

## **Liebe Leserin, lieber Leser,**

Gesundheitsmagazine preisen die heilsame Wirkung von Antioxidantien, und jederman weiß, dass frisches Obst gegen freie Radikale gut ist. Keine Angst, der Kosmos-Bote versucht sich nicht als Ernährungsberater, und ein Stern ist kein Apfel. Aber vor 75 Jahren stellte sich heraus, dass das stärkste Anti-aging-Mittel, das negative Wasserstoffion, auch Hydrid-Ion<sup>1</sup> genannt, in der Photosphäre der Sonne und in denen anderer kühler Sternen vorkommt. Damit wurde ein Rätsel gelöst, auf das als erste die Sonnenphysiker gestoßen waren: Das Sonnengas verschluckt im sichtbaren Bereich des Spektrums Licht deutlich stärker als angenommen. (Das gilt generell für sonnenähnliche Sterne. Bloß war es bei der Sonne mit ihrer Lichtfülle zuerst aufgefallen.) Die Suche nach dem Absorber zeitigte aber kein neues, den Chemikern noch unbekanntes Element, wie anno 1868 im Falle des Heliums geschehen, des „Sonnenstoffs“. Als Täter entpuppte sich vielmehr der Wasserstoff, das bei weitem häufigste Element in der Sonne. Allerdings nicht Wasserstoff in seiner ordinären Form, mit einem gebundenen Elektron, wie es seiner Stellung im Periodensystem zukäme, sondern mit deren zwei! Was seine Elektronenhülle angeht, so tut dieser Wasserstoff als ob er Helium wäre. Dem elementaren Drang, Elektronenschalen zu komplettieren, sprich ein Edelgas zu imitieren, liegt alle chemische Bindung zugrunde, was das Verlangen des Wasserstoffs an einem zusätzlichen Elektron verständlich macht.

Einen heilsamen Sommer wünscht

Hans-Erich Fröhlich

## **Der Himmel im Juni**

Venus bleibt Morgenstern. Sie steht am Monatsende fast zwei Stunden vor der Sonne auf. Mars geht am Monatsende bereits kurz nach Mitternacht unter. Saturn folgt anderthalb Stunden später nach. Am Monatsanfang ist im Westen noch der Jupiter auszumachen.

Sommersonnenwende ist am 21. Juni 11:51 MEZ.

---

<sup>1</sup>Der „aktive“ Wasserstoff der Heilerbranche.

## Es war der Wasserstoff!

In der April-Ausgabe wurde erklärt, wieso so ein Sterngucker mittels Spektralanalyse die chemische Zusammensetzung der Photosphäre eines Sterns ermitteln kann, der eventuell lichtjahreweit von uns entfernt ist. Es ist der simplen Tatsache geschuldet, dass ein Stern nicht im Gleichgewicht mit seiner Umgebung ist. Er strahlt viel mehr Energie in den Weltraum ab, als er von dort zurückerhält. Um die Energie loszuwerden, bedarf es eines Temperaturgefälles im Stern. Wärme strömt immer vom Warmen zum Kalten. Es ist also der Temperaturabfall in der äußersten Schicht eines Sternes, der das Entstehen von dunklen Spektrallinien bewirkt, die wiederum der einzige Hinweis auf die chemische Zusammensetzung darstellt.

Bei Wellenlängen, wo der Sternenstoff durchsichtig ist, kommt das Licht aus tieferen und mithin heißeren Schichten. Dies sind die hellen Regionen im Spektrum. Im Bereich der dunklen Linien hingegen, absorbiert der Stoff stark. Das Restlicht in solch einer Linie entstammt entsprechend oberflächennahen, kühlen Schichten und ist von geringer Intensität.

Die dunklen Spektrallinien (Absorptions- oder Fraunhoferlinien) entstehen bei (gebunden-gebunden) Übergängen in den Elektronenhüllen bestimmter Atome. Beim „Verschlucken“ eines Lichtquants, eines Photons, geht ein Atom in einen angeregten Zustand höherer Energie über. Von dort gelangt es durch Aussendung eines Photons der gleichen Energie in eine x-beliebige Richtung wieder in seinen vorherigen Zustand, meist der energetische Grundzustand. Übersteigt die Photonenenergie allerdings die Ionisierungsschwelle, verliert das Atom ein Elektron. Diese gebunden-frei Übergänge durch Photoionisation sind nicht mehr wie bei den gebunden-gebunden Übergängen mit der Absorption einer genau definierten Energiemenge verbunden. Die Absorption erstreckt sich deshalb über einen großen Teils des Spektrums. Man spricht von einem Absorptionskontinuum.

Ausgerechnet der nah-infrarote und optische Teil des Sonnenspektrums wird von einer solchen konturlosen Absorption bestimmt. Es muss sich um ein außerordentlich leicht ionisierbares „Element“ handeln, das schon durch energiearme Lichtquanten (von wenigstens 0,75 eV [Elektronenvolt]) photo-ionisiert wird. (Neutrale Atome und Ionen werden üblicherweise erst durch energiereiche UV-Strahlung mit mehreren eV ionisiert.) 1939 teilte der deutschstämmige Astrophysiker Rupert Wildt<sup>2</sup> (1905–1976) einer erstaunten Fachwelt mit,

---

<sup>2</sup>Rupert Wildt war an den Sternwarten Bonn und Göttingen tätig gewesen und 1935

wer als Verursacher in Frage kommt: negativ aufgeladener Wasserstoff! Dass das geht – das überzählige Elektron muss ja von irgendwoher kommen –, ist im wesentlichen „Verunreinigungen“ geschuldet, schweren Elementen – Astronomen sprechen schlicht von „Metallen“, was bei Chemikern jedesmal Augenrollen und Stirnrunzeln hervorruft –, die massenmäßig nicht ins Gewicht fallen, aber als Elektronenspender fungieren.

