

**Liebe Leserin, lieber Leser,**

man sollte sich nicht vom ersten Eindruck leiten lassen: Der „Schneemann“ aus der Februarausgabe, er verflachte inzwischen zum „Lebkuchenmann“! Die Einzelteile, Ultima und Thule, sie sind gar nicht kugelig – insbesondere Ultima erweist sich als platt –, man musste bloß auf eine geänderte Blickrichtung warten! Die ergab sich in der Rückschau, nach dem Vorbeiflug von New Horizons. Leider zieht sich das Übermitteln der Fotos bei einer Downlink-Rate von 500 Bits/s hin, wir wüssten es sonst schon längst.

Im Nachhinein hätte man sich's denken können. Es gab keinen Grund, im Vornherein von etwas Kugelförmigem auszugehen. Die beiden Teile sind viel zu klein, als dass es allein unter der Last des Eigengewichts dazu hätte kommen können.

Es gibt Wortschöpfungen, die es aus der Enge des Fachlichen ins Volkstümlich-Umgangssprachliche geschafft haben. „Big Bang“, vor 70 Jahren von dem Urknall-Kritiker Fred Hoyle (1915–2001) geprägt, gehört in diese Kategorie. Die Lehre vom „Großen Knall“ selbst ist älter. Sie entstand, als man es endlich aufgab, ein stationäres Universum erzwingen zu wollen. Mit einer dominierenden Kraft, die nur Anziehung kennt, der Gravitation, ist dies schlicht unmöglich (was ein Newton schon hätte wissen können). Einstein hatte *ad hoc* eine Art Anti-Gravitation „erfunden“ gehabt – die ominöse kosmologische Konstante – ohne zu bemerken, dass ein solches Universum labil und also letztlich alles andere als stationär wäre, nämlich inflationär. Einstein hatte sich später davon distanziert gehabt. Das Problem mit dem Urknall: der singuläre Anfang, wo die Dichte unendlich hoch gewesen sein muss, jedenfalls in der klassischen Theorie<sup>1</sup>. Als Startbedingung erschien das höchst fragwürdig. (Die katholische Kirche hat übrigens seit 1952 damit kein Problem!) Deshalb gab es Kosmologen, die eine Theorie des *s t a t i o n ä r e n* Zustands propagierten. Sie hielten es mit dem *v o l l k o m m e n e n* kosmologischen Prinzip: Das Universum habe weder eine Vorzugsrichtung (Isotropie), noch ein Zentrum (räumliche Homogenität), noch einen ausgezeichneten Zeitpunkt (zeitliche Homogenität)! Das war mit der beobachteten Expansion nur

---

<sup>1</sup>Wobei es egal ist, ob man Newton oder Einstein folgt.

vereinbar, verzichtete man auf die Erhaltung der Masse (genauer: der Energie). Damit im Großen und Ganzen alles beim Alten bleibt, sich die mittlere Dichte im Laufe der Jahre nicht ändert, müssen sich zwischen den auseinanderstrebenden Galaxien ständig neue Galaxien bilden. Man fragt sich, was die schlimmere Zumutung ist: ein Zustand quasi-unendlicher Dichte vor gerade einmal drei Erdaltern, an dem die (klassische) Physik zerbricht, oder ein zusätzliches, aus dem Nichts<sup>2</sup> auftauchendes Wasserstoffatömchen pro Jahr und 100 Kubikkilometer – etwas, das niemandem auffiele? Schöpfer dieser *Steady-state* Theorie von 1948 waren zwei vor den Nazis geflohene Österreicher, Hermann Bondi (1919–2005) und Thomas Gold (1920–2004), sowie der stabreimende Exzentriker Fred Hoyle. Der Hieb saß, aber anders als von Hoyle gedacht: „Big Bang“ verlor seinen negativen Beigeschmack und ging ins kollektive Gedächtnis der Menschen ein. Kosmologen und Physiker haben sich spätestens seit 1965, seit der Entdeckung der kosmologischen Hintergrundstrahlung, der 3-K-Strahlung, gegen die Wiederholung des ständig Gleichen und für die Geschichtlichkeit des Universums entschieden.

Dennoch: die Zeit stört<sup>3</sup>! Der Quantenkosmologe Stephen Hawking (1942–2018) wollte sie aus der Theorie ganz verbannen. Nach Hawking begann das Quantenuniversum zeitlos und endlich. Dazu musste er der Zeit ihren Sonderstatus nehmen, jedenfalls „bevor es los ging“: Die heiße Planck-Ära war gar keine Ära, sie war zeitlos, es wurde (noch) nicht zwischen Räumlichem und Zeitlichem unterschieden. Die Zeit war „verräumlicht“, sprich imaginär, was ein mathematischer Trick<sup>4</sup> ist, um sie den drei anderen räumlichen Koordinaten gleich zu stellen. Für eine quantenphysikalische Betrachtung, die alle

---

<sup>2</sup>In der modernen Kosmologie entsteht das ganze Universum aus dem Nichts!

<sup>3</sup>... zumal die Markierung von Zeitpunkten durchaus subjektiv ist. Es hat sich eingebürgert, die Anzahl  $N$  von Atomschwingungen zu zählen und damit Zeitpunkte zu etikettieren. Man könnte aber mit gleichem Recht auch den Kehrwert  $N^{-1}$  benutzen, also eine Frequenz, oder eine beliebige (von Null verschiedene) Potenz. Harold Jeffreys (s. u.) schlägt vor, um es jedem gerecht zu machen, den Logarithmus zu nehmen. Bei einem periodischen Vorgang spielt es eine Rolle, ob man die Periode  $P$  oder die Frequenz  $\nu$  oder aber  $\log(P)$  bzw.  $\log(\nu)$  aus verauschten Messdaten ermittelt. Der Erwartungswert der Periode ist nicht der Kehrwert des Erwartungswertes der Frequenz, aber der Erwartungswert des Logarithmus der Periode ist, bis auf das Vorzeichen, gleich dem Erwartungswert des Logarithmus der Frequenz! Deshalb die Bevorzugung des Logarithmus: um keine Vorlieben zu bedienen!

<sup>4</sup>Laut Pythagoras ist das Quadrat des Abstands zwischen zwei Punkten im Raum gleich der Summe der Quadrate der Koordinatendifferenzen. Alle Koordinaten sind gleichberechtigt. Dazu muss allerdings die Zeitdifferenz nicht nur mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$ , sondern auch mit  $i$  multipliziert werden, der imaginären Einheit:  $i = \sqrt{-1}$ .

Möglichkeiten einkalkuliert, sei dies notwendig, so Hawking. Die Anfangssingularität, die eine Spezialität der Einsteinschen Allgemeinen Relativitätstheorie ist, wurde *par ordre du moufti* aus der Welt geschafft – durch die Keine-Grenzen-Hypothese von 1981. Das vierdimensionale Gebilde soll zwar unbegrenzt, aber dennoch endlich sein. Ohne Rand gibt's auch keine Singularität. Danach entwickelte sich, ausgelöst durch Quantenfluktuationen, das ganze wie gehabt: Die Zeit wurde reell<sup>5</sup>, und auf eine inflationistische Phase schnellen Aufblähens mit konstanter Hubble-Konstante folgt jene Phase, in der wir leben und wo die Hubble-Konstante<sup>6</sup> mit dem Kehrwert des Weltalters sich verkleinert, nur dass der Anfangszustand *à la* Hawking halt ein endlicher und singularitätsfreier ist. Die (reelle) Zeit, wie wir sie kennen, wo es kein Zurück wie im Raume gibt, sie ist etwas für's nach-Planck'sche „kühle“ Universum. Hawking starb vor einem Jahr, am 14. März. Es war Albert Einsteins 139. Geburtstag und Pi-Tag.

Vor nunmehr 30 Jahren, am 18. März 1989, starb der Mathematiker, Statistiker, Meteorologe, Geophysiker und Astronom Sir Harold Jeffreys (1891–1989). Der Kosmos-Bote muss gestehen, dass er einst meinte, es gäbe mehrere Wissenschaftler gleichen Namens. Sir Harold lag auch die Logik der Forschung am Herzen – und er trug ab 1939 wesentlich zur Wiederbelebung einer damals verpönten Auffassung von Wahrscheinlichkeit bei: als Grad der Glaubwürdigkeit<sup>7</sup>. Aus einem „Objektivitätswahn“ heraus hatte sich die klassische (Schul-)Statistik einem engen Wahrscheinlichkeitsbegriff verschrieben, der lediglich Häufigkeiten von Ereignissen anerkannte, z. B. der Häufigkeit einer „6“ beim Würfeln. Einer Aussage eine gewisse Wahrscheinlichkeit zuzuschreiben, wahr zu sein, galt unter „Frequentisten“ als Frevel. (Was meint der Wetterbericht, wenn er von 50 % Regenwahrscheinlichkeit spricht?)

