Wie funktioniert ein Laser?

QUANTENTECHNOLOGIE · LICHT

Am 16. Mai 1960 schaltete Theodore Maiman in den Hughes Research Laboratories in Malibu eine Blitzlampe ein, die spiralförmig um einen kleinen Rubinstab gewickelt war. Aus dem Stab kam ein kurzer, tiefroter Lichtblitz, schärfer gebündelt und reiner in der Farbe als alles, was je eine Lampe erzeugt hatte [1]. Es war der erste Laser der Welt. Seine Arbeit dazu passte auf eine Seite [2].

Damals nannte man den Laser spöttisch eine Lösung, die ein Problem sucht. Heute steckt er im Scanner an der Supermarktkasse, im Glasfaserkabel, das diesen Text zu Ihnen gebracht hat, im Augenlaser und in der Fabrik, die Autobleche schneidet. Und er funktioniert nur, weil Licht und Atome den Regeln der Quantenphysik folgen.

Was in einem Laser passiert

Das Wort Laser ist eine Abkürzung, und sie verrät schon das Wichtigste: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung. Den Kernbegriff hat Albert Einstein 1917 eingeführt, mehr als vierzig Jahre bevor jemand einen Laser baute [3].

Ein Atom kann Licht auf drei Arten mit seiner Umgebung austauschen. Es kann ein Photon schlucken und dabei auf eine höhere Energiestufe springen, das nennt man Absorption. Es kann von dort von selbst zurückfallen und ein Photon in irgendeine Richtung aussenden, die spontane Emission, so leuchtet jede Glühbirne und jede Leuchtstoffröhre. Einstein erkannte, dass es eine dritte Möglichkeit geben muss: Trifft ein Photon passender Energie auf ein Atom, das sich schon im angeregten Zustand befindet, kann es dieses dazu bringen, ein zweites Photon auszusenden. Das neue Photon ist eine exakte Kopie des ersten, mit derselben Energie, derselben Richtung, im selben Takt. Aus einem Photon werden zwei, aus zwei vier, und so weiter.

Damit diese Kettenreaktion in Gang kommt, braucht man einen Zustand, den es in der Natur fast nie gibt: Es müssen mehr Atome angeregt sein als im Grundzustand. Sonst schlucken die unangeregten Atome mehr Photonen, als die angeregten neu erzeugen. Physiker nennen diesen Zustand Besetzungsumkehr. Man erreicht ihn mit einem Trick, den Abb. 1 zeigt: Eine Energiequelle, etwa eine Blitzlampe oder ein elektrischer Strom, „pumpt“ die Atome auf eine hohe Stufe. Von dort fallen sie schnell auf eine etwas tiefere Stufe, auf der sie ungewöhnlich lange verweilen. Dort stauen sie sich, bis oben mehr Atome sitzen als unten.

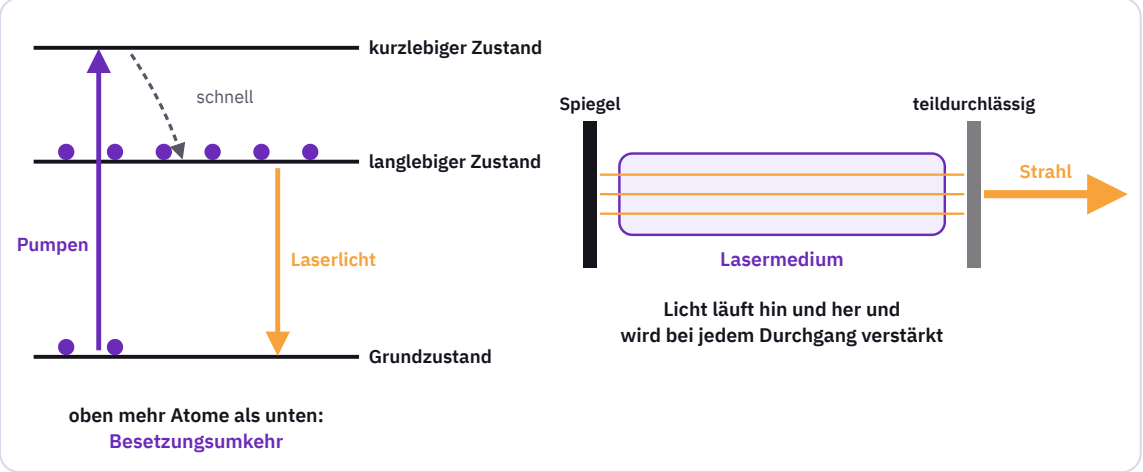


Abb. 1: Links: Energieschema eines Dreiniveau-Lasers wie des Rubinlasers. Rechts: Der Resonator aus zwei Spiegeln. Eigene schematische Darstellung.

Der zweite Baustein ist der Resonator, zwei Spiegel an den Enden des Lasermediums. Das Licht läuft zwischen ihnen hunderte Male hin und her und wird bei jedem Durchgang weiter verstärkt. Einer der Spiegel lässt einen kleinen Teil durch, und das ist der Laserstrahl. Weil nur Licht verstärkt wird, das genau entlang der Achse läuft, ist der Strahl so scharf gebündelt. Weil alle Photonen Kopien voneinander sind, hat er eine einzige, reine Farbe und schwingt im Gleichtakt. Physiker nennen diese Eigenschaft Kohärenz.

