

## Liebe Leserin, lieber Leser,

ein Namenstag steht an. Nicht irgendeiner! Es geht um das Photon, um das bei weitem wichtigste Teilchen für den Astronomen. Ihm verdankt er (fast) alles, was er über den Kosmos weiß. Geboren wurde das Photon vor gut 13 Milliarden Jahren, getauft aber erst vor 80 Jahren von dem amerikanischen Physiko-Chemiker Gilbert N. Lewis. Als Albert Einstein 1921 den Nobelpreis für Physik bekam, war zwar viel vom photoelektrischen Effekt die Rede – der Freisetzung von Elektronen durch Bestrahlung –, das einschlagende Projektil, das Lichtquant, hatte aber noch nicht den passenden Namen.

Das Photon ist derart seltsam, dass in der Öffentlichkeit selten darüber geredet wird. Die oft kolportierte Behauptung, Einsteins Relativitätstheorie sei unbegreiflich, kann nur von jemanden stammen, der noch nie etwas von Quantentheorie gehört hat. Denn die ist *mehr* unbegreiflich. Um so wichtiger ist es, auch dies einmal zur Sprache zu bringen. Keine Bange, die Astronomie kommt nicht zu kurz!

Im letzten Newsletter wurde die Vermutung geäußert, „Der Wolf und die sieben Geißlein“ könnten etwas mit dem gelegentlichen „Verschlingen“ der Plejaden durch den Mond zu tun haben. Eine Leserin des Kosmos-Boten hat sich daraufhin kundig gemacht und einen Experten befragt. Nach dessen Meinung entbehrt ein astronomischer Bezug der Grundlage. Schade!

Einen schönen Herbst wünscht Ihnen

Ihr Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im Oktober

Wen es nach Planeten gelüftet, muss ein Fernrohr besitzen oder Frühaufsteher sein. Letzteren belohnt der Saturn. Dieser ist ab Ende Oktober in der zweiten Nachthälfte zu sehen. Vor Mitternacht muss man sich, sofern man

über einen Feldstecher oder ein Fernrohr verfügt und der Südhorizont frei ist, mit Uranus (im „Wassermann“) und Neptun (im „Steinbock“) begnügen.

Was gibt's noch im Oktober? Meist findet er ja im September statt, aber diesmal ist Erntemond am 7. Oktober. Die Regel lautet, der dem Herbstanfang am nächsten kommende Vollmond trägt diesen Namen. Seine Bedeutung für die Landwirtschaft ist sicherlich im Schwinden, seit die Landmaschinen über elektrisch Licht verfügen. In früheren Zeiten half sein Licht beim Einbringen der Wintersaat in die Erde.

## Licht

Gemeint ist das gesamte Spektrum der elektromagnetischen Wellen, von den  $\gamma$ -Strahlen bis hin zu den Langwellen im Radiofrequenzbereich. Die entsprechenden Photonen unterscheiden sich nur in einem, der Energie, die sie transportieren. (Darin aber gewaltig.)

Die Erforschung des Lichtes hat ein wechselvolle Geschichte hinter sich. Für Sir Isaac Newton (1643–1727) bestand Licht aus Teilchen, Korpuskeln. Schon wegen des Schattenwurfs. Geheimrat Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832), der, gerade zurück von den hellen Himmeln Italiens, im dunklen Weimar seinen Farbstudien nachging, stellte sich vehement gegen den großen Physiker. Insbesondere Newtons Theorie von der Mischung der reinen Spektralfarben zu Weiß lehnte er ab.