Was Jeffreys lehrt? Durch Daten wird Vor-Wissen auf den neuesten Stand gebracht. Sind die gemessenen Daten exzellent, spielt das Vor-Wissen kaum eine Rolle. Bei prekärer Datenlage hingegen, was oft der Fall – nicht immer liegen die Dinge klar auf der Hand –, hält sich der Erkenntnisgewinn in Grenzen und unser Vor-Urteil schlägt mehr oder weniger durch. Daten (Fakten)

---

<sup>5</sup>Die imaginäre Zeit „steht senkrecht“ auf der reellen Zeitgeraden.

<sup>6</sup>Die Hubble-Konstante ist nur für uns kurzlebige Wesen eine Konstante. Ihr Kehrwert ist eine Zeit, ungefähr die Zeit, die seit dem Urknall verstrichen ist. Da das Alter des Universums zunimmt, muss die Hubble-Konstante im Laufe der Zeit abnehmen. (Vielleicht strebt sie auch gegen einen von Null verschiedenen Grenzwert.)

<sup>7</sup>Diese Art, über Wahrscheinlichkeit nachzudenken, ist die ursprüngliche. Sie geht auf Rev. Th. Bayes (1701?–1761) und P.-S. Laplace (1749–1827) zurück.

sind immer nur eine Seite der Medaille, Vor-Urteile die andere! Wie man subjektives Nicht-Wissen objektiviert, hat Jeffreys gelehrt. Von Jeffreys' Prior war im Kosmos-Boten schon die Rede.

Wir kommen nun zu einer Sternstunde des Potsdamer Astrophysikalischen Observatoriums (AOP). Es war eine „Sonnenstunde“, an der vor 80 Jahren der Spektroskopiker Walter Grotrian (1890–1954) und spätere Direktor des AOP den Weg zur Lösung eines 70-jährigen Rätsels der Sonnenphysik aufzeigte: Er identifizierte zwei helle rote (637,4 nm und 789,2 nm) Koronalinien. Mit Datum vom 16. März 1939 publizierten die „Naturwissenschaften“ dazu eine kurze Mitteilung. Wie Grotrian vermutete, handelte es sich bei den beiden Linien nicht um den spektralen Fingerabdruck eines unbekanntes chemischen Elements, voreilig Koronium getauft! Die Linien entpuppten sich nebst einigen anderen als *v e r b o t e n e* Linien neun- bzw. zehnfach ionisierten Eisens (Fe X bzw. Fe XI). Inzwischen sind auch andere hoch-ionisierte Metallionen röntgenspektroskopisch in der Sonnenkorona nachgewiesen. Woher die Gewalt, die es vermag, den Atomen einen Großteil ihrer Elektronenhülle zu rauben? Die Energie des Sonnenlichts kann es nicht sein. Es geht ja nicht um Elektronenvolt, es geht um Hunderte von Elektronenvolt!

Das „Element“ Koronium hat sich, wie zuvor schon das Nebulium, in Luft aufgelöst. Es war dafür sowieso kein Platz mehr im Periodischen System der Elemente – dessen 150. Geburtstag die UNESCO dieses Jahr groß feiert. Im März 1869 hatte der russische Chemiker Dimitrij Iwanowitsch Mendelejew (1834–1907) die Urform jener Tafel<sup>8</sup> publik gemacht, die in keinem Klassenzimmer fehlen darf. Er kam damit dem deutschen Chemiker Julius Lothar Meyer (1830–1895) zuvor.

Kommen Sie gut in den Frühling!

Ihr Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im März

Am Abendhimmel ist lediglich<sup>9</sup> Mars präsent. Er geht nach wie vor kurz vor der MEZ-Mitternacht unter. Ende des Monats marschiert er nur wenige Grad südlich an den Plejaden vorbei.

---

<sup>8</sup>Damals noch ohne Edelgase und geordnet nach dem Atomgewicht.

