

Approximavit sidera.

(„Er brachte die Gestirne näher.“ stand auf dem Grabstein des Optikers Joseph von Fraunhofer.)

Liebe Leserin, lieber Leser,

Als 1814 der 27-jährige Joseph Fraunhofer (1787–1826) dunkle Linien im Spektrum der Sonne bemerkte, konnte er nicht ahnen, dass er uns damit die Sterne in der Tat näher brachte. Der Optiker verstand sich als „Künstler“. Die Erforschung seiner Linien überließ er anderen. Er war ein vielbeschäftigter Mann. Die dunklen Linien, sie dienten ihm lediglich als willkommene Anhaltspunkte, um die Brechzahlen von Gläsern bei genau festgelegten Farben zu messen. Fraunhofer erstellte eine Liste von weit über 500 Linien. Einige seiner Linienbezeichnungen sind noch in Gebrauch. Man weiß, was gemeint ist, ist vom D-Linien-Paar des Natriums oder den Linien H und K des Kalziums die Rede.

Fraunhofer ist u. a. der Erfinder des nach ihm benannten achromatischen Zweilinsers mit Luftspalt zwischen den beiden Glaslinsen. Da die Gläser (Flint- und Kronglas) unterschiedlich stark das Licht brechen, gelingt eine scharfe Abbildung bei wenigstens zwei Wellenlängen gleichzeitig. Die Farbfehler eines einlinsigen Objektivs werden dadurch merklich gemildert. Für eine Weile waren wieder Refraktoren gefragt, keine Reflektoren. Dank der Qualität der Fraunhoferschen „Fernrohre“ gelangen Entdeckungen wie die Messung von Fixsternparallaxen oder die Trennung enger Doppelsterne.

Joseph Fraunhofer entstammte ärmlichen Verhältnissen. Er hatte Glück im Unglück. Am 21. Juli 1801 stürzten in München zwei Häuser ein. Der 14-jährige Lehrling wurde nach vier Stunden aus den Trümmern geborgen. An den Rettungsarbeiten beteiligte sich Kurfürst Maximilian IV., der spätere „König Max“ von Bayern, übrigens auch ein Joseph. Ein weiterer Joseph gesellte sich hinzu: Joseph von Utzschneider (1763–1840), ein weitsichtiger Unternehmer, von dem es heißt, er habe „den Wohlstand Aller, nicht den Reichthum Einzelner“ im Auge gehabt. Wie dem auch sei, mit den 18 Dukaten des Kurfürsten kaufte sich Fraunhofer Maschinen und überdies von seinem Lehrmeister frei, einem Spiegelmacher und Glasschleifer. Utzschneider

nahm sich des Knaben an und holte den Wissbegierigen, zunächst als Gehilfen, an seine feinmechanisch-optische Werkstatt, die, unter dem Erfinder und Techniker Georg Reichenbach (1771–1826) bald alle Welt mit optischem Gerät beliefern sollte. Auch der berühmte Berliner Fraunhofer-Refraktor, mit dessen Hilfe 1846 der Neptun aufgefunden wurde, stammte aus dieser Werkstatt. Die Münchener Firma wurde 1839 von Georg Merz (1793–1867) übernommen und als „G. Merz & Mahler“ weitergeführt.

Die dunklen Stellen in den Sternspektren aber erwiesen sich als der Schlüssel zur Chemie der Sterne. Die Spektralanalyse trat ihren Siegeszug an. Man entdeckte sogar 1868 bei einer totalen Sonnenfinsternis im chromosphärischen Leuchten ein Element, das man bis dato nicht kannte: den „Sonnenstoff“ Helium. (Da die entsprechende Linie nahe dem Fraunhoferschen Linienpaar D_1 und D_2 lag, nannte man sie in Anlehnung daran D_3 -Linie.) Erst lange danach, 1882, wurde Helium aus vesuvianischer Lava extrahiert. Die Erklärung der Linien blieb der Quantentheorie vorbehalten.

