Antimaterie

QUANTENPHYSIK · TEILCHEN UND LICHT

In Dan Browns Thriller „Illuminati“ stehlen Verschwörer ein Viertelgramm Antimaterie aus dem CERN und drohen damit, den Vatikan in die Luft zu sprengen. Das Buch hat viele Leser zum ersten Mal mit dem Wort in Berührung gebracht, und es hat ein Bild hinterlassen, das sich hartnäckig hält: Antimaterie als exotischer Superstoff, gefährlich, geheim, irgendwo in einem Labor gehortet.

Die Wirklichkeit ist weniger dramatisch und in mancher Hinsicht seltsamer. Antimaterie entsteht jeden Tag, in Krankenhäusern und in der oberen Atmosphäre. Sie ist kein Science-Fiction-Stoff, sondern folgt direkt aus der Quantenphysik. Und die eigentliche Frage, die Physiker an ihr umtreibt, ist nicht, wie man mit ihr etwas zerstört, sondern warum es überhaupt etwas gibt.

Eine Gleichung mit zu vielen Lösungen

Die Geschichte beginnt 1928 mit dem britischen Physiker Paul Dirac. Er suchte eine Gleichung für das Elektron, die sowohl die Quantenmechanik als auch Einsteins spezielle Relativitätstheorie erfüllt, denn die Schrödinger-Gleichung gilt nur für langsame Teilchen. Dirac fand eine erstaunlich elegante Lösung, die nebenbei auch noch den Spin des Elektrons erklärte [1].

Seine Gleichung hatte allerdings einen Schönheitsfehler. Sie ließ Lösungen mit negativer Energie zu, und die wurde Dirac nicht los. Nach einigen Jahren des Ringens deutete er sie schließlich auf eine Weise, die damals fast niemand ernst nahm: Es müsse ein Teilchen geben, das genauso schwer ist wie das Elektron, aber positiv geladen. Ein Anti-Elektron.

Eine Spur, die falsch herum abbiegt

Gefunden hat es dann jemand, der nicht danach gesucht hatte. Carl Anderson am California Institute of Technology untersuchte 1932 die kosmische Strahlung mit einer Nebelkammer, in der geladene Teilchen eine sichtbare Spur aus kleinen Tröpfchen hinterlassen. Die Kammer stand in einem starken Magnetfeld, sodass sich die Bahnen krümmten, positive Teilchen in die eine Richtung, negative in die andere. Auf einer Aufnahme fand Anderson eine Spur, die aussah wie die eines Elektrons, sich aber in die falsche Richtung bog. Um sicherzugehen, dass nicht einfach ein Elektron in umgekehrter Richtung geflogen war, hatte er eine Bleiplatte in die Kammer gestellt. Das Teilchen verlor darin Energie, und an der stärkeren Krümmung danach konnte er seine Flugrichtung ablesen. Er nannte es Positron [2].

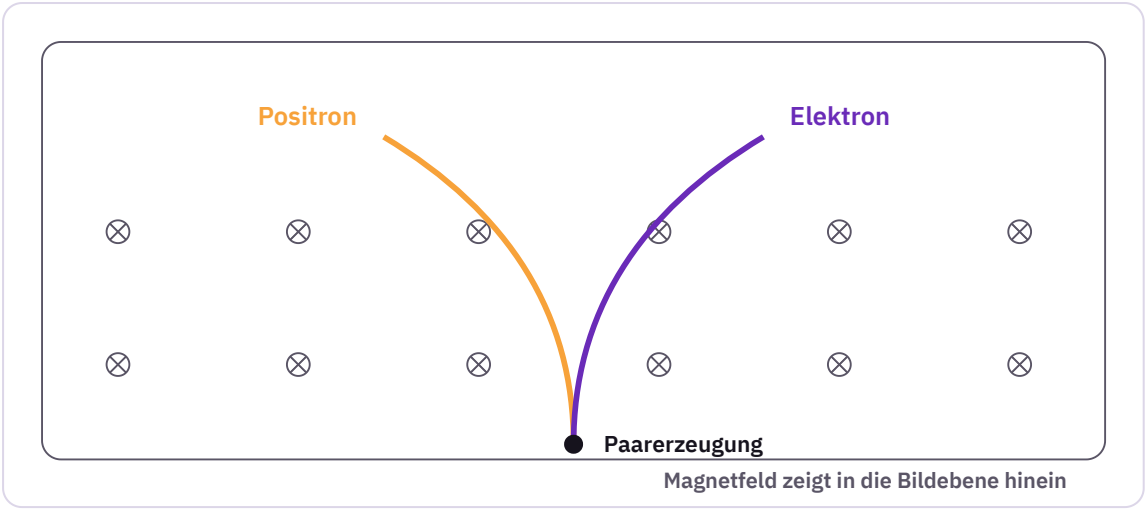


Abb. 1: Wenn energiereiche Strahlung ein Elektron-Positron-Paar erzeugt, krümmen sich die Spuren der beiden im Magnetfeld spiegelbildlich. Vereinfachte, eigene Darstellung.

Dirac bekam 1933 den Nobelpreis, Anderson 1936. Und es blieb nicht beim Elektron. Nach Diracs Theorie sollte zu jedem Teilchen ein Antiteilchen gehören, mit gleicher Masse und entgegengesetzter Ladung. 1955 wiesen Owen Chamberlain, Emilio Segrè und ihre Kollegen in Berkeley das Antiproton nach [3], bald darauf das Antineutron. 1995 gelang es am CERN, aus einem Antiproton und einem Positron die ersten Atome Antiwasserstoff zusammenzusetzen, neun Stück.

Wenn Materie und Antimaterie sich treffen

Trifft ein Teilchen auf sein Antiteilchen, vernichten sich beide und ihre gesamte Masse wird in Energie umgewandelt, meist in Form energiereicher Photonen. Das ist die Umwandlung, die Einsteins berühmte Formel $E = mc^2$ beschreibt, und zwar vollständig. Bei der Kernspaltung in einem Kraftwerk wird nur rund ein Promille der Masse in Energie umgesetzt, bei der Vernichtung von Materie und Antimaterie alles.

Rechnen wir das für Dan Browns Szenario durch. Ein Viertelgramm Antimaterie und ein Viertelgramm Materie ergeben zusammen ein halbes Gramm, das sind $4{,}5 \cdot 10^{13}$ Joule. Das entspricht etwa 11 Kilotonnen TNT, etwas weniger als die Sprengkraft der Hiroshima-Bombe. Insofern liegt der Roman physikalisch gar nicht so falsch.

Nur gibt es diese Menge nicht. Nach Angaben des CERN aus dem Jahr 2008 erzeugen seine Anlagen größenordnungsmäßig zehn Millionen Antiprotonen pro Sekunde. Um ein einziges Gramm Antiwasserstoff herzustellen, bräuchte man in diesem Tempo rund zwei Milliarden Jahre. Würde man alle Antimaterie, die am CERN je hergestellt wurde, auf einmal vernichten, reichte die Energie nach Angaben des Forschungszentrums gerade, um eine Glühbirne einige Minuten lang leuchten zu lassen [4]. Als Energiequelle oder Waffe ist Antimaterie damit auf absehbare Zeit völlig ungeeignet. Man steckt weit mehr Energie in die Herstellung, als man je herausbekommen könnte.

Antimaterie im Krankenhaus

Dafür gibt es eine ganz friedliche Anwendung, die täglich Leben rettet. Bei der Positronen-Emissions-Tomographie, kurz PET, bekommen Patienten eine leicht radioaktive Substanz gespritzt, meist eine Form von Traubenzucker, in die ein Fluor-Isotop eingebaut ist. Dieses Isotop zerfällt unter Aussendung eines Positrons. Das Positron kommt meist nicht einmal einen Millimeter weit, bevor es auf ein Elektron trifft, und die beiden zerstrahlen in zwei Photonen, die in genau entgegengesetzte Richtungen davonfliegen. Ein Ring aus Detektoren um den Patienten fängt beide auf und kann so zurückrechnen, wo im Körper der Zerfall stattfand.

Weil Tumore besonders viel Zucker verbrauchen, leuchten sie im PET-Bild hell auf. Ärzte nutzen das, um Krebs aufzuspüren, Therapien zu kontrollieren und Erkrankungen des Gehirns zu untersuchen. Antimaterie ist damit längst im Alltag angekommen, nur merken es die meisten nicht. Ein verwandtes Verfahren, das ohne Radioaktivität auskommt, ist die Kernspintomographie.

Fällt Antimaterie nach oben?

Eine Frage war lange erstaunlich offen. Die Theorie sagt eindeutig, dass Antimaterie genauso nach unten fällt wie gewöhnliche Materie. Gemessen hatte das aber niemand, weil es enorm schwierig ist. Die Schwerkraft ist so schwach, dass schon kleinste elektrische Felder sie überdecken, also muss man mit neutralen Antiatomen arbeiten, und die muss man erst einmal herstellen und festhalten, ohne dass sie die Wand berühren.