<sup>9</sup>Mit viel Glück kann man allerdings Anfang des Monats noch den Merkur im Westen ausmachen.

Am Morgenhimmel ist mehr los. Hier tummeln sich Morgenstern Venus, ihr mythologischer Vater, Jupiter, sowie Großvater Saturn. Geordnet nach den Zeiten des Aufstehens haben wir Jupiter, gefolgt von Saturn und Venus.

Ab Sonntag, dem 31. März, gilt wieder die Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ) und die Uhren sind um eine Stunde vorzustellen!

Der astronomische Frühling beginnt mit dem Eintritt der Sonne ins Tierkreiszeichen Widder. Der Wechsel von den Fischen in den Widder ereignet sich am Mittwoch, dem 20. März, eine Stunde vor Mitternacht. Ekliptikale Länge und Rektaszension werden wieder auf Null gestellt.

Stellt sich die Frage nach dem Ostertermin, denn keine vier Stunden später ist Vollmond und drei Tage darauf ist ein Sonntag. Gilt die Regel vom ersten Sonntag nach dem Frühlingsvollmond noch? Wir werden der diesjährigen „Osterparadoxie“ in der April-Ausgabe nachgehen.

## Sonnenparadoxon

Walter Grotrian hatte an der Potsdamer Sonnenfinsternisexpedition nach Sumatra im Mai 1929 teilgenommen. Beim Betrachten der Spektren, fotografiert während der Totalität, fiel ihm auf, dass die Sonnenkorona sehr viel heißer als die Sonne selbst sein müsse. Die sog. K-Korona ist, wie Karl Schwarzschild (1873–1916) vermutete, an freien Elektronen gestreutes Sonnenlicht. Durch die hektische Bewegung dieser Elektronen – mit über 2% der Lichtgeschwindigkeit! – sind die dunklen Fraunhoferlinien im Streulicht bis zur Unkenntlichkeit breitgeschmiert. Auch die bloße Tatsache, dass sich die Korona Sonnenrädien weit in den Raum erstreckt, spricht für eine hohe Temperatur des koronalen Gases. Die mit „nur“ 6000° vergleichsweise „kühle“ Photosphäre hingegen, sie misst nur wenige Hundert Kilometer, wie man mit entsprechenden Hilfsmittel (geschwärztes Glas) an der Schärfe des Sonnenrandes ersehen kann.

Auch wenn alles auf eine Hochtemperatur-Korona hinauslief, tat man sich schwer, dies zu akzeptieren. Wärme strömt spontan immer nur vom Warmen zum Kalten ... Die Schichtung – heißes Gas über kühlem – schien geradezu paradox.

Das Leuchten der Korona ist in der Hauptsache gestreutes Sonnenlicht, gestreut an Elektronen aber auch an interstellaren Staubpartikeln. In der Tat geht die äußere Korona glatt ins Zodiakallicht über. Diese an die sonnen-

nahe Ekliptik gebundene schwache Leuchterscheinung, auch Tierkreislicht genannt, ist am besten in den Tropen zu beobachten, wo die Ekliptik immer steil in den Himmel ragt.

Das schwache Eigenleuchten der Korona konzentriert sich optisch<sup>10</sup> in Emissionslinien. Die prächtigste, eine Linie im Grünen bei 530,3 nm, war 1869 während einer totalen Sonnenfinsternis entdeckt worden. Andere Linien gesellten sich hinzu. Keine konnte einem bekannten irdischen Element zugeordnet werden. Deshalb das **K o r o n i u m**.

Die Identifizierung der Koronalinien wurde erleichtert durch Vergleich mit bekannten **i s o e l e k t r o n i s c h e n** Spektren. Darunter versteht man Spektren von Atomen und Ionen mit gleich viel Hüllenelektronen. Standardbeispiel<sup>11</sup> ist das Heliumion (He II). Es verfügt wie das neutrale Wasserstoffatom (H I) über ein einziges Hüllenelektron. Einziger Unterschied: die verdoppelte Kernladung (und vervierfachte Masse). Das He II-Spektrum ähnelt verblüffend dem des H I, bloß dass wegen der Verdopplung der Kernladung nun sämtliche Energiedifferenzen, also auch Linienfrequenzen, um den Faktor vier vergrößert sind, insbesondere auch die Ionisierungsenergie. Allgemein gilt der spektroskopische **V e r s c h i e b u n g s s a t z**, wonach Ionen und Atome mit gleicher Elektronenanzahl (sofern keine Umordnungen in den Elektronenhüllen auftreten) ähnliche Energieniveauschemata aufweisen, also ähnliche Linienspektren! Aufgrund dieser Selbstähnlichkeit bei den Termschemata kann man die Lage der Energieterme erraten, zwischen denen es zu „verbotenen“ Übergängen kommt. Im Falle des Fe X war es die Folge der Spektren von Cl I (neutralem Chlor) bis zum 10-fach ionisierten Kobalt, Co XI, die Grotrian dazu brachte, die 637,4-nm-Linie mit 9-fach ionisiertem Eisen, Fe X, in Verbindung zu bringen. Eisen steht im Periodensystem vor dem Kobalt.

