

„Wer hat denn das bestellt?“

Ein Physiker nach der Entdeckung des „schweren“ Elektrons 1937.

## Liebe Leserin, lieber Leser,

„Warum ist überhaupt etwas und nicht vielmehr nichts?“ Diese Frage des Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) beschäftigt inzwischen sogar den Astronomen. Vor 90 Jahren machte der Physiker Paul Adrien Maurice Dirac (1902–1984) die noch junge Quantentheorie Einstein-gerecht, soll heißen: vereinbar mit der Speziellen Relativitätstheorie. Danach war nichts mehr wie zuvor: So sollte es Elektronen negativer Energie geben – und das zuhauf! Erst das Fehlen eines solchen Elektrons macht sich positiv bemerkbar, als positiv geladenes Elektron, später auf den Namen Positron getauft. Seit Diracs „Löchertheorie“<sup>1</sup> kennt man Antimaterie und Annihilation! Ja, dank Relativität können Teilchen sterben! 1932 entdeckte Carl David Anderson (1905–1991) das Positron in der kosmischen Strahlung. 1955 folgte die Entdeckung des Antiprotons, kurz darauf die des Antineutrons.

Physiker gelten als symmetrie-süchtig. (Symmetrien, auch abstrakte, helfen beim Erraten von Naturgesetzen.) Wenn Antimaterie denkbar ist, dann sollte das Universum, bitteschön, zur Hälfte auch daraus bestehen. Wie man weiß, vernichten Materie und Antimaterie einander, kommt's zur Begegnung. Die Zerstrahlung erklärt zwar, warum das Universum jede Menge Photonen der 3-K-Strahlung enthält – ca.  $400/\text{cm}^3$  –, nicht aber warum es überhaupt Materie gibt. Immerhin befinden sich im Mittel in  $4 \text{ m}^3$  Universum jeweils ein Baryon (Proton oder Neutron) und die gleiche Menge an Elektronen. Irgendwie müssen im frühen Universum auf eine Milliarde Antiteilchen eine Milliarde plus 1 normales Teilchen entfallen sein. Bei der Zerstrahlungsorgie wäre dann, in Ermangelung des todbringenden Partners, ein Materieteilchen übriggeblieben. Die materielle Welt als kläglicher Rest! Doch wie konnte es zu dieser winzig-wichtigen Abweichung vom Fifty-Fifty kommen, dem u. a. wir

---

<sup>1</sup>Für jemanden, der sich an der Vorstellung eines randvoll mit Elektronen negativer Energie gefüllten „Dirac Sees“ stößt, gibt's eine Alternative: Antiteilchen, sind raumzeitlich gespiegelte normale Teilchen – Boten aus der Zukunft!

unsere Existenz verdanken? Andrej Dimitrijewitsch Sacharow (1921–1989) zählte 1967 die Bedingungen auf, unter denen es im frühen Kosmos zu einem Materieüberschuss hat kommen können. Von einer CP-Verletzung ist u. a. die Rede. Und genau das deutet sich bei Neutrinoexperimenten in Japan an. Neutrinos gelten als flüchtige Gesellen, dennoch hat man über die Jahre sage und schreibe 90 Elektronen-Neutrinos<sup>2</sup> dingfest machen können, aber nur 15 Elektronen-Anti-Neutrinos. Dieses Missverhältnis – man hatte mit 68 : 20 gerechnet – gibt nun Anlass zu weitreichenden Spekulationen. Aber auch sonst bietet das Neutrino Stoff zum Erzählen.

Das Neutrino wechselwirkt nur schwach. Der physikalische Sonderling gilt als asozial – ein zeitgemäßes Thema also!

Ihr Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im Mai

Am 4. Mai wechselt der behende Merkur die Sonnenseite. Die obere Konjunktion findet diesmal direkt hinter der Sonnenscheibe statt. Seine größte östliche Elongation (24°) erreicht er einen Monat später, am 4. Juni. Bereits zuvor kommt es zu einer Abendsichtbarkeit des Planeten. Am Monatsende geht Merkur zwei Stunden nach der Sonne erst unter. Am 21./22. Mai eilt er ein Grad südlich an der Venus vorbei.

Der Abendstern zieht sich vom Abendhimmel zurück. Venus nähert sich behend der Sonne. Am 3. Juni kommt's zum Stelldichein, zur unteren Konjunktion. Danach taucht Venus wieder auf — als Morgenstern.

Mars, Jupiter und Saturn zieren schon den Morgenhimmel. Die beiden Großen stehen im Juli der Sonne gegenüber. Vor der Opposition im Sternbild des Schützen aber kommt der Stillstand. Er markiert den Beginn der Oppositionsschleife, der Rückläufigkeit des Planeten. Zunächst „steht“ Saturn für einen Moment still am Firmament, am 11. Mai (und noch im Steinbock). 3 1/2 Tage später kehrt Jupiter um.

Im April-Newsletter war vom Kommen des Kometen C/2019 Y4 (ATLAS) die Rede gewesen. Wie es aussieht, wurde er beim Anflug auf die Sonne etwas lädiert. Sein Kern zerbarst in mehrere Einzelteile. Das ist nicht ungewöhnlich. Kometenkerne sind fragil. Schlimmstenfalls verschwindet Komet

---

<sup>2</sup>Der Aufwand war beträchtlich: Trilliarden ( $10^{21}$ ) von Protonen wurden von einem Teilchenbeschleuniger „verschossen“.

ATLAS sang und klanglos von der Bildfläche. (Wäre angesichts der Corona-Pandemie vielleicht sogar das Beste: Kometen galten als Unglücksboten – Zuchtruten Gottes.)

## Faszination Neutrino

### Von solaren und kosmologischen Neutrinos

Astronomen haben einen Faible fürs Neutrino. Das ist kein Wunder, ist doch z. B. die Sonne für Neutrinos durchlässig. Sie ermöglichen den Blick ins Herz der Sonne, dorthin, wo die Sonnenenergie her kommt, – sogar nachts! Sonnenlicht stammt zwar letztlich auch aus dem Zentrum, benötigt aber über 100 000 Jahre, sich auf Zickzackwegen (*random walk*) durch den opaken Plasmaball (mit einer Sichtweite von weniger als 1 mm) hindurch zu quälen. Neutrinos schaffen das in gut 2 Sekunden!

Damit es zur Kernfusion, dem Aufbau eines Heliumkerns aus vier Wasserstoffkernen (Protonen) kommen kann, müssen sich Protonen in Neutronen verwandeln. Dieser Vorgang, bei dem ein u-Quark zu einem d-Quark mutiert und ein Neutrino freigesetzt wird, ist so gut wie verboten<sup>3</sup>. Er gehört ins Reich der sog. schwachen Wechselwirkung.

Sonnenneutrinos werden seit Ende der 60er Jahre in unterirdischen<sup>4</sup> Detektoren nachgewiesen. Doch die Neutrinozählungen schockierten. Man registrierte gerade einmal ein Drittel der erwarteten Anzahl. Hatte man die Temperatur im Sonnenzentrum überschätzt? Da entsann man sich einer seltsamen Dreiheit: Es gibt drei Teilchen-Familien (Generationen), wenngleich eine für kosmische Alltagsbelange vollauf genügt hätte.

Oder ist Ihnen schon einmal ein super-schweres Elektron (Tauon) von 3 1/2-tausend Elektronenmassen über den Weg gelaufen? Schon auf ein 206-Elektronenmassen-Elektron (Myon) zu stoßen, erfordert Geduld. Das Myon wurde ebenfalls von Carl Anderson entdeckt, 1937. Warum die Schöpfung es nicht beim Elektron bzw. Positron hat bewenden lassen, ist unerfindlich. Warum musste sie auch noch in Myonen und Tauonen machen, wo die doch sofort wieder verschwinden? Die „überflüssigen Elektronen“ haben neutrale Partner: das Myon- ( $\nu_\mu$ ) und das Tauon-Neutrino ( $\nu_\tau$ ).

---

<sup>3</sup>Wer behauptet, mit Fusionskraftwerken „werde die Sonnenenergie auf die Erde geholt“, übersieht, dass diese Anlagen von vornherein mit Deuterium oder gar Tritium betrieben werden. Das langwierige Herstellen von Neutronen aus Protonen erspart man sich.

<sup>4</sup>Sonnenphysiker stiegen früher auf hohe Berge, um der Sonne nahe zu sein, heute sind sie „Steiger“ im Bergwerk.

Der Perchloräthylen-Neutrino-detektor in einer 1 1/2 km tiefen Goldmine in Süddakota war nur für Familie-1-Neutrinos empfänglich: Elektron-Neutrinos ( $\nu_e$ ). Des Rätsels Lösung: Auf ihrem 8-Minuten-Trip zur Erde wechselt ein Neutrino die Familienzugehörigkeit! Man spricht von Neutrinooszillation. Da das nur geht, wenn wenigstens eine Neutrinosorte über Ruhemasse verfügt, hielt man Neutrinos sogar zeitweilig für den obskuren Stoff, den Astronomen als dunkle Materie kennen. Neutrinos sind so häufig wie Photonen und selbst wenn sie nur sehr wenig wiegen – das Hunderttausendstel eines Elektrons –, kommt doch einiges zusammen. Als sich herausstellte, dass selbst Zwerggalaxien in dunklen Halos hausen, musste man diese Vorstellung leider<sup>5</sup> *ad acta* legen. Aus nahezu lichtschnellen Neutrinos kann man keine Zwerggalaxien zimmern.

## Spiegelland

Es gibt rechte Hände und linke und dies in gleicher Anzahl. Schrauben mit Rechtsgewinde sind hierzulande gefragter als solche mit Linksgewinde. Korkezieher für Linkshänder sind bestimmt teurer als andere. Und die Lebewelt hat von jeher (wegen der gemeinsamen Abstammung) einen gehörigen Linksdraht, jedenfalls was Eiweisse angeht. Bei DNA und Zucker ist es umgekehrt. Nur der rechtsdrehende (Dextropur etc.) ist verdaulich. Bezüglich des Drehsinns verfährt die Welt nicht vorurteilsfrei: „Links“ ist sprachlich sogar negativ konotiert: ein *linkes* Ding ist eine *sinistre* Angelegenheit. Dem können Neutrino-forscher nur zustimmen.

Wenn schon nicht die Natur, die Gesetze der Physik sollten doch erhaben sein ob solcher Unterscheidungen, oder? So sollte es egal sein, wie wir den Schraubensinn festlegen, die Orientierung der x-, y- und z-Achse in einem Koordinatensystem. Reden wir über Spiegelung. Ein Spiegel vertauscht „rechts“ und „links“. Könnte die Welt im Spiegel auch vor dem Spiegel bestehen?

Es käme auf einen Versuch an: Stellte man als Sonderanfertigung das Spiegelbild eines Automobils her, inklusive aller elektrischen Teile, es bewegte sich in derselben Weise fort wie das Vor-Bild! (Am besten natürlich auf englischen Straßen, wo bloß das Nummernschild Verdacht erregte.) Dabei bitte nicht vergessen, die Polarität von Dauermagneten (im Anlasser etc.) zu wechseln!

---

<sup>5</sup>Das Neutrino gibt's tatsächlich, alle anderen Kandidaten für die dunkle Materie existieren bisher nur auf dem Papier.

Und der menschliche Körper? Auch dessen Spiegelbild sollte leben können, bloß wovon? Was so an Nahrungsmitteln wächst und auf dem Markt feilgeboten wird, alles unverdaulich, unverträglich ... Aber gegen das Coronavirus wäre der Spiegelmensch gefeit!

1956 dann der Schock: Die schwache Wechselwirkung – also  $\beta$ -Radioaktivität etc. – spricht der Spiegelsymmetrie Hohn. Da gibt es ein Teilchen, genannt K-Meson, das zerfällt manchmal in zwei  $\pi$ -Mesonen, manchmal in drei! Das aber ist unvereinbar mit Spiegelsymmetrie. Quantenphysiker sprechen von Paritätsverletzung.

In der leptonischen Welt, wo es um alle Sorten von Elektronen und Neutrinos geht, herrscht, wie in der organischen Welt, ein perfider Linksdrall: Ein Neutrino, das auf uns zu eilt, dreht sich im Uhrzeigersinn. Das Spiegelbild eines Neutrinos, ein rechtshändiger „Punkt“, schien bis vor kurzem<sup>6</sup> in der realen Welt zu fehlen.

Zwar ist die Spiegelsymmetrie nicht zu retten, aber gleicht nicht des Neutrino Spiegelbild dem Antineutrino? Es hat dessen Drehsinn! Wie sich zeigt, ist eine gespiegelte Welt, wo obendrein jedes Teilchen durch sein Antiteilchen ersetzt ist, eine mögliche Welt, d. h. eine, welche sich an's Gesetz hält. Man nennt das CP-Invarianz. Das „C“ kommt von *charge*, also Ladung, und bezieht sich auf die Ladungsumkehr, welche beim Wechsel zum Antiteilchen geschieht; das „P“ steht für Parität und damit für räumliche Spiegelung. (Dass das Neutrino keine elektrische Ladung hat, tut nichts zur Sache. Es gibt auch ein Antineutron!)

Als Heimwerker bestelle ich bei einem Billiganbieter am anderen Endes des Universums (was sicher stellt, dass wir nichts Gemeinsames<sup>7</sup> haben) eine Schachtel Schrauben mit Rechtsgewinde. Mit Verweis auf das Neutrino machen ich ihm klar, was ich unter einem Linksgewinde verstehe. (Ihm ein Fax mit dem Foto eines Rechtsgewindes zu senden reicht nicht. Ein Bild wäre wie ein Dia, wo man nicht weiß, was die Vorderseite ist.) Dennoch wäre es gefährlich, die Schraubensendung unbesehen entgegenzunehmen. Es könnte sich um Anti-Schrauben mit Linksgewinde handeln ...

---

<sup>6</sup>Bis zur Entdeckung der Neutrinooszillationen! Ein ruhemassebehaftetes Teilchen ist stets langsamer als Licht und kann überholt werden, wodurch sich der Richtungssinn umkehrt.

<sup>7</sup>Befände sich der Händler im Milchstraßensystem, könnte ich ihn ja wissen lassen, dass sich die Galaxis *per definitionem* rechts herum dreht und „oben“ für mich dort ist, wo der schöne Galaxienhaufen (Coma-Haufen) sich befindet.

## CP-Verletzung im Land der aufgehenden Sonne

Neutrino-Afficionados blicken gebannt nach Japan. Am Super-Kamiokande Neutrinodetektor häufen sich Hinweise, wonach sich ein Neutrino maximal anders verhält als sein anti-materielles Spiegelbild. Das jedenfalls legt das T2K<sup>8</sup>-Experiment nahe, das seit einem Jahrzehnt Neutrinooszillationen beobachtet. Eine Anlage bei Tokai, nördlich von Tokyo, erzeugt abwechselnd einen Strahl myonischer Neutrinos ( $\nu_\mu$ ) bzw. Antineutrinos ( $\bar{\nu}_\mu$ ). Im 295 km entfernten Detektor, einem unterirdischen Behältnis mit 50 000 t Reinstwasser und 13 000 Lichtsensoren, endet für ein paar Neutrinos mit der Durchquerung der japanischen Hauptinsel von Ost nach West bereits die Reise mit der Feststellung<sup>9</sup> ihrer Familienzugehörigkeit. Was als  $\nu_\mu$  vor einer Millisekunde begann, endet mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit als  $\nu_e$ . (Oder gar als  $\nu_\tau$  [tauonisches Neutrino]. Doch das ist nicht nachweisbar.) Doch was, feuert die Neutrinoquelle mit  $\bar{\nu}_\mu$ ? Auch von denen enden einige als elektronische Neutrinos, pardon Antineutrinos ( $\bar{\nu}_e$ ). Doch man höre: Die Häufigkeit, mit der die Familienbande gewechselt werden, ist jetzt merklich<sup>10</sup> geringer! Neutrinos scheren sich offenbar nicht um CP-Invarianz, welche besagt, dass ein materieller Vorgang in der gleichen Weise (also auch mit den gleichen Verwandlungswahrscheinlichkeiten) abläuft, wie der gespiegelte Vorgang mit Antimaterie. „Nature“ brachte es auf den Punkt: „Der Spiegel ist zerbrochen“ titelte die Ausgabe vom 16. April.

Der Symmetriebruch<sup>11</sup> wäre, sollte er sich bestätigen, ein Schlag ins Gesicht

---

<sup>8</sup>Tokai to Kamioka

<sup>9</sup>Registriert wird das Cherenkov-Leuchten, welches von Elektronen und Myonen bzw. deren Antiteilchen ausgeht. Diese entstehen, lässt sich ein elektronisches bzw. myonisches (Anti)Neutrino mit einem Nukleon aus dem Wassertank ein. Die Sekundärpartikeln jedenfalls eilen mit Überlichtgeschwindigkeit (aber  $< c$ ) durchs Wasser, eine Stoßwelle im Schlepptau (wie beim Überschallknall): eine Stoßwelle aus Licht! Der Lichtkegel verrät die Art des Teilchens und dessen Bewegungsrichtung.

<sup>10</sup>*Merklich* reicht nicht. Es geht um sehr viel. Damit die Null-Hypothese (CP-Erhaltung) abgelehnt wird, ist die  $5\sigma$ -Latte zu nehmen. Am Fermi-Labor (USA) laufen die Vorbereitungen für DUNE, einem Detektor mit 70 000 t tiefgekühlten flüssigen Argons. Der Neutrinostrahl aus einer 1300 km entfernten Quelle durchdringt geradlinig die Erde, dabei auf halben Wege eine maximale Tiefe von 30 km erreichend. Das *Deep Underground Neutrino Experiment* soll endgültig klären, ob Neutrinos die CP-Symmetrie verletzen oder nicht. Beginn des Experiments nicht vor 2027. Inzwischen sammeln die Japaner weiterhin Neutrinos, ein Dutzend pro Jahr. Und Hyper-Kamiokande, ein Detektor 20-mal größer als Super-Kamiokande, ist im Kommen. Die Bauarbeiten sollten im April beginnen.

<sup>11</sup>CP-Verletzung ist kein Kavaliersdelikt! Es geht um nichts Geringeres als die Verlet-

des sog. Standardmodells der Teilchenphysik, das keine Neutrinomassen und daher auch keine -oszillationen vorsieht, andererseits aber auch eine Art Erlösung von den Fesseln, die eine perfekte CP-Symmetrie der Welt auferlegte.

Und die Lösung meines Schraubenproblems! Um sicherzugehen, dass mir wirklich das Gewünschte geliefert wird und keine Anti-Schrauben, werde ich meinen Alien bitten, die japanischen Experimente nachzuvollziehen. Verwandeln sich *s e i n e* myonischen Neutrinos weniger häufig in elektronische, als die aus Antimaterie, ziehe ich meine Bestellung zurück. Andernfalls würde ich die Schrauben nehmen, sofern sie den gleichen Drehsinn wie *s e i n e* (und meine) Antimaterie-Neutrinos aufweisen.

Die sich abzeichnende leptonische CP-Verletzung nährt die Hoffnung, eines Tages zu verstehen, wieso 0,000 000 1 % der „normalen“ Materie das Paarvernichtungsinferno des Urknalls überstanden hat. Die Theoretiker haben da etwas *in petto*: Sie bauen auf ein schweres steriles Neutrino, was immer das auch sein mag.

---

zung der Zeitsymmetrie im Kleinen. Bisher war immer nur von einem makroskopischen (thermodynamischen) Zeitpfeil die Rede!