

## Liebe Leserin, lieber Leser,

der Juli bietet Gelegenheit, daran zu erinnern, dass Naturwissenschaft und Mathematik nicht den Herren der Schöpfung allein vorbehalten sind. Nach allem, was man weiß, fällt „Urteilen unter Unsicherheit“, das Hauptgeschäft der Wissenschaft, männlichen und weiblichen Hirnen gleichermaßen schwer. Den Damen wurde allerdings bis zum 2. Weltkrieg die öffentliche Anerkennung versagt, da eine wissenschaftliche Tätigkeit nicht der Rollenerwartung ihrer Zeit entsprach. In der Rückschau erscheint das sehr ungerecht. (Was uns als Warnung dienen sollte: Wer weiß, wie künftige Geschlechter über uns urteilen werden!)

Vor 150 Jahren, am 14. April 1868, wurde in Irland Annie Russell Maunder (1868–1947) geboren. Zusammen mit ihrem Mann, Edward Walter Maunder (1851–1928), hat sie am Königlichen Observatorium in Greenwich Sonnenflecken erforscht, insbesondere deren Breitenwanderung im Laufe eines Sonnenfleckenzyklus. Wie den beiden beim Studium historischer Aufzeichnungen auffiel, gibt es von 1645 bis 1715 kaum Sichtungen von Sonnenflecken. Seit 1976 heißt diese Inaktivitätsperiode der Sonne Maunder-Minimum. Einher mit fehlenden Sonnenflecken gingen in Europa unterdurchschnittliche Temperaturen. Das Maunder-Minimum fällt in die sog. „Kleine Eiszeit“. An der historischen Greenwich-Sternwarte wurde kürzlich ein nach Annie Maunder benanntes Hightechteleskop, das AMAT, zur Nutzung durch Studenten und interessierte Öffentlichkeit in Betrieb genommen.

Ebenfalls vor 150 Jahren, am 4. Juli 1868, erblickte eine US-amerikanische Astronomin das Licht der Welt: Henrietta Swan Leavitt (1868–1921). Wie Frau Maunder startete sie ihre Karriere als „Computer“. So bezeichnete man die weiblichen Hilfskräfte, die astronomische Berechnungen ausführten, „natürlich“ unter männlicher Anleitung. Chef des „Harems“ war Harvardprofessor Edward Charles Pickering (1846–1919).

Miss Leavitt suchte nach veränderlichen Sternen. Auf photographischen Himmelsaufnahmen der Harvard-Sternwarte und ihrer Peru-Außenstelle identifizierte sie allein 2400 Veränderliche, darunter viele Cepheiden. Sie entdeckte 1912 anhand von Cepheiden der Magellanschen Wolken die berühmte Perioden-Leuchtkraft-Beziehung für diese pulsierenden Riesensterne. Der

Vorschlag, sie für den Nobelpreis zu nominieren, kam zu spät. Sie verstarb, taub und nur 53-jährig, 1921 in Cambridge (Mass.). „Ihre“ Perioden-Leuchtkraft-Beziehung erwies sich als Schlüssel zur Vermessung des Universums. Wir kommen darauf zurück.

Vor 1 1/2 Jahren verstarb in Princeton (New Jersey) Vera Rubin (1928–2016). Am 23. Juli wäre sie 90 geworden. Ihr Verdienst: Zusammen mit William Kent Ford Jr. (geb. 1931), der einen speziellen Bildverstärker für die Spektroskopie entwickelt hatte, maß sie 1970 mit Hilfe des Dopplereffektes die Schnelligkeit, mit der der Andromedanebel (M31) rotiert. Sie benutzte als Anhaltspunkte nicht Sterne, sondern Wolken glühenden Wasserstoffs, sog. HII-Regionen<sup>1</sup>, weil deren Emissionslinien sich vom Hintergrund spektroskopisch leicht abheben. Überraschenderweise fällt die Rotationsgeschwindigkeit nicht, wie vom Sonnensystem gewohnt, nach außen hin ab. Sie bleibt nahezu konstant! Damit hatte niemand gerechnet. Da draußen war doch kaum etwas, jedenfalls nichts Sichtbares. Die beiden hatten die dunkle Materie – bzw. deren gravitative Wirkung – in einer nahegelegenen Galaxie aufgespürt! (Dass es in Galaxienhaufen jede Menge dunkler Materie geben muss, war lange zuvor bekannt. Dass auch Galaxienhalos voll davon sind, war neu.) Wie sich herausstellte, bestehen Galaxien, unsere eigene nicht ausgenommen, im wesentlichen aus dunkler Materie. Es ist nahezu unmöglich, die Masse einer Galaxie anzugeben. Das Ergebnis hängt davon ab, wo eine Galaxie endet. Je größer der Abstand zum Zentrum, wo man noch Rotationsgeschwindigkeiten zweifelsfrei messen kann, desto größer die Masse an dunklem Stoff. Eine Verdopplung des Radius führt zu einer Verdopplung der Gesamtmasse. Woraus die dunkle Materie besteht? Niemand weiß es.

Dann gibt es noch einen 75. Geburtstag, wieder eine Dame aus Nordirland. Am 15. Juli 1943 wurde die spätere „Dame“ (seit 2007) Susan Jocelyn Bell Burnell geboren. Sie schrieb 1967 als Entdeckerin des ersten Radiopulsars, CP 1919, Wissenschaftsgeschichte. (Anders als Miss Leavitts pulsierende  $\delta$ -Cephei-Sterne, pulsieren Pulsare nicht! Es handelt sich vielmehr um schnell rotierende Neutronensterne. Die Strahlungs„pulse“ künden vom Blitzen eines kosmischen „Leuchtturms“.) Bei der Verleihung des Physiknobelpreises 1974 an Antony Hewish (geb. 1924), ihrem Doktorvater, und Sir Martin Ryle (1918–1984) wurde sie nicht bedacht, was den Unmut der astronomischen Community erregt hatte.

Kein Geburtstag, aber eine Sternstunde, ist der 26. Juli 1918. An jenem Frei-

---

<sup>1</sup>Eine bekannte HII-Region in unserer Nachbarschaft ist der Orionnebel (M42).

tag vor 100 Jahren sprach der Mathematiker Felix Klein (1849–1925) vor der „Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen“ stellvertretend über „Invariante Variationsprobleme“. Die Arbeit seiner Assistentin Emmy Noether (1882–1935) erschütterte die physikalische Welt: Abstrakten mathematischen Symmetrien sind physikalische Erhaltungssätze zugeordnet.

Sie wollen mehr darüber erfahren? Gute Unterhaltung wünscht  
Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im Juli

Der Abendstern legt an Helligkeit noch zu. Am 9. Juli kommt Venus dem Regulus, dem Hauptstern des Löwen, auf ein Grad nahe.

Am letzten Tag im Juli trennen uns nur noch 57,6 Millionen Kilometer vom roten Planeten. Bereits am 27. Juli, 7 Uhr MESZ, ist Marsopposition. Der Mond hat ein Einsehen mit den Marsenthusiasten: Der 22:22-Uhr-Julivollmond, nur wenige Grad vom Mars entfernt, fällt aus! Der Mond befindet sich just am absteigenden Knoten, durchstößt also die Ekliptik von Norden kommend, – und wird vom Erdschatten verschluckt. Die totale Mondfinsternis endet kurz nach 23 Uhr MESZ. Die dazugehörige (partielle) Sonnenfinsternis einen halben Mondumlauf zuvor, also am 13. Juli, wird kaum jemanden hinterm Ofen hervorlocken. Sie findet südlich von Australien statt.

Für Jupiter endet die diesjährige Oppositionsphase am 11. Juli. Nach dem Stillstand geht's wieder rechtläufig weiter, also (von „oben“ betrachtet, dem Nordpol der Ekliptik) entgegen dem Uhrzeigersinn, bezüglich der Sterne.

Saturn schleicht sich rückläufig durch den Schützen und ist inzwischen am besten vor Mitternacht zu sehen. Ende Juli geht er bereits kurz nach 3 Uhr MESZ im SW unter.

Am 6. Juli erscheint die Sonne uns Erdbewohnern am kleinsten. Unser Heimatplanet durchläuft an diesem Tag mit 152,1 Millionen Kilometern Abstand den sonnenfernsten Punkt seiner Ellipsenbahn.

## Die Perioden-Leuchtkraft-Beziehung

Miss Leavitt bemerkte bereits 1908 anhand photographischer Himmelsaufnahmen der beiden Magellanschen Wolken am Südhimmel, dass die mittlere

Helligkeit von  $\delta$ -Cephei-Sternen, also deren (scheinbare) Leuchtkraft, mit der Periode anwächst. Da die Cepheiden der Magellanschen Wolken etwa gleich weit von uns entfernt sind, hängt offenbar die Leuchtkraft von der Pulsationsperiode ab. (Die Lichtleistung wächst fast proportional mit der Periode an.) Die  $\delta$ -Cephei-Sterne sind bis heute die besten „Standardkerzen“, geht es um die photometrische Bestimmung astronomischer Entfernungen im extragalaktischen Raum. Denn: Kennt man die Periode des Lichtwechsels, weiß man wie hell der betreffende Stern in absoluten Einheiten ist. Aus dem Vergleich mit seiner gemessenen Helligkeit folgt sofort die Entfernung. Man nennt diese eine photometrische Parallaxe. Das Problem: die Eichung der Perioden-Leuchtkraft-Beziehung. Niemand wusste damals auch nur annähernd, wie weit die Magellanschen Wolken von uns entfernt sind. Mehrere Astronomen nahmen sich dieses Problems an.

In Potsdam war es ein Däne, Ejnar Hertzsprung (1873–1967), ein Spezialist für Astrophotographie<sup>2</sup>, der mit Karl Schwarzschild (1873–1916) 1909 von Göttingen nach Potsdam ans Astrophysikalische Observatorium übersiedelte. Hertzsprung bestimmte auf statistischem Wege die (mittlere) Leuchtkraft von 13 Cepheiden der Sonnennachbarschaft, darunter der Polarstern. Auch wenn die Anzahl der Pulsationsveränderlichen noch gering war, gelangte Hertzsprung dennoch zu zwei bemerkenswerten Einsichten: (a) Die beiden Magellanschen Wolken gehören nicht dem Milchstraßensystem an, und (b) die Cepheiden der Sonnennachbarschaft sind zusammen mit den Sternen des Spektraltyps O – das sind, wie wir heute wissen, junge und sehr leuchtkräftige Sterne – stark zur Ebene des Milchstraßensystems hin konzentriert. Die Tatsache, dass sowohl Cepheiden als auch O-Sterne in dieser Ebene nicht symmetrisch bezüglich der Sonne verteilt sind, gab Hertzsprung zu denken. Lange nach ihm haben andere aus solchen Beobachtungen die lokale Spiralstruktur unserer Heimatgalaxie herausgelesen.

Ejnar Hertzsprung ist durch das HRD, das Hertzsprung-Russell-Diagramm, unsterblich geworden. Ihm war aufgefallen, dass gelbe und rötliche Sterne bei gleicher Farbe sich stark in der Leuchtkraft unterscheiden können. Die Sonne zählt zu den Zwergen, die gleichfarbene Capella<sup>3</sup> zu den sog. Riesen. Delta Cephei, der 1784 entdeckte Prototyp, strahlt nur wenig bläulicher als die Sonne und ist dennoch 2000-mal heller als diese! Er zählt zu den Überriesen.

---

<sup>2</sup>Hertzsprung hatte unter anderem in Leipzig Photochemie bei Wilhelm Ostwald (1853–1932) studiert gehabt.

<sup>3</sup>Genaugenommen sind es zwei Riesen, die ein Doppelsternsystem bilden.

Hertzsprung hatte den Abstand der Magellanschen Wolken unterschätzt, sein US-Kollege, ein früherer Zeitungsreporter, Harlow Shapley (1885–1972) war, was die Entfernung anbelangte zwar dichter an der Wahrheit, hielt aber die beiden Sternwolken für einen Bestandteil unserer eigenen Galaxis, deren Größe er, wegen Vernachlässigung der Lichtabsorption, maßlos überschätzte. Shapley wusste, dass Kugelsternhaufen, wie jener im Herkules (M 13), Pulsationsveränderliche<sup>4</sup> enthalten, und ihm stand das weltgrößte Spiegelteleskop zur Verfügung, der 60-Zöller auf dem Mt. Wilson. Er verglich die Helligkeiten von Pulsationsveränderlichen, die er in galaktischen Kugelsternhaufen fand mit jenen in den Magellanschen Wolken, um deren Entfernung zu bestimmen – was sich als Irrtum herausstellen sollte.

Auch Edwin Powell Hubble (1889–1953), der 1929 die Expansion des Universums entdeckte, baute auf die Perioden-Leuchtkraft-Beziehung der Cepheiden, um die Expansionsrate zu messen. Deren Kehrwert ist das Weltalter. Erstaunlicherweise erwies sich das Universum jünger als die Erde.

Es war ein Astronom aus Hamburg, Walter Baade (1893–1960), den es nach Kalifornien verschlagen hatte, der der Konfusion schließlich ein Ende bereitete. Während seine amerikanischen Kollegen durch den 2. Weltkrieg am Forschen gehindert waren, konnte er als (feindlicher!) Ausländer den 2,5-m-Hooker-Spiegel nutzen, um die Zentralregion des Andromedanebels (M 31) in Einzelsterne aufzulösen. Aus Angst vor japanischen Luftangriffen waren Los Angeles und benachbarte Gemeinden nächtens verdunkelt und der Sternenhimmel streulichtfrei. Wie Baade herausfand, gibt es mindestens zwei Sternfamilien: Populationen. Man hatte aus Unkenntnis die klassischen Population-I-Cepheiden der Magellanschen Wolken und der Sonnenumgebung mit Population-II-Cepheiden, sog. W-Virginis-Sternen, die u. a. in Kugelsternhaufen des Milchstraßenhalos vorkommen, in einen Topf geworfen, d.h. unzulässig miteinander verglichen. Deren Perioden-Leuchtkraft-Beziehungen unterscheiden sich um 1 1/2 Größenklassen! Dank Baade war das Universum nach dem 2. Weltkrieg doppelt so groß wie vorher und entsprechend älter.

Diese Geschichte ist insofern lehrreich, als sie zeigt, wie wichtig beim Vergleichen die Vergleichbarkeit ist. Um beispielsweise unsere Entfernung zum galaktischen Zentrum zu bestimmen, muss man zunächst Helligkeiten naher  $\delta$ -Cephei-Sterne bekannter Entfernung mit den Helligkeiten von Sternen des gleichen Typs, die sich im g l e i c h e n Abstand vom Zentrum wie wir befin-

---

<sup>4</sup>Dass es sich um pulsierende Einzelsterne handeln musste, davon hatte Shapley die Kollegen überzeugt.

den, vergleichen. Nur von diesen kann man erwarten, dass sie mit Cepheiden aus der näheren Umgebung vergleichbar sind. Hat man die Entfernungen der fernen Cepheiden, ist die Bestimmung der Entfernung des galaktischen Zentrums nur noch eine Angelegenheit der Trigonometrie. Dass ein weit entfernter Cepheid den gleichen Zentrumsabstand hat wie wir, ersieht man an seiner nichtvorhandenen Relativgeschwindigkeit. Alle Objekte im gleichen Abstand vom Rotationszentrum haben, Kreisbewegung vorausgesetzt, die gleiche Umlaufgeschwindigkeit. Der Abstand zwischen ihnen ändert sich nicht.

Doch wie ist es um die Vergleichbarkeit bestellt, trennt Das-Zu-Vergleichende, z. B. Maximalhelligkeiten aufflammender Typ-I-Supernovae, nicht Megalichtjahre, sondern Gigajahre? Mit geometrischen Tricks ist das Zeit-Problem nicht aus der Welt zu schaffen. Worauf man noch vertrauen kann, ist, dass sich zumindest an der Physik in Äonen nichts ändert. Jedenfalls sehen die Spektren von stark rotverschobenen Quasaren aus der Anfangszeit des Universums bis auf die Rotverschiebung genauso aus wie jene aus der Neuzeit. Doch, selbst wenn die Physik die gleiche ist, ist nicht sicher, dass auch die Dinge von heute, beispielsweise Supernovae, mit jenen von damals wirklich vergleichbar sind.

## Noethers Theorem

„Zu jeder kontinuierlichen Symmetrie eines physikalischen Systems gehört eine Erhaltungsgröße.“

Wikipedia

Auf der phänomenalen Ebene, ihrer Oberfläche, ist die Wirklichkeit verwirrend, man denke nur an die Schleifenbewegung der Planeten am Firmament. Auf der tieferen Ebene der Gesetze hingegen, der Kräfte, ist sie phänomenal einfach. Die Anziehungskraft zwischen, sagen wir, Erde und Jupiter hängt allein von der momentanen Entfernung zwischen beiden ab. Die Orientierung der Verbindungslinie ist belanglos: Das Newtonsche Gravitationsgesetz ist kugelsymmetrisch<sup>5</sup>. Gleiches gilt für das Coloumb-Gesetz der Elektrostatik.

---

<sup>5</sup>Das ist nicht die einzige Symmetrie von  $1/r^2$ -Gesetzen.

Frau Noether zeigte, wie jeder formalen Symmetrie<sup>6</sup> der Funktion<sup>7</sup>, die ein physikalisches System beschreibt, ein physikalischer Erhaltungssatz entspricht – und umgekehrt. Energie beispielsweise kann, so lehrt die Erfahrung, (in einem abgeschlossenen System) weder erzeugt noch zerstört<sup>8</sup> werden. Die Begründung dafür liegt, so Emmy Noether 1918, in einer kontinuierlichen Symmetrie der Zeit: ihrer Gleichförmigkeit (Homogenität).

Das Fallgesetz beispielsweise ist immun gegen Zeitverschiebung. Man nennt das Translationsinvarianz. Es lautete zur Saurierzeit nicht anders als heute. Anders als uns unsere subjektive Erfahrung glauben machen will, verläuft die physikalische Zeit gleichförmig, nicht mal schneller, mal langsamer. Aus der bloßen Tatsache, dass physikalisch kein Zeitpunkt vor einem anderen irgendwie ausgezeichnet ist, folgt Energieerhaltung! Bei Impuls- und Drehimpuls sind es kontinuierliche Symmetrien des Raumes, die entsprechende Erhaltungssätze nach sich ziehen: Räumliche Verschiebungen und Drehungen sollten einem echten Naturgesetz nichts anhaben! Physik hängt weder von Ort noch Himmelsrichtung ab! Selbst eine konstante Relativbewegung wird weggesteckt, was zur Schwerpunkterhaltung führt.

Homogenität und Isotropie (Richtungsunabhängigkeit) sind bei flacher Raum-Zeit garantiert. Eine gekrümmte Raum-Zeit, wie von der Allgemeinen Relativitätstheorie gefordert, aber überlebt der Energiesatz nicht. Energie ist dann nicht mehr sinnvoll lokal<sup>9</sup> definierbar. Energieerhaltung gelte global nur noch für ein „Inseluniversum“, einem, das in eine ebene (euklidische) Raum-Zeit ausläuft, so die Äußerung von Leuten, die es wissen. Die Verletzung des Energiesatzes – einer „heiligen Kuh“ der Physik! – in Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie war in Göttingen bekannt<sup>10</sup> und soll Emmy Noether zu ihrer bahnbrechenden Untersuchung, die nichts mit ihrem Hauptgeschäft zu tun hatte, angeregt haben.

---

<sup>6</sup>Symmetrie ist, wenn bei einer Änderung alles beim Alten bleibt: Drehe ich einen Schneekristall in seiner Ebene um 60°, geht er in sich selbst über. Neben diskreten Symmetrioperationen, wozu auch die Spiegelung zählt, gibt es kontinuierliche: Eine Kugel kann man beliebig drehen, ohne dass sich etwas ändert. Nach Hermann Weyl (1885–1955), der wie Emmy Noether 1933 Göttingen verließ, ist ein „Ding [...] symmetrisch, wenn wir etwas mit ihm machen können, sodass es danach genauso aussieht wie zuvor.“

<sup>7</sup>Gemeint ist die sog. Lagrange-Funktion bzw. deren Integral über die Zeit, die Wirkung. Das System entwickelt sich so, dass die Wirkung extremal wird.

<sup>8</sup>Allerdings nimmt ihre Nützlichkeit im Laufe der Zeit ab – was der Zeit die Richtung weist. Wertvolle Energie verwandelt sich unwiderruflich in wertlose Wärme und verliert damit zwar nicht an Quantität, aber an Qualität!

<sup>9</sup>Bisher, bei flacher Raum-Zeit, galt: Die Gesamtenergie in einem kleinen Volumen ändert sich nach Maßgabe der Energiemenge, die aus ihm aus- bzw. einströmt. So etwas gibt es jetzt nicht mehr.

<sup>10</sup>Der Mathematiker David Hilbert (1862–1943) war unabhängig von Einstein auf die Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie gestoßen.

Andere formale Symmetrien ziehen andere Erhaltungsgrößen nach sich: Erhaltung der elektrischen Ladung, der Baryonenzahl etc. Bloß für Masse existiert kein Erhaltungssatz, und dabei waren wir jahrhundertlang gerade davon überzeugt gewesen!

Vor Emmy Noether war Energieerhaltung eine bloße Erfahrungstatsache, etwas Profanes, was sich *bisher* in der Praxis bewährt hatte<sup>11</sup>. Nun war sie erhoben in die zeitlose kristallene Sphäre der Symmetrie. Noethers Einsichten gehören zum Tiefsten, was die theoretische Physik zu bieten hat. Frank Wilczek (geb. 1951), Physiknobelpreisträger von 2004, meint anerkennend, sie habe mit der Magie der Mathematik einen plumpen Frosch in einen schönen Prinzen verwandelt.

Der Erhaltungssatz der Energie wurde vor 175 Jahren formuliert. Anteil daran hatten: James Prescott Joule (1818–1889), Julius Robert Mayer (1814–1878) und Hermann von Helmholtz (1821–1894).

Inzwischen genießen abstrakte Symmetrien Priorität – vor den Naturgesetzen! Sie gehören einer tieferen Schicht des Seins an. Oft sind diese Symmetrien gebrochen. So ähneln beispielsweise Proton und Neutron einander wie die linke Gesichtshälfte der rechten. Das Nukleon gibt es sozusagen in zwei Ausführungen, einmal mit Ladung (Proton) und einmal ohne (Neutron). Diese sog. Isospin-Symmetrie hat gleich nach der Entdeckung des Neutrons 1932 (aber lange vor der Einführung des Quarks) Werner Heisenberg (1901–1976) gesehen. Für die Kernkraft ist der kleine Unterschied belanglos. Sie unterscheidet nicht zwischen Proton und Neutron.

Die Bedeutung von Erhaltungssätzen liegt auf der Hand: Sie sind der Fels in der Brandung des Vergänglichen. Archimedes hatte wohl Ähnliches im Sinn, als er nach dem sprichwörtlichen Punkt trachtete, um von dort aus die Welt aus den Angeln zu heben. Heute sind es Symmetrien, die Halt versprechen.

Frau Noether, der das Preußische Ministerium lange die Habilitation (also Bezahlung) vorenthielt, musste als Jüdin 1933 emigrieren. Sie gilt als die bedeutendste Mathematikerin.

---

<sup>11</sup>... indem man immer, wenn der Satz von der Energieerhaltung verletzt schien, flugs eine neue Form von Energie einführte, um ihn stimmen zu machen: Wärme, Feldenergie etc. Man erfand sogar das Gespensterteilchen Neutrino, um den schönen Satz zu retten.