Albert Einstein und die Quanten

QUANTENPHYSIK · GESCHICHTE UND PERSONEN

Es gibt ein Bild von Albert Einstein, das sich hartnäckig hält: der geniale Erfinder der Relativitätstheorie, der mit der Quantenphysik nie etwas anfangen konnte und sich an ihr bis zum Lebensende die Zähne ausbiss. Daran ist etwas Wahres, aber es ist nur die halbe Geschichte. Die andere Hälfte lautet, dass kaum jemand die Quantenphysik so früh und so entschlossen vorangetrieben hat wie Einstein selbst.

Seinen Nobelpreis bekam er nicht für die Relativitätstheorie, sondern ausdrücklich „für seine Verdienste um die theoretische Physik und besonders für seine Entdeckung des Gesetzes des photoelektrischen Effekts“ [7]. Und das Gesetz, das ihm diesen Preis einbrachte, war eine Quantenidee, die damals fast niemand ernst nahm.

Der junge Revolutionär

1905 war Einstein 26 Jahre alt und arbeitete als technischer Experte am Patentamt in Bern. In diesem Jahr veröffentlichte er die spezielle Relativitätstheorie, eine Arbeit über die Brownsche Bewegung und eine über das Licht. Nur die über das Licht hielt er selbst für wirklich revolutionär [8]. Er schlug darin vor, dass Licht in manchen Situationen so wirkt, als bestehe es aus einzelnen Energiequanten, die nur als Ganzes erzeugt und verschluckt werden können [1].

Das war kühner, als es heute klingt. Max Planck hatte fünf Jahre zuvor zwar Energieportionen eingeführt, aber nur als Rechenhilfe für die Wände eines heißen Hohlraums. Dass das Licht selbst gequantelt sein sollte, hielt Planck für übertrieben, und als er Einstein 1913 für die Preußische Akademie empfahl, baten er und seine Mitunterzeichner im Wahlvorschlag sinngemäß um Nachsicht dafür, dass Einstein mit seiner Hypothese der Lichtquanten wohl das Ziel verfehlt habe [8]. Erst die Versuche zum Fotoeffekt und Arthur Comptons Streuexperimente von 1923 überzeugten die Fachwelt. Mehr darüber steht in unserem Artikel Was ist ein Photon?

Fünf Beiträge, die blieben

Die Lichtquanten waren nur der Anfang. In den folgenden zwanzig Jahren hat Einstein die Quantentheorie an mehreren Stellen entscheidend weitergebracht, und einige dieser Arbeiten wirken bis in heutige Technik hinein.

Jahr	Thema	Was daraus folgte
1905	Lichtquanten	Licht wird in Portionen aufgenommen und abgegeben; Erklärung des Fotoeffekts [1]
1907	Spezifische Wärme fester Körper	Auch die Schwingungen in Kristallen sind gequantelt; erklärt, warum Festkörper bei Kälte kaum noch Wärme aufnehmen [2]
1917	Stimulierte Emission	Licht kann ein angeregtes Atom dazu bringen, ein identisches Photon auszusenden; Grundlage des Lasers [3]
1924/25	Bose-Einstein-Statistik	Vorhersage eines neuen Materiezustands bei tiefsten Temperaturen [4],[5]
1935	EPR-Argument	Gedankenexperiment, das auf die Verschränkung hinweist [6]

Besonders weitsichtig war die Arbeit von 1917. Einstein überlegte, wie Atome und Licht im Gleichgewicht miteinander Energie austauschen, und stellte fest, dass es neben dem Schlucken und dem spontanen Aussenden von Licht einen dritten Vorgang geben muss. Ein Photon kann ein angeregtes Atom dazu anstoßen, ein zweites, völlig gleiches Photon abzugeben [3]. Diese stimulierte Emission blieb jahrzehntelang eine theoretische Feinheit, bis man 1960 den ersten Laser baute. Jeder Barcodescanner und jede Glasfaserleitung beruht auf ihr.

Ähnlich lange dauerte es bei der Bose-Einstein-Statistik. 1924 schickte ihm der junge indische Physiker Satyendranath Bose eine Arbeit, in der er Plancks Strahlungsgesetz auf neue Weise herleitete. Einstein übersetzte sie selbst ins Deutsche, sorgte für ihre Veröffentlichung [4] und übertrug die Idee auf Atome. Dabei sagte er voraus, dass sehr viele Atome bei extrem tiefen Temperaturen in denselben Quantenzustand fallen und sich wie ein einziges Riesenatom verhalten müssten [5]. Nachgewiesen wurde dieses Bose-Einstein-Kondensat erst 1995 in Boulder, mit einer Wolke aus Rubidiumatomen, die auf weniger als ein millionstel Grad über dem absoluten Nullpunkt gekühlt war [9]. Warum sich manche Teilchen so verhalten und andere nicht, erklärt unser Artikel über Fermionen und Bosonen.

Der Bruch

Dann kam 1925 und 1926 die neue Quantenmechanik von Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Max Born und anderen. Sie war mathematisch elegant und erklärte die Atome glänzend. Doch sie hatte eine Eigenschaft, mit der Einstein sich nie abfinden wollte. Sie

sagt nicht voraus, was bei einer einzelnen Messung herauskommt, sondern nur, mit welcher Wahrscheinlichkeit. Der Zufall ist in ihr keine Folge unseres Unwissens, sondern grundsätzlich.

Am 4. Dezember 1926 schrieb Einstein an seinen Freund Max Born die Sätze, die bis heute zitiert werden. Die Quantenmechanik sei „sehr achtunggebietend. Aber eine innere Stimme sagt mir, dass das noch nicht der wahre Jakob ist." Die Theorie liefere viel, aber dem „Geheimnis des Alten" bringe sie uns kaum näher. „Jedenfalls bin ich überzeugt, dass der nicht würfelt." [10] Aus diesem Brief wurde später der verkürzte Satz „Gott würfelt nicht".

Man sollte das nicht als Sturheit eines älter werdenden Mannes abtun. Einstein bestritt nicht, dass die Quantenmechanik richtig rechnet. Er bezweifelte, dass sie vollständig ist, dass sie also alles beschreibt, was es in der Natur gibt. Auf den Solvay-Konferenzen 1927 und 1930 lieferte er sich darüber mit Niels Bohr eine Reihe berühmter Streitgespräche, in denen er immer neue Gedankenexperimente vorlegte und Bohr sie immer wieder entkräftete.

Die spukhafte Fernwirkung

Sein schärfstes Argument formulierte Einstein 1935 in Princeton, zusammen mit Boris Podolsky und Nathan Rosen [6]. Sie betrachteten zwei Teilchen, die miteinander in Wechselwirkung waren und dann weit auseinanderfliegen. Nach der Quantenmechanik kann man durch eine Messung am einen Teilchen sofort wissen, was man am anderen messen wird, ohne es zu berühren. Für Einstein hieß das: Entweder hat das zweite Teilchen seine Eigenschaft schon vorher besessen, dann ist die Quantenmechanik unvollständig, oder die Messung hier wirkt augenblicklich auf das Teilchen dort, und das widersprach allem, was er über Raum und Zeit wusste. In einem Brief an Born von 1947 nannte er so etwas eine „spukhafte Fernwirkung" [11].

Die Ironie der Geschichte ist, dass Einstein mit diesem Argument, das die Quantenmechanik widerlegen sollte, auf ihre vielleicht wichtigste Eigenschaft gestoßen war: die Verschränkung. Ob die Natur ihm recht gibt, ließ sich zu seinen Lebzeiten nicht entscheiden. Erst der nordirische Physiker John Bell zeigte 1964, wie man die Frage im Experiment prüfen kann, und die Versuche fielen gegen Einsteins Erwartung aus. Wie das funktioniert, erklären wir im Artikel über die Bellsche Ungleichung.

Was von seinem Zweifel bleibt

Einstein starb am 18. April 1955 in Princeton [7]. Bis zuletzt suchte er nach einer Theorie, die tiefer liegt als die Quantenmechanik. Gefunden hat er sie nicht, und nach allem, was man heute weiß, gibt es sie in der Form, die er sich wünschte, nicht. Und doch hat sein Widerspruch der Physik mehr genützt als mancher Beifall. Ohne seine hartnäckigen Fragen hätte man die Verschränkung womöglich viel später verstanden, und ohne die

Verschränkung gäbe es heute keine Quantenkryptographie und keine Quantencomputer. Einstein ist damit beides: einer der Väter der Quantenphysik und ihr wichtigster Kritiker.

Zum Weiterlesen

Quanten. Einstein, Bohr und die große Debatte über das Wesen der Wirklichkeit

Manjit Kumar · Berlin Verlag · ISBN 978-3-8270-1019-3

Die spannendste Darstellung von Einsteins Weg vom Lichtquant bis zum Streit mit Bohr. Gründlich recherchiert und erzählt wie ein Roman.

Bei Amazon ansehen*

Einsteins Spuk. Teleportation und weitere Mysterien der Quantenphysik

Anton Zeilinger · Pantheon, 2024 · ISBN 978-3-570-55502-6

Was aus Einsteins „spukhafter Fernwirkung“ geworden ist, erzählt vom Nobelpreisträger, der sie im Labor nachgewiesen hat.

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. Einstein: *Die Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme.* In: Annalen der Physik 327 (1907), S. 180–190, doi:10.1002/andp.19063270110.
3. A. Einstein: *Zur Quantentheorie der Strahlung.* In: Physikalische Zeitschrift 18 (1917), S. 121–128.
4. S. N. Bose: *Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese.* In: Zeitschrift für Physik 26 (1924), S. 178–181, doi:10.1007/BF01327326.

5. A. Einstein: *Quantentheorie des einatomigen idealen Gases.* In: Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-mathematische Klasse, 1924, S. 261–267, und 1925, S. 3–14.
6. A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen: *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?* In: Physical Review 47 (1935), S. 777–780, doi:10.1103/PhysRev.47.777.
7. Nobel Prize Outreach: *Albert Einstein – Facts.* nobelprize.org.
8. N. Straumann: *Einstein's Contributions to Quantum Theory.* Vortrag beim Hadron Collider Physics Symposium 2005. arXiv:hep-ph/0508131.
9. M. H. Anderson, J. R. Ensher, M. R. Matthews, C. E. Wieman, E. A. Cornell: *Observation of Bose-Einstein Condensation in a Dilute Atomic Vapor.* In: Science 269 (1995), S. 198–201, doi:10.1126/science.269.5221.198.
10. G. Musser: *Kosmische Würfelspiele.* Spektrum der Wissenschaft, 21. Oktober 2015 (mit Zitaten aus Einsteins Brief an Max Born vom 4. Dezember 1926). spektrum.de.
11. A. Einstein, H. Born, M. Born: *Briefwechsel 1916–1955.* Kommentiert von Max Born. Nymphenburger Verlagshandlung, München 1969 (Brief Einsteins an Born vom März 1947).

Zitiervorschlag

```
quanten.de: Albert Einstein und die Quanten. Stand: Oktober 2026. URL: https://quanten.de/albert_einstein.html (PDF: https://quanten.de/pdf/albert_einstein.pdf)
```

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

Weiterlesen: Max Planck · Niels Bohr · Der Fotoeffