Was ist ein Photon?

QUANTENPHYSIK · TEILCHEN UND LICHT

Wenn Sie diesen Satz lesen, treffen gerade Photonen auf Ihre Netzhaut, je nach Helligkeit des Bildschirms grob geschätzt einige Billionen pro Sekunde. Jedes davon ist ein winziges, unteilbares Paket aus Licht. Es hat keine Masse, keine Ladung, es lässt sich nicht anhalten, und trotzdem trägt es Energie und Impuls. Es ist eines der merkwürdigsten Dinge, die die Physik kennt, und eines der alltäglichsten.

Was genau ein Photon ist, darüber haben Physiker mehr als zwanzig Jahre gestritten, bevor es überhaupt einen Namen bekam. Und eine der schönsten Fragen dazu ist erst vor wenigen Jahren angegangen worden: Kann ein Mensch ein einzelnes Photon sehen?

Licht in Portionen

Um 1900 galt Licht als geklärt. Es war eine elektromagnetische Welle, das hatten Experimente zu Beugung und Interferenz hundertfach gezeigt. Dann schlug Albert Einstein 1905 etwas vor, das selbst seinen Bewunderern zu weit ging. Licht, schrieb er, verhalte sich in manchen Situationen so, als bestehe es aus einzelnen Energiequanten, die nur als Ganzes erzeugt und absorbiert werden können [1]. Damit erklärte er den Fotoeffekt, bei dem Licht Elektronen aus einem Metall schlägt, und zwar so, dass es auf die Farbe des Lichts ankommt und nicht auf seine Helligkeit.

Wie viel Energie in so einer Portion steckt, hängt nur von der Frequenz ν ab, beziehungsweise von der Wellenlänge λ. Der Zusammenhang ist einer der kürzesten in der ganzen Physik:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \tag{1}$$

Dabei ist *h* das plancksche Wirkungsquantum, eine Naturkonstante, die Max Planck fünf Jahre vor Einstein eingeführt hatte, und *c* die Lichtgeschwindigkeit. Mehr braucht man nicht, um zu verstehen, warum ultraviolettes Licht einen Sonnenbrand verursacht und Radiowellen nicht.

Warum UV-Licht brennt und WLAN nicht

Rechnen wir Gleichung (1) für ein paar bekannte Strahlungsarten durch. In der Tabelle steht die Energie eines einzelnen Photons in Elektronenvolt, der Einheit, mit der man in der

Atomphysik misst. Ein Elektronenvolt ist die Energie, die ein Elektron gewinnt, wenn es eine Spannung von einem Volt durchläuft.

Strahlung	Frequenz	Wellenlänge	Energie pro Photon
UKW-Radio	100 MHz	3 m	0,000 000 4 eV
WLAN	2,4 GHz	12,5 cm	0,000 01 eV
rotes Licht	430 THz	700 nm	1,8 eV
grünes Licht	566 THz	530 nm	2,3 eV
UV-B (Sonnenbrand)	1000 THz	300 nm	4,1 eV
Röntgenstrahlung	$3 \cdot 10^{18}$ Hz	0,1 nm	12 400 eV

Eigene Berechnung nach Gleichung (1), gerundet.

Chemische Bindungen in Molekülen, auch in denen unserer Haut und unseres Erbguts, halten mit Energien von einigen Elektronenvolt zusammen. Ein UV-B-Photon bringt etwa vier Elektronenvolt mit, und das reicht, um einzelne Bindungen in der DNA zu verändern. Ein Photon aus dem WLAN-Router hat ungefähr vierhunderttausendmal weniger Energie. Es kann ein Molekül ein wenig zum Schwingen bringen, also erwärmen, aber keine Bindung aufbrechen, egal wie viele dieser Photonen ankommen. Viele schwache Portionen ergeben eben keine starke. Das ist genau die Lektion des Fotoeffekts, und sie erklärt, warum man beim Strahlenschutz so genau zwischen ionisierender und nichtionisierender Strahlung unterscheidet.

Umgekehrt sieht man an der Tabelle, wie viele Photonen im Alltag unterwegs sind. Ein grüner Laserpointer mit einem Milliwatt Leistung schickt pro Sekunde rund 2,7 Billiarden Photonen los. Dass Licht aus Portionen besteht, merkt man bei solchen Zahlen nicht, so wie man den einzelnen Sandkörnern in einer Sanduhr nicht ansieht, dass sie einzeln fallen.

Ein Teilchen, das einen Stoß austeilt

Einsteins Lichtquanten blieben fast zwei Jahrzehnte lang eine Minderheitenmeinung. Selbst Planck hielt sie für übertrieben, und Robert Millikan, der den Fotoeffekt genau vermessen und Einsteins Formel damit bestätigt hatte, glaubte nicht an die Deutung dahinter. Den Ausschlag gab 1923 der Amerikaner Arthur Compton. Er schoss Röntgenstrahlen auf Graphit und stellte fest, dass die gestreute Strahlung eine größere Wellenlänge hatte als die einfallende. Erklären ließ sich das nur, wenn man annahm, dass ein Lichtquant wie eine Billardkugel mit einem Elektron zusammenstößt und dabei Energie und Impuls abgibt [2]. Ein Teilchen also, das nicht nur Energie, sondern auch Schwung mitbringt. Compton bekam dafür 1927 den Nobelpreis.

Wie das Photon zu seinem Namen kam

Das Wort selbst stammt von jemandem, der es ganz anders gemeint hatte. Der amerikanische Chemiker Gilbert Lewis schrieb im Dezember 1926 einen Brief an die Zeitschrift Nature, in dem er für ein hypothetisches Teilchen den Namen „Photon“ vorschlug [3]. Lewis stellte sich darunter allerdings einen Träger von Strahlungsenergie vor, der weder erzeugt noch vernichtet werden kann, und nicht das, was Einstein Lichtquant genannt hatte [4]. Diese Idee hat sich als falsch erwiesen, denn Photonen entstehen und verschwinden ständig, jedes Mal, wenn eine Lampe angeht oder Licht in Ihrem Auge absorbiert wird. Der Name aber war griffig und setzte sich durch, ein Jahr später wurde er auf der Solvay-Konferenz schon selbstverständlich verwendet.

Welle oder Teilchen?

Hier muss man ehrlich sein: Das Photon ist kein winziges Kügelchen, das irgendwo im Raum herumfliegt. Schickt man einzelne Photonen nacheinander durch einen Doppelspalt, landet jedes an einer bestimmten Stelle auf dem Schirm, wie ein Teilchen. Nach Tausenden Photonen aber zeigt sich ein Streifenmuster, das nur eine Welle erzeugen kann, die durch beide Spalte zugleich gegangen ist. Ein Photon hat keinen festen Ort, bis es irgendwo registriert wird. Die Quantenphysik beschreibt es als Anregung des elektromagnetischen Feldes, und je nachdem, wie man misst, zeigt sich die eine oder die andere Seite. Mehr dazu steht in unserem Artikel über den Welle-Teilchen-Dualismus.

Kann man ein einzelnes Photon sehen?

Unser Auge ist ein erstaunlich guter Lichtdetektor. Schon 1942 zeigten Selig Hecht und seine Kollegen in einem berühmten Experiment, dass gut an die Dunkelheit gewöhnte Versuchspersonen einen Lichtblitz wahrnehmen, wenn in ihrer Netzhaut nur etwa fünf bis vierzehn Photonen absorbiert werden [5]. Die Stäbchen, die Sehzellen für das Dämmerungssehen, reagieren dabei schon auf ein einzelnes Photon. Ob das Gehirn so ein einzelnes Signal aber auch bemerkt, blieb lange offen, weil man keine Lichtquelle hatte, die verlässlich genau ein Photon liefert.

2016 versuchte es eine Gruppe um Alipasha Vaziri, damals in Wien, mit genau so einer Quelle aus der Quantenoptik. In jedem Durchgang hörten die Versuchspersonen zwei Signaltöne, und nur während eines der beiden kam ein Photon. Sie sollten sagen, bei welchem. Bei den 2420 Durchgängen mit Photon lagen sie in 51,6 Prozent der Fälle richtig, knapp über dem Raten, und nach Ansicht der Forscher statistisch bedeutsam [6]. Andere Physiker halten die Datenlage für zu dünn, um daraus zu schließen, dass Menschen einzelne Photonen sehen können [7]. Die Frage ist also noch nicht endgültig beantwortet, und das ist ja auch etwas Schönes. Ein Experiment, das man im Prinzip an sich selbst machen kann, und an dessen Ausgang sich die Fachwelt noch reibt.

Wo Photonen heute arbeiten

Dass Licht aus einzelnen Quanten besteht, ist keine akademische Spitzfindigkeit, ganze Industrien beruhen darauf. Solarzellen wandeln die Energie einzelner Photonen in elektrischen Strom um, Digitalkameras zählen sie Pixel für Pixel, und im Laser sorgt die stimulierte Emission dafür, dass Milliarden Photonen im Gleichschritt schwingen. In der Quantenkommunikation schließlich nutzt man einzelne Photonen als Träger von Information, die sich nicht unbemerkt abhören lässt, ein Prinzip, das wir im Artikel über Quantenkryptographie erklären.

Zum Weiterlesen

QED. Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie

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

Feynman erklärt in vier Vorlesungen für Laien, wie Photonen sich bewegen, spiegeln und brechen, und warum man dabei mit kleinen Pfeilen rechnen muss. Das beste Buch über Licht, das es gibt.

Bei Amazon ansehen*

Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper

`Wolfgang Demtröder · Springer Spektrum · ISBN 978-3-662-49093-8`

Für Studierende: Fotoeffekt, Compton-Streuung und Photonenstatistik mit allen Rechnungen und Versuchsaufbauten.

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. A. Einstein: *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt.* In: Annalen der Physik 322 (1905), S. 132–148, doi:10.1002/andp.19053220607.
2. A. H. Compton: *A Quantum Theory of the Scattering of X-rays by Light Elements.* In: Physical Review 21 (1923), S. 483–502, doi:10.1103/PhysRev.21.483.

3. G. N. Lewis: *The Conservation of Photons.* In: Nature 118 (1926), S. 874–875, doi:10.1038/118874a0.
4. American Physical Society: *December 18, 1926: Gilbert Lewis coins „photon“ in letter to Nature.* APS News, Dezember 2012. aps.org.
5. S. Hecht, S. Shlaer, M. H. Pirenne: *Energy, Quanta, and Vision.* In: Journal of General Physiology 25 (1942), S. 819–840, doi:10.1085/jgp.25.6.819.
6. J. N. Tinsley u. a.: *Direct detection of a single photon by humans.* In: Nature Communications 7 (2016), 12172, doi:10.1038/ncomms12172.
7. MIT Technology Review: *The thorny question of whether humans can observe single photons.* 8. August 2017. technologyreview.com.

Zitiervorschlag

```
quanten.de: Was ist ein Photon?. Stand: Oktober 2026. URL:
https://quanten.de/photon.html (PDF:
https://quanten.de/pdf/photon.pdf)
```

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

Weiterlesen: Der Fotoeffekt · Welle-Teilchen-Dualismus · Der Laser · Max Planck

Online-Fassung mit aktualisierten Quellen: https://quanten.de/photon.html