich vom Urknall!

Auch wenn es unser Selbstgefühl verletzen sollte, der Stoff aus dem wir und all die Dinge um uns herum gemacht sind, er ist, insgesamt gesehen, ziemlich belanglos. Übrigens sind selbst von den erwähnten 4 % nur ein Bruchteil in Form von Sternen sichtbar. Die meisten Baryonen füllen als hochverdünntes warmes Gas die Weiten des extragalaktischen Raumes.

Der Ausflug in die primordiale Elementsynthese lehrt: Die unsichtbare Ma-

terie eines Galaxienhalos, die sich gravitativ durch die Flachheit der Rotationskurve verrät, kann nur zu einem geringen Teil aus Baryonen bestehen.

Und woraus besteht sie dann? Nach weit verbreiteter Ansicht aus WIMPs: *weakly interacting massive particles*. Darunter verstehen Elementarteilchenphysiker massereiche Partikeln, die (wie Neutrinos) nur der schwachen Wechselwirkung (und der Schwerkraft natürlich) unterliegen.

Ich bin kein Elementarteilchenphysiker. Erwarten Sie also bitte nichts über WIMPs. Nur soviel, alle diese Teilchen mit Massen zwischen zehn und, sagen wir, 1000 Protonenmassen sind bislang rein hypothetisch, Papiertieger, entsprungen den Lieblingshypothesen von Vereinheitlichungs-Theoretikern.

Und dabei war man schon einmal guter Hoffnung. Das Gerücht, das Neutrino (bzw. die Neutrinos, denn es gibt mehrere Arten davon) habe eine winzig kleine Ruhemasse, viel kleiner als die Masse eines Elektrons, machte es als kosmologischer Strukturbildner attraktiv. Da Neutrinos häufig sind, es gibt sie wie Sand am Meer, genauer, wie Photonen im Hintergrund, könnten sie ggf. erheblich zur Massebilanz beitragen. Das Neutrino hat zwar auch eine papierene Herkunft, es wurde 1931 von Wolfgang Pauli „erfunden“, um die Erhaltungsgesetze der Physik – des Physikers „heilige Kühe“!– vor dem (radioaktiven β -)Zerfall zu retten, aber es gibt das Neutrino im Gegensatz zu den WIMPs tatsächlich. 1956 wurden erstmals diese gespenstischen Teilchen bei einem Kernreaktor nachgewiesen, inzwischen misst man routinemäßig den Strom solarer Neutrinos aus dem tiefen Innern der Sonne. Der Hauptteil der Sonnenneutrinos entsteht bei der Wasserstofffusion. Um aus Wasserstoff Helium zu machen, müssen sich zwei von vier beteiligten Protonen in Neutronen verwandeln. Dieser Prozess ist der schwachen Wechselwirkung geschuldet und damit der Flaschenhals, der verhindert, dass die Sonne explodiert. Er ist nämlich so gut wie verboten. Einem x-beliebigen Proton in der Sonne stößt dies, statistisch gesehen, erst nach vielen Weltaltern zu. (Die „schwache“ Wechselwirkung ist halt schwach.) Trotzdem passiert es, wegen der unermesslichen Anzahl von agierenden Protonen, hinreichend oft. In jeder Sekunde werden zwei Millionen Tonnen Protonen „schwach“ und vollziehen die Verwandlung. (Letztlich verdanken wir der Radioaktivität, dass die Sonne leuchtet!) Die dabei anfallenden Neutrinos verlassen schnurstracks die Sonne. (Die Photonen quälen sich mühselig in Jahrtausenden durch die dichten Schichten der Sonne hindurch.) Einigen stellt sich die Erde in den Weg. Umsonst. Unser Globus ist für diese Gespensterteilchen, die mühelos lichtjahre-dicke Bleiwände zu durchqueren vermögen, kein ernstzunehmendes

Hindernis. Nur hin und wieder, wenn es der Zufall will, verfängt sich eines in den gewaltigen Auffangfallen der Neutrinoastronomen.

Und warum kommt das Neutrino als kosmischer Strukturbildner nicht mehr in Betracht? Es wurde zu leicht befunden, oder anders herum: es bewegt sich zu schnell. Das Neutrino zählt zur sog. heißen dunklen Materie, zu heiß, als dass sie in einem Galaxienhalo festgehalten werden könnte. Nur die allergrößten Strukturen, wie Superhaufen, könnten Neutrinos halten. Inzwischen hat man aber dunkle Materie selbst in Zwerggalaxien nachgewiesen. Die Entweichgeschwindigkeit dort ist so gering, dass nur schwergewichtige Partikeln, vom Gewicht eines Goldatoms oder darüber, die sich wegen ihrer Beibtheit nur schwerfällig bewegen, vorkommen können – WIMPs eben.