Viel Spaß beim Lesen und auch sonst, insbesondere am 1.4.14, wünscht
Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im April

Am 8. April ist es nach über 25 Monaten wieder so weit: Mars steht der Sonne gegenüber und ist die ganze Nacht über in der Jungfrau sichtbar, nördlich der Spika. Zur diesjährigen Opposition ist Mars 92,4 Millionen Kilometer von uns entfernt. Der kleine Planet erscheint unter einem Winkel von 15,1 Bogensekunden. Günstiger werden, was den Abstand anbelangt, die nächsten Oppositionen. 2018 kommt er uns auf 57,6 Millionen Kilometer nahe. Nur zur Erinnerung: 2003 trennten uns gar nur 55,8 Millionen Kilometer von ihm.

Natürlich findet auch der Vollmond in der Jungfrau statt, am 15. des Monats in der Frühe. Zuvor wandert der Mond zwischen Mars und Spika hindurch. Mit dem Vollmond verbunden ist eine totale Mondfinsternis, die aber bei uns nicht sichtbar ist.

Venus ist Morgenstern und während der Morgendämmerung sichtbar. Jupiter ist dem Mars etwa sechs Stunden voraus und mithin ein Objekt der ersten Nachthälfte. Saturn folgt dem Mars mit zwei Stunden Verspätung. Er eilt in Riesenschritten auf seine Opposition mit der Sonne am 10. Mai zu.

Zwei „Planetchen“ stehen ebenfalls der Sonne am Himmel gegenüber, Vesta und Ceres. Beide sind Feldstecherobjekte. (Mitte Juli kommen beide einander scheinbar recht nahe.)

Die ringförmige Sonnenfinsternis am Monatsende ist als partielle Finsternis im Indischen Ozean und über Australien sichtbar, nicht bei uns.

Spektralanalyse

Dass Astronomen die chemische Zusammensetzung der „Haut“ eines lichtjahreweit entfernten Sterns durch „Anschauen“ bestimmen können, ist erstaunlich. Es gibt einen Grund dafür: Sterne sind, was die Strahlung anbelangt, nicht im Gleichgewicht. Ihre Ausstrahlung übertrifft die Einstrahlung bei weitem.

Bei der Spektralanalyse eines Gestirns wird dessen Licht mittels Prisma oder Beugungsgitter in seine farblichen Bestandteile zerlegt, sprich fein säuberlich nach der Energie der Photonen sortiert. Das violette Licht im Bereich der H- und K-Linie ist anderthalb mal energiereicher als das gelbe Licht bei der D-Doppellinie. Da Licht auch ein Wellenphänomen ist, ist der Energie der Photonen eine Frequenz bzw. (Vakuum-)Wellenlänge zugeordnet. Ist die spektrale Auflösung hoch genug, fallen schmale Bereiche auf, wo weniger Licht ankommt als aus benachbarten Regionen des Spektrums: Das sind die vor 200 Jahren von Joseph Fraunhofer entdeckten¹ oder zumindest nach ihm benannten dunklen Linien. Sie entstehen folgendermaßen. Gase absorbieren und emittieren nur bei ganz charakteristischen Photonenenergien Licht, Natriumgas beispielsweise im gelben Bereich des Spektrums. (Kochsalzkristalle, Natriumchlorid², in eine heiße Gasflamme geworfen, leuchten monochromatisch und färben die Flamme intensiv gelb.) Bei den Lichtenergien, wo sich Linien befinden, absorbiert und emittiert³ die Sternmaterie besonders stark. Restlicht im Bereich einer Spektrallinie kann mithin nur aus oberflächennahen Schichten stammen. Für Licht außerhalb einer Spektrallinie ist die Sternmaterie durchsichtiger. Das Licht dringt aus tieferen Schichten der Sternatmosphäre empor. Tiefer bedeutet heißer und damit heller. Bekanntlich nimmt

¹Fraunhofer wusste nicht, dass bereits 1802 sieben dunkle Linien von W. Wollaston (1766–1828) im Tageslichtspektrum gesehen worden waren.

²Ja nicht mit Natriumchlorit verwechseln!

³Wird nach der Absorption, dem Verschlucken eines Photons, wieder ein Photon emittiert, dann geschieht dies in irgendeine Richtung.

die Intensität des Leuchtens mit der Temperatur zu. Wo die tieferen Schichten im Spektrum durchscheinen, ist es heller. Für das Auftreten der Linien ist die Temperaturschichtung in der Sternatmosphäre entscheidend. Ohne Temperaturgang wären alle Schichten gleichhell, man sähe gar keine Linien und könnte die Sternatmosphäre auch nicht chemisch analysieren!