Missverständnisse auf beiden Seiten! Newton sah das Physikalische, Künstler Goethe hat Physiologisches betont. Das Gespräch zwischen den Kulturen war damals schon kaum möglich. Dass das Auge ein *intelligenter* Empfänger ist und selbst jede Menge Reize produziert, um Körperfarben unabhängig von der Farbe der Beleuchtung wahrzunehmen, konnte man noch nicht wissen. Purpur beispielsweise ist eine reine Erfindung, ohne Entsprechung in der physikalischen Welt, geschaffen, um das lineare Farbenspektrum gewaltsam zu einem Farbkreis zu schließen (damit jede Farbe ihre Komplementärfarbe hat), d. h. Blau und Rot miteinander zu verbinden! Physikalisch ein Unding. Zwischen objektivem (physikalischem) Reiz und subjektiver Wahrnehmung liegen Welten. Unser Weltbildapparat dient dem Überleben nicht der Erkenntnis!

Eigentlich passte Goethe die ganze Richtung nicht, die die Physik seit Newton eingeschlagen hat, ihre Mathematisierung und ihre Wertefreiheit. Goethe wollte

das *Richtige* nie vom *Wahren* getrennt sehen. Er erhoffte sich Sinnstiftendes von der Naturforschung. Dass seine Farbenlehre (1810), auf die er sich viel zugutehielt, nicht so recht ankam, muss ihn maßlos gegrämt haben.

Zur Goethezeit jedenfalls wurden jene wunderbaren Interferenz-Experimente ersonnen, die jedermann davon überzeugten, dass, wie von Christiaan Huygens (1629–1695) behauptet, Licht ein Wellenphänomen ist, irgendwie vergleichbar dem Schall. Zur Krönung kam's 1873. In James Clerk Maxwells (1831–1897) Theorie des Elektromagnetismus ist Licht ein sich ausbreitendes elektromagnetisches Wechselfeld. Ein veränderliches magnetisches Feld induziert ein elektrisches und dieses wiederum ein magnetisches usw. in stetem Wechsel. Der Träger des Feldes blieb allerdings im Dunkeln. Den sog. *Äther* konnte niemand nachweisen, und er verschwand schließlich aus der Physik, die Einsteinsche Spezielle Relativitätstheorie statt seiner zurücklassend. (Dass dem sog. *Ätherwind* physikalisch nicht beizukommen war, war 1886 Albert Abraham Michelson in Potsdam aufgegangen. Das Michelson-Interferometer stand in einem Kellerraum des Astrophysikalischen Observatoriums.)

Dann kam das „wunderbare“ Jahr 1905, und Einstein, Max Plancks Quantenhypothese von 1900 ernstnehmend, führte das Lichtquant wieder ein. Nur so ließ sich der lichtelektrische Effekt erklären. Also sollte Newton doch recht behalten (auf eine Art und Weise, die ihm bestimmt missfallen hätte) und Albert Einstein seinen Nobelpreis bekommen. Ist die Welle nun weg? Mitnichten! *Noch einzelne Photonen zeigen die wohlbekanntesten Interferenzeffekte!* Das verstehe, wer will. Licht kann doch unmöglich beides zugleich sein: Welle und Teilchen? Eine Welle lässt sich nicht auf einen bestimmten Ort festnageln, ein Teilchen schon.

Die fabelhafte Welt der Quanten, sie zeigt sich in Reinkultur im Young'schen Doppelspaltexperiment (um 1805 herum). Es rangiert unter den Top 10 der berühmten Physikexperimente. Hinter einem beleuchteten Doppelspalt kommt es auf einem Schirm zur Entstehung von Streifen: eine Abfolge von hell, dunkel, hell, dunkel ... An gewissen Stellen löscht Licht sich selbst aus: Licht + Licht = Dunkelheit. Damit hat die Wellentheorie kein Problem: Wellenberg vom einen Spalt trifft dort auf Wellental vom anderen. Aber Newton. Das brach ihm das Genick. (Hier etwas zum Spielen und Anklicken: der Doppelspaltversuch im Internet, Quelle: Uni Bonn.) Nun kommt's: 100 Jahre nach Thomas Young (1773–1829) hat jemand am Dimmer gedreht und die Lichtintensität so weit verringert, bis nur noch *vereinzelt* ein Photon unterwegs ist. Es wird dann zwar immer schwieriger, das Interferenzmuster

wahrzunehmen, aber es verschwindet nicht! Die Photonen schlagen bevorzugt dort auf den Schirm, wo bei viel Licht die hellen Streifen zu sehen waren und fast nie, wo es zuvor schon dunkel war. (Um das Muster aufzuzeichnen, muss allerdings eine gehörige Anzahl von Photonen den Schirm erreicht haben. Mit dem Auge geht das nicht, weil das Auge Sinneseindrücke nicht aufsummiert, aber mit einer Fotoplatte oder heutzutage einem CCD-Array. Hier sehen Sie, wie das Interferenzmuster sich aus einzelnen Photonen aufbaut. Quelle: Uni Bonn.) Das ist unbegreiflich: Es ist so, als ob ein Photon gleichzeitig *beide* Spalte passierte und mit sich selbst interferiert! Träte ein Mensch gleichzeitig aus dem Haupt- und dem Hintereingang eines Hauses und träfen sich beide, um sich in Luft aufzulösen, käme Ihnen dies sicherlich spanisch vor. Ich weiß, das Beispiel hinkt. Man sieht immer nur das Ergebnis, nie, wie es dazu kam. Ist der Experimentator scharf darauf, herauszufinden, welchen Weg das Photon *tatsächlich* nimmt, was machbar ist, schmollt die Natur, und die Interferenz ist futsch oder wie es Richard Feynman ausdrückt, „Natur lässt sich nicht in die Karten schauen“.

Der Mikrowelt Welle-Teilchen-Dualismus ist paradox, nichts für makroskopische Hirne. Es gibt Rechenregeln, und das muss genügen. Wie man übrigens bald bemerkte, verhalten sich waschechte Teilchen, Elektronen, Protonen, Neutronen, unter gegebenen Umständen wie Wellen. 1961 wurde in Tübingen das erste Doppelspalt-Experiment mit einzelnen *Elektronen* durchgeführt ...

Der Welle-Teilchen-Dualismus hat sich sozusagen in Statistik aufgelöst. Die Lichtklümpchen sind real: Wo sie auftreffen, erzeugen sie eine Wirkung, schwärzen eine Fotoplatte, verursachen ein Stromstößchen in einer Fozelle, auf einem CCD-Array. Doch *wo* treffen sie auf, welchen Weg nehmen sie? Ja, durchlaufen sie überhaupt einen Weg? Genau dies ist unergründlich. Mehr als die Auftreff*wahrscheinlichkeit* auszurechnen ist nicht drin! Diese wird von einer *abstrakten* Welle diktiert, die der Welt der *Möglichkeiten* angehört. Erst wenn sich ihr ein geladenes Teilchen in den Weg stellt, ein Elektron, tritt Maxwells elektromagnetische Welle aus ihrem Schattendasein hervor und gewinnt ein wenig an Wirklichkeit. Ihre momentane Intensität am Ort des Elektrons ist dann die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Energieportion  $h \cdot \nu$  (Plancksche Konstante multipliziert mit der Wellenfrequenz) dem Elektron ausgehändigt wird. Ist es hell genug, d. h. sind genügend Photonen vorhanden, macht sich dieser Möglichkeitscharakter nicht so bemerkbar ... Das mit den Wahrscheinlichkeitsaussagen war ein schwerer Schlag für einge-

fleischte Deterministen, die kein „vielleicht“ akzeptieren. Philosophen sahen schon die Naturwissenschaft am Ende. Einstein, der doch das Photon wieder in die Physik eingeführt hatte – vor 101 Jahren –, behagte dies überhaupt nicht. „Der Alte würfelt nicht“ pflegte er zu sagen. Doch die jungen Physiker damals, die Heisenbergs, de Broglies und Feynmans hat dies nicht gekümmert. Sie haben pragmatisch hingenommen, dass die Welt von Grund auf anders ist, als sich ihre Lehrmeister das so gedacht hatten.

Was hat das alles mit Astronomie zu tun? Nun, vor einem halben Jahrhundert, 1956, hat sich ein englischer Radartechniker, Pilot und Pionier der Radioastronomie das verrückte Verhalten von Lichtteilchen geschickt zu Nutze gemacht, um mit einem sog. *Intensitäts-Interferometer*, einem ausgesprochenen Billig-Instrument, von Jodrell Bank aus den optischen Winkeldurchmesser des Sirius zu messen. Anfänglich benutzte er zwei ausgediente Armeesuchscheinwerferspiegel als Lichtsammler. Die Stelle der Glühlampen nahmen nun Photonendetektoren ein.

Wer glaubte, was von Physik zu verstehen, war empört. Was zuvor gerade mal so mit Präzisionsoptik und bei Überriesensternen machbar gewesen war, mittels eines Michelson-Interferometers, sollte nun mit Bastler-Optik bei Zwergsternen möglich sein? Die gelehrte Welt war in Aufruhr. Von Unfug war die Rede. Physiker wandten ein, so etwas widerspräche Grundgesetzen der Physik. Die Astronomen waren überdies sauer, dass ein Radio„fritze“ in ihr Reich eindrang, und ihnen, unter Ausnutzung eines Quanteneffektes, von dem damals sicherlich kein Lehrstuhlinhaber je gehört hatte, etwas vormachen wollte. (Die *Quantenelektrodynamik*, die QED, steckte noch in den Kinderschuhen.) Robert Hanbury Brown (1916–2002), damals gerade 40, scherte sich nicht darum, auf eine Ebene mit Scharlatanen und Perpetuum-Mobile-Erfindern gestellt zu werden – und er behielt Recht. Sicherheitshalber hatte er einen theoretischen Physiker an der Hand, einen Richard Twiss. Heute gelten beide als Väter der Quantenoptik. Das Hanbury-Brown-Twiss-Intensitätsinterferometer verlangt, wie gesagt, keine optische Präzision. Muss es nicht, weil die *Phase* der Lichtwellen (anders als bei einem Interferometer à la Michelson) keine Rolle spielt.

Das Nachfolgeinstrument (Quelle:CSIRO), aufgestellt in Narrabri, Australien, bestand aus zwei groben 7-m-Spiegeln, die sich auf einem Schienenkreis von 188 m Durchmesser bewegen ließen. Im Brennpunkt jedes Spiegels wieder der Photonendetektor. Beide Detektoren registrierten Rauschen, Photo-

nenrauschen. Bei kleinem Spiegel- bzw. Detektorabstand ähnelten sich beide Rauschsignale in ihrem zeitlichen Verlauf. Ab einem gewissen Abstand ist es damit vorbei. Je ausgedehnter eine Lichtquelle, desto eher geschieht dies. Es ist wie bei einem *richtigen* Phasen-Interferometer, nur das man sich die (technisch schwer beschaffbare) Phaseninformation schenkt. Sogar das Szintillieren der Sterne, bedingt durch die Luftunruhe, ist kein Hindernis. Nachteile gibt es auch: Man ist auf helle Sterne beschränkt, und man kann mit zwei Spiegeln keine Bilder von Sternoberflächen gewinnen.

Das Sterninterferometer zeitigte Ergebnisse: Dutzende Durchmesser von hellen Sternen des Südhimmels. Deren Winkelausdehnung liegt im Milli-Bogensekunden-Bereich. Zur Veranschaulichung: Das ist eine Haaresbreite, betrachtet aus 20 km Entfernung. Sogar die Randverdunklung – die Helligkeit nimmt wie bei der Sonne zum Rande eines Sterns ab – ließ sich studieren. (Mit einer Anordnung von, sagen wir, 10 km Basislänge könnte man sogar die Granulation eines Sternes auflösen.)

Möchten Sie wissen, weshalb sich Licht geradlinig auszubreiten scheint, wie genau Licht es mit der Lichtgeschwindigkeit nimmt und wie es mit der stofflichen Welt in Kontakt tritt? Dann lesen Sie Richard Feynmans „QED – Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie“. Die Regeln der Quantenphysik sind zwar unbegreiflich aber einfach. Kompliziert wird's erst, wollen Sie etwas ausrechnen, aber das wollen wir ja nicht. Kostprobe gefällig? Um auszurechnen, wie wahrscheinlich es ist, dass ein Photon von  $A$  nach  $B$  gelangt, müssen *alle* Wege, die von  $A$  nach  $B$  führen, in Betracht gezogen werden, wie krumm sie auch seien. Das sind unendlich viele, macht aber Sinn: Je mehr Möglichkeiten, von  $A$  nach  $B$  zu kommen, desto wahrscheinlicher. Ist der Abstand  $AB$  allerdings groß, verglichen mit der Wellenlänge, bleiben am Schluss nur die halbwegs geraden Wege übrig. Licht auf krummen Wegen löscht sich (durch Interferenz) selbst aus. Deshalb also Lichtstrahlen! So einfach ist das und so schwer zu berechnen.

Die QED ist die experimentell am besten bestätigte Theorie der Physik überhaupt – derzeit auf 12 Stellen nach dem Komma! –, ein Muster an Genauigkeit. (Deshalb sind genauere Experimente vonnöten!) Sie beschreibt fast alles, z. B. alle physikalischen und chemischen Vorgänge im (schwerelosen) Menschen. Nicht erfasst sind lediglich Radioaktivität, Kern- und Schwerkraft.

Die Lektüre ist gefährlich. Sie werden danach nie wieder die Welt so sehen können, wie Sie Ihnen im Physikunterricht „erklärt“ worden ist.

Erst seit kurzem kann man – mit einem irrsinnigen Aufwand! – *richtige* Interferometer mit dem Auflösungsvermögen des Narrabri-Instruments bauen.

Über eines, ESOs VLTI (Quelle: ESO) wird ein andermal zu berichten sein, wenn sich ein Newsletter um rasant rotierende Sterne drehen wird.

Und warum das alles? Nun, aus Winkeldurchmesser und scheinbarer (bolometrischer) Leuchtkraft eines Sterns ergibt sich die Flächenhelligkeit. Die aber ist ein Maß für die *Oberflächentemperatur*. Das Narrabri-Intensitätsinterferometer diente als „Sternthermometer“! Das Tolle daran, man braucht den Abstand nicht zu kennen. Flächenhelligkeit ist, wie jeder Fotograf weiß, abstandsunabhängig.

Goethe, der die Abstraktion fürchtete wie der Teufel das Weihwasser und sehr auf sinnende Anschauung hielt, er hätte der folgenden Beobachtung bestimmt etwas abgewinnen können.

Ich hatte die Venus im Meer sich spiegeln sehen, was der „Meerschamgeborenen“ gut zu Gesichte stand. Ich muss gestehen, es war ein erhebender Anblick. Darüberhinaus aber strafte dieser Lichtreflex auf dem Wasser alle Schulbücher der Physik Lügen, die eine Ursache-Wirkung-Welt predigen. Wer sagt denn einem ganz konkreten Venusphoton unter Dutzenden, dass es von der Wasseroberfläche abzuprallen hat, während all die anderen, von exakt gleicher Beschaffenheit, im Meer versinken? Niemand! Das gab schon einem Newton zu denken. (Genaugenommen, stammt das reflektierte Photon gar nicht von der Venus. Es wurde unterhalb der Wasseroberfläche erzeugt, als ein Venusphoton mit einem Elektron kollidierte – Entschuldigung! – eine elektromagnetische Venuswelle aus unerfindlichen Gründen plötzlich ein  $h \cdot \nu$ -Energiequäntchen an ein hiesiges Unterwasserelektron abgab, das daraufhin zu schwingen anfang und eine Sekundärwelle losschickte, die schließlich, zusammen mit anderen Sekundärwellen, den Verrechnungsapparat in meiner Netzhaut in Gang setzte ...)

Gott-sei-Dank muss man die Welt nicht begreifen, um sich darin zurechtzufinden.