Die Existenz des sog. Hydrid-Ions war 1929 von einem anderen prominenten Emigranten, Hans Bethe<sup>3</sup> (1906–2005), noch in Frankfurt a. M. theoretisch nahegelegt worden. Praktisch nachgewiesen, im Labor, wurde das Hydrid-Ion erst 1950.

## Das Hydrid-Ion

Woher kommt das Interesse der Physiker am  $H^-$ -Ion? Das Vermeiden oxidativen Stresses durch freie Radikale ist es nicht. Nun, das  $H^-$  steht für das einfachste nicht-triviale Problem in der Quantenphysik: das Drei-Körper-Problem. Die elektrischen (Coulomb-)Kräfte zwischen den drei Beteiligten (Proton und zwei Elektronen) reichen weit. Lange Reichweite bedeutet, dass die An- bzw. Abstoßungskraft wie bei der Schwerkraft mit dem Quadrat der Entfernung, also potentiell, zwischen den geladenen Partikeln abfällt.

Das gewöhnliche Wasserstoffatom – Proton plus Elektron – ist vergleichbar dem Zwei-Körper-Fall der klassischen Himmelsmechanik: Sonne plus Planet. Dieser Fall ist trivial, seine Lösung im Falle der Himmelsmechanik die Keplerellipse. Tritt ein weiterer Planet hinzu, so ist das, als ob der Himmelsmechaniker die Dose der Pandora öffnete: überall lauert Chaos<sup>4</sup>. Beim quantenmechanischen Drei-Körper-Problem kommt hinzu, dass sowohl anziehende als auch abstoßende Kräfte (zwischen den Elektronen) eine Rolle spielen. Es war deshalb lange Zeit unklar, ob es das  $H^-$  überhaupt gibt. Außerdem hat

---

in die USA emigriert.

<sup>3</sup>Hans Albrecht Bethe erforschte zusammen mit Carl Friedrich von Weizsäcker (1912–2007) die Kernfusion im Sterninnern, insbesondere die Verschmelzung von Wasserstoff zu Helium unter Mitwirkung von Kohlenstoff als Katalysator, den sog. Bethe-Weizsäcker-Zyklus, wofür er 1967 den Physik-Nobelpreis erhielt. Im zweiten Weltkrieg war er als Theoretiker der führende Kopf beim Manhattan-Projekt der US-Armee in Los Alamos. Hans Bethe wollte verhindern helfen, dass Hitler als erster in den Besitz „der Bombe“ gelangte. Als Politikberater hat er sich im Kalten Krieg für die atomare Abrüstung eingesetzt gehabt.

<sup>4</sup>Determiniertheit darf dann nicht mehr mit Berechenbarkeit verwechselt werden.

die Quantenwelt ihre Eigenarten: Gebundene Zustände sind gequantelt und Elektronen *per se* identisch. (Sie sind ausdehnungslos! Man kann nicht das eine rot anstreichen und das andere blau, um sie zu unterscheiden.)

Die fragile Trinität namens Hydrid-Ion zu verstehen war ein Muss. Es ist illusorisch kompliziertere Gebilde, Atome mit vielen Elektronen oder gar Moleküle, zu begreifen, bekommt man nicht das einfache  $\text{H}^-$ -Ion in den Griff.

Lebten wir in einem Sonnensystem, wo die Kräfteverhältnisse ähnlich vertrackt wie beim Hydrid-Ion wären, die Newtonschen Gesetze der Himmelsmechanik wären niemals gefunden worden! Gott-sei-dank kann die gravitative Wechselwirkung zwischen den Planeten noch als „Störung“ durchgehen<sup>5</sup>. (Dass überall Darstellungen des Atoms zu sehen sind, wo die Elektronen wie Planeten den Atomkern auf Keplerbahnen umkreisen, zeugt von einem fundamentalen Missverständnis: Es gibt keine „Bahnen“! Schon beim Kepler-Fall – dem Wasserstoffatom – versagt die Analogie mit dem Sonnensystem, geht man ins Detail.)

Tatsächlich dürfen, wie man hört, die beiden Elektronen des  $\text{H}^-$ -Ions nicht gesondert betrachtet werden. Sie existieren nur irgendwie gemeinsam, als Zweiheit. Es ist sinnlos, die Aufenthaltswahrscheinlichkeit für jedes Elektron für sich berechnen und darstellen zu wollen. Ist das eine Elektron, statistisch gesehen, nahe dem Kern, ist das andere weit weg. Bildlich gesprochen „sieht“ es von dort draußen die positive Ladung des Protons und die negative des kernnahen Elektrons nahe beieinander und sich fast aufhebend. Deshalb ist es nur locker gebunden und die Photoionisation hat leichtes Spiel. Es gibt deshalb auch keine<sup>6</sup> angeregten gebundenen Zustände wie beim Helium, kein Linienspektrum.

Das Hydrid-Ion hat es in sich.

---

<sup>5</sup>Schon die Beinaheresonanz zwischen Jupiter und Saturn lässt Himmelsmechaniker die Haare raufen!

<sup>6</sup>Allerdings existieren doppelt-angeregte Zustände, wo beide Elektronen im Verein agieren. Fällt dann ein Elektron zurück, muss das andere den Verbund verlassen („Selbstionisation“).