Die Koronalinien sind nach rein klassischen Kriterien verboten. Die Quantenphysik ersetzt das klassische „Verbot“ durch „Unwahrscheinlichkeit“. In der Tat ist die Übergangswahrscheinlichkeit im Falle eines verbotenen Übergangs lediglich millionen- bis milliardenfach kleiner als bei einem erlaubten. Man kann es auch mittels Verweildauer beschreiben. Normalerweise verbleibt ein Atom oder Ion nur  $10^{-8}$  Sekunden im angeregten Zustand, bevor spontan ein Photon (Lichtquant) emittiert und das Atom bzw. Ion in einen energieärmeren Zustand zurückfällt. Bei einem verbotenen Übergang kann die

---

<sup>10</sup>Radioastronomisch „sendet“ die Korona im Meter-Gebiet, weshalb die Potsdamer Koronaforscher sich seit 1954 auch dem Empfang und dem Studium der solaren Radiostrahlung widmen.

<sup>11</sup>Kentnis der Quantenphysik ist nicht erforderlich! Bei **e i n e m** Elektron ist man mit dem Bohrschen Atommodell bestens bedient.

Verweildauer Sekunden bis Jahre betragen! Bevor es zur spontanen Emission kommt, hat sich so ein Atom/Ion seiner Energie längst anderweitig entledigt – durch Stöße mit anderen Teilchen. Voraussetzung für das Auftreten einer verbotenen Spektrallinie sind also absolute Ruhe, sprich Störfreiheit. Das ist in einem irdischen Labor nicht gegeben. Die Gasdichten unserer technischen Vakua sind einfach zu hoch! Stoßabregung überwiegt bei weitem die spontane Emission.

In hochgradig verdünnten Gasen, wie in der Sonnenkorona, aber auch im interstellaren Raum, ist das anders. 1927, zwölf Jahre vor Grotrians Identifizierung der roten Koronalinien, war es dem US-Amerikaner Ira S. Bowen (1898–1973) gelungen, die interstellaren „Nebulium“-Linien ionisiertem Sauerstoff (O II, O III) und Stickstoff (N II) zuzuordnen<sup>12</sup>.

Wie eine mit 6000° nur lauwarmer Sonne ihre dünne Hülle auf Millionen Grad aufheizen kann, ist nicht restlos geklärt. Irgendwie entschwindet ständig ein wenig von der mechanischen Energie, die im Gebrodel der Sonnengranulation steckt, in Gestalt von Schallwellen oder „magnetischer“ Störungen in die Korona, wo diese sich ihrer Energie entledigen, was zur Aufheizung führt. Den „Lärm“ auf der Sonnenoberfläche kann man von der Erde aus „sehen“ – als 5-Minuten-Oszillationen –, aber nicht hören. Der leere Raum leitet keinen Schall.

Der weißliche Strahlenkranz um die Sonne, als Korona bezeichnet, lässt sich am besten bei einer totalen Sonnenfinsternis beobachten, wenn die gleißende Sonnenscheibe in ihrer Gänze vom Mond abgedeckt und das atmosphärische Streulicht reduziert ist. Die Korona leuchtet etwa halb so hell wie der Vollmond.

---

<sup>12</sup>Da es weit mehr Spektrallinien als Energieniveaus gibt, lassen sich anhand beobachteter Linien das Termschema rekonstruieren und grafisch in einem sog. Grotrian-Diagramm darstellen. Man kann dann diejenigen Energieniveaus identifizieren, zwischen denen die verbotenen Übergänge nur stattfinden können.