Wie man sich leicht überlegt, erklärt die Temperaturschichtung auch die Randverdunklung der Sonnenscheibe. Am Rande schaut man zwar genauso tief in die Sonne hinein wie im Zentrum, bloß gleiche Eindringtiefe bedeutet am Rande einen größeren radialen Abstand vom Zentrum der Sonnenkugel und mithin wieder niedrigere Temperatur, also weniger Licht.

Warum ein Stern innen heißer ist als außen? Eine Sternoberfläche strahlt Energie in den kalten Weltenraum ab. Dieser Verlust muss durch Nachliefern⁴ aus dem Innern ausgeglichen werden. Da Energie (Wärme) spontan immer nur vom Wärmere zum Kälteren strömt, muss das Sterninnere heißer als seine Oberfläche sein. Bekäme ein Stern von außen soviel zugestrahlt, wie er abstrahlt, befände er sich also im Strahlungsgleichgewicht mit seiner Umgebung, entfielen die Notwendigkeit eines radialen Temperaturabfalls. Dann wären allerdings auch keine Fraunhoferlinien mehr zu sehen.

Strahlungsgleichgewicht herrscht im Innern eines Ofens. Jedes Fleckchen Ofenwand strahlt soviel Energie ins Ofeninnere ab, wie es von woanders zugestrahlt bekommt. Alles ist gleich heiß. Bei Strahlungsgleichgewicht ist das Strahlungsfeld von einer einzigen Größe vollständig bestimmt: der Temperatur. Sie charakterisiert das Spektrum eindeutig. Der sog. Planckkurve ist sowohl das Material der Ofenwände als auch die Gestalt des Ofens schnuppe. Klingt sonderbar.

Zeit für eine Abschweifung.

Es heißt immer, alles hänge von allem ab. Es gibt Ausnahmen. Die Planckfunktion, die von der Temperatur allein abhängt, nicht vom Material, zählt dazu. Und da wäre noch die seltsame Tatsache, dass alle Gegenstände im Schwerfeld gleich schnell fallen, gleichgültig, worum es sich handelt. Beiden Seltsamkeiten begegnet man beim schwarzen Loch. Dessen Eigenschaftslosigkeit ist sein Markenzeichen. Ein schwarzes Loch „vergisst“ anscheinend völlig, was so im Laufe der Jahre hineingefallen ist. Die schwache Hawking-Strahlung, die aus quantenphysikalischen

⁴Falls der Stern über keine Energiequelle verfügt, zapft er seine Gravitationsenergie an. Er wird dabei, trotz Energieverlust durch Abstrahlung, ständig heißer. Formal betrachtet hat er, dank Schwerkraft, eine „negative“ Wärmekapazität. Sterne sind recht ungewöhnlich.

Gründen vom Ereignishorizont ausgehen muss, ist reine Temperaturstrahlung. Sie verrät nichts. (Die Temperatur ist auch keine neue Information, sie ergibt sich aus der Masse.) Die Physiker sind fassungslos. Information kann nicht einfach verschwinden. Faustisch pochen sie auf Fausts „Es kann die Spur von meinen Erdentagen, nicht in Äonen untergehn.“

Eine Temperaturangabe macht streng genommen nur Sinn im thermischen Gleichgewicht. Da genau das im Falle eines Sterns nicht zutrifft, muss man immer genau hinhören, was gemeint ist, ist von Sterntemperatur die Rede. Wir schauen ja, je nach Photonenenergie, in unterschiedlich heiße Hautschichten eines Sterns. Die sog. Effektivtemperatur eines Sterns ist übrigens diejenige Temperatur, die ein Stern hätte, bekäme er von außen so viel zugestrahlt, wie er abstrahlt. Man stelle sich vor, der Stern befände sich in einem Ofen mit der gleichen Temperatur wie er. Das Gruselige daran: Man sähe den Stern dann gar nicht. Die Konturen verschwänden. Der Stern höbe sich nicht vom Hintergrund ab. Auch die Randverdunklung wäre weg. Spinnen wir den Faden weiter, hätte der Stern durchweg *eine* Temperatur⁵.