2023 gelang es dem ALPHA-Experiment am CERN. Die Forscher fingen Antiwasserstoff-Atome in einer senkrecht stehenden magnetischen Falle, schwächten das Feld oben und unten langsam ab und zählten, wo die Atome entwichen. Es kamen mehr unten heraus als oben. Antimaterie fällt also nach unten, und zwar, im Rahmen der noch recht großen Messgenauigkeit, genauso schnell wie Materie. Eine abstoßende „Antigravitation“ ist damit ausgeschlossen [5]. Ein Ergebnis, das niemanden überrascht hat und trotzdem wichtig war, denn in der Physik gilt nur, was gemessen ist.

Das eigentliche Rätsel

Damit sind wir bei der Frage, die Physiker wirklich nicht schlafen lässt. Nach allem, was wir wissen, behandeln die Naturgesetze Materie und Antimaterie fast völlig gleich. Beim Urknall hätten also gleich viele Teilchen und Antiteilchen entstehen müssen. Dann aber hätten sie sich gegenseitig vernichten müssen, und übrig geblieben wäre ein Universum voller Licht, ohne Sterne, Planeten oder Menschen.

Offensichtlich ist das nicht passiert. Irgendwann muss es einen winzigen Überschuss an Materie gegeben haben, nach gängigen Schätzungen etwa ein überzähliges Teilchen auf

eine Milliarde Paare. Aus diesem Rest besteht alles, was wir sehen. Woher die Asymmetrie kommt, ist eine der großen offenen Fragen der Physik. Es gibt kleine, bekannte Unterschiede im Verhalten von Teilchen und Antiteilchen, aber sie reichen bei Weitem nicht aus. Deshalb vermessen Experimente am CERN Antiwasserstoff so genau wie möglich, in der Hoffnung, irgendwo eine Abweichung zu finden. Bisher verhält sich Antimaterie verblüffend brav, und gerade deshalb bleibt sie eines der spannendsten Forschungsfelder überhaupt.

Zum Weiterlesen

QED. Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie

Richard P. Feynman · Piper, 2018 · ISBN 978-3-492-31316-2

Feynman erklärt anschaulich, wie Elektronen, Positronen und Photonen miteinander wechselwirken, und warum man ein Positron als Elektron betrachten kann, das rückwärts in der Zeit läuft.

Bei Amazon ansehen*

Eine kurze Geschichte der Zeit

Stephen Hawking · Klett-Cotta, 2025 · ISBN 978-3-608-98895-6

Für den großen Zusammenhang: Urknall, Teilchen, Antiteilchen und die Frage, wie aus dem Anfang des Universums die Welt wurde, in der wir leben.

Bei Amazon ansehen*

* Werbelink: Kaufen Sie über diesen Link, erhalten wir von Amazon eine kleine Provision, am Preis ändert sich für Sie nichts. Mehr Empfehlungen auf unserer Seite Bücher zur Quantenphysik.

Quellen

1. P. A. M. Dirac: *The Quantum Theory of the Electron.* In: Proceedings of the Royal Society of London A 117 (1928), S. 610–624, doi:10.1098/rspa.1928.0023.
2. C. D. Anderson: *The Positive Electron.* In: Physical Review 43 (1933), S. 491–494, doi:10.1103/PhysRev.43.491.
3. O. Chamberlain, E. Segrè, C. Wiegand, T. Ypsilantis: *Observation of Antiprotons.* In: Physical Review 100 (1955), S. 947–950, doi:10.1103/PhysRev.100.947.

4. CERN: *Angels and Demons – the science behind the story.* Archivseite, Stand 2008. public-archive.web.cern.ch.
5. E. K. Anderson u. a. (ALPHA Collaboration): *Observation of the effect of gravity on the motion of antimatter.* In: Nature 621 (2023), S. 716–722, doi:10.1038/s41586-023-06527-1.

Zitiervorschlag

```
quanten.de: Antimaterie. Stand: Oktober 2026. URL:
https://quanten.de/antimaterie.html (PDF:
https://quanten.de/pdf/antimaterie.pdf)
```

Texte und Abbildungen © 2026 quanten.de. Nutzung mit Quellenangabe und Link gern, kommerzielle Nutzung nach Absprache: info@quanten.de

Weiterlesen: Was ist ein Photon? · Das Higgs-Boson · Fermionen und Bosonen · Kernspintomographie