Von der Mikrowelle zum Licht

Der erste Apparat nach diesem Prinzip arbeitete nicht mit Licht, sondern mit Mikrowellen. Charles Townes baute ihn 1954 mit James Gordon und Herbert Zeiger an der Columbia University, aus Ammoniakmolekülen, und nannte ihn Maser [4]. 1958 beschrieben Townes und sein Schwager Arthur Schawlow, wie man das Prinzip auf sichtbares Licht übertragen könnte, und schlugen dafür genau den Resonator aus zwei Spiegeln vor [5]. Zahlreiche Labore lieferten sich daraufhin ein Wettrennen, das Maiman mit seinem Rubinkristall gewann.

Rubin ist Aluminiumoxid, in dem einige Aluminium- durch Chromatome ersetzt sind, und genau diese Chromatome bilden das Dreiniveausystem aus Abb. 1. Die Blitzlampe pumpt sie mit grünem und blauem Licht nach oben, und beim Sprung zurück in den Grundzustand entsteht rotes Licht mit 694 Nanometern Wellenlänge. Townes bekam 1964 gemeinsam mit den sowjetischen Physikern Nikolai Basow und Alexander Prochorow, die unabhängig ähnliche Ideen entwickelt hatten, den Physik-Nobelpreis [6].

Der Laser im Alltag

Die meisten Laser, die uns heute umgeben, sind keine Kristallstäbe mehr, sondern winzige Halbleiterchips. In einer Laserdiode fließt ein Strom durch eine Grenzschicht zwischen zwei unterschiedlich dotierten Halbleitern, ähnlich wie in einer Solarzelle, nur in

umgekehrter Richtung. Die Elektronen fallen in energieärmere Zustände und senden dabei Photonen aus, die durch stimulierte Emission verstärkt werden. Solche Laser sind nur Bruchteile eines Millimeters groß und sitzen in Barcodescannern, Laserdruckern, Lichtschranken, Gesichtserkennungssensoren von Smartphones und am Anfang jeder Glasfaserverbindung.

Am anderen Ende der Skala stehen Laser, die Stahlbleche schneiden, Hornhäute formen oder in der Forschung Lichtblitze von wenigen Femtosekunden erzeugen. Gérard Mourou und Donna Strickland bekamen 2018 einen Nobelpreis für ein Verfahren, mit dem sich solche ultrakurzen Pulse auf enorme Leistungen verstärken lassen, Arthur Ashkin im selben Jahr für die optische Pinzette, die mit Laserlicht einzelne Zellen und Moleküle festhält [7]. Und auch die genauesten Uhren der Welt, die optischen Atomuhren, ticken im Takt von Laserlicht.

Ein Wort zur Vorsicht, weil es gerade bei Schülern immer wieder vorkommt: Gerade weil Laserlicht so gebündelt ist, kann es im Auge auf einen winzigen Punkt der Netzhaut fokussiert werden. Laserpointer der Klasse 2, die im Handel für Präsentationen erlaubt sind, haben höchstens ein Milliwatt Leistung, und der natürliche Lidschlussreflex schützt bei kurzem Hineinsehen [8]. Stärkere Geräte, die im Internet oft falsch gekennzeichnet verkauft werden, können dagegen bleibende Schäden verursachen. Nie in den Strahl blicken und nie auf Menschen oder Flugzeuge richten.

Zum Weiterlesen

QED. Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie

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

Wie Photonen und Atome miteinander umgehen, die Grundlage jedes Lasers, erklärt ohne Formeln.

Bei Amazon ansehen*

Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper

Wolfgang Demtröder · Springer, 2016 · ISBN 978-3-662-49093-8

Mit einem ausführlichen Kapitel zu Lasern, Einstein-Koeffizienten und Laserspektroskopie, für Studium und Leistungskurs.

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. IEEE: *Milestones: First Working Laser, 1960.* Engineering and Technology History Wiki. ethw.org.
2. T. H. Maiman: *Stimulated Optical Radiation in Ruby.* In: Nature 187 (1960), S. 493–494, doi:10.1038/187493a0.
3. A. Einstein: *Zur Quantentheorie der Strahlung.* In: Physikalische Zeitschrift 18 (1917), S. 121–128.
4. J. P. Gordon, H. J. Zeiger, C. H. Townes: *Molecular Microwave Oscillator and New Hyperfine Structure in the Microwave Spectrum of NH_3.* In: Physical Review 95 (1954), S. 282–284, doi:10.1103/PhysRev.95.282.
5. A. L. Schawlow, C. H. Townes: *Infrared and Optical Masers.* In: Physical Review 112 (1958), S. 1940–1949, doi:10.1103/PhysRev.112.1940.
6. Nobel Prize Outreach: *The Nobel Prize in Physics 1964.* nobelprize.org/prizes/physics/1964/summary.
7. Nobel Prize Outreach: *The Nobel Prize in Physics 2018.* nobelprize.org/prizes/physics/2018/summary.
8. *DIN EN 60825-1: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen.* Beuth Verlag, Berlin.

Zitiervorschlag

```
quanten.de: Wie funktioniert ein Laser?. Stand: Oktober 2026.
URL: https://quanten.de/laser.html (PDF:
https://quanten.de/pdf/laser.pdf)
```


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

Weiterlesen: Atomuhren und die neue Sekunde · Der Fotoeffekt · Fermionen und Bosonen · Fotovoltaik

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