Warum ist der Kosmos nicht im Strahlungsgleichgewicht? Naiv, wie wir sind, denken wir uns den Kosmos unveränderlich, riesig und irgendwie mit ewig strahlenden Sternen angefüllt. Kein Ort, kein Zeitpunkt sei ausgezeichnet. In einem solchen Kosmos, so der Bremer Arzt und Astronom Wilhelm Olbers (1758–1840), wären keine Einzelsterne auszumachen. Wohin man auch schaute, immer fiel der Blick auf die Oberfläche eines Sterns. Die Sternscheibchen überlappten einander, weil die Anzahl der Sterne mit dem Kubus der Entfernung zunimmt, die scheinbare Fläche eines Sterns aber nur mit dem Quadrat ab. Kurz, der Himmel, er wäre von gleisender Helle, eine einzige Sternoberfläche, und die Welt, so würde man heute sagen, befände sich im Zustand des thermischen Gleichgewichts. (Binnen Kurzem hätten die Sterntemperaturen einander angeglichen.) Astronomie betreiben wäre unmöglich: Es gäbe nichts zu unterscheiden. Alles, auch Herr Olbers, strahlte mit der gleichen Flächenhelligkeit. Alles Wissen über die Welt reduzierte sich auf eine einzige Zahlenangabe: die Temperatur! Tun könnte man auch nichts.

⁵... und könnte gar nicht existieren! Unter der Knute der Schwerkraft gibt es keine stationären endlichen Gasansammlungen einheitlicher Temperatur. Isothermie und Gravitation sind unverträglich. Ob isotherme Gaskugel, isotherme Gasscheibe, oder isothermer Gaszylinder, alle diese selbstgravitierenden Gebilde sind unendlich. Für reale, endliche, Objekte ist der Widerspruch unlösbar. Dem Hang zum Ausgleich aller Temperaturunterschiede – früher sprach man vom „Wärmetod“ des Weltalls –, die Natur kann ihm gar nicht frönen!

Da es keine Temperaturunterschiede mehr gibt, die man ausbeuten könnte, gibt es auch keine freie Energie⁶ mehr, obwohl an Energie an sich kein Mangel bestünde, bei schätzungsweise 6000°C. Auch die Sonnen selbst stellten jedwede Tätigkeit ein: Die Konvektion in ihren Hüllen käme zum Erliegen.

An der naiven Vorstellung vom Kosmos muss etwas falsch sein. Nun, dem Kosmos mangelt's einfach an Ewigkeit! Er expandiert, er muss mithin einen Anfang in der Zeit gehabt haben. Rechnet man die Fluchtbewegung der Galaxien zurück, müssen sie alle vor 14 Milliarden Jahren „hier“ gewesen sein. Sterne können nicht älter sein. Von den am weitesten von uns entfernten können uns höchstens 14 Milliarden Lichtjahre trennen. Für das Inkrafttreten des Olbersschen Paradoxons ist das Universum schlicht zu klein, zu jung. Nachts, und für ISSler auch am Tage, ist der Kosmos überwiegend dunkel. Zwischen den Sternen ist viel Platz. Fast überall schaut man an ihnen vorbei ins Leere. Nur ein Milliardstel eines Millionstels des Firmaments ist Sternoberfläche. Inmitten eines Kugelsternhaufen wäre es etwas mehr.

Schaut man tatsächlich ins Leere? Den Ofen aus unserem Gedankenexperiment, ihn gibt's! Seine Wände sind 3 K warm. Die Kühle ist expansionsbedingt. Die 3-K-Strahlung kündigt davon, dass Gas und Strahlung einst, als der Kosmos weniger als ein Tausendstel seiner jetzigen Größe hatte⁷, sich noch im thermischen Gleichgewicht befanden.

⁶Das ist interessant: Mit der Energie *einer* Sonne kann man etwas anfangen, mit der Energie von 200 000 Sonnen – soviel Sonnenscheiben benötigte man, um den ganzen Himmel damit zuzupflastern – könnte man rein gar nichts anfangen, weil etwas fehlte – Kälte.

⁷Damit ist lediglich gemeint, dass alle kosmologischen Abstände Tausendmal kleiner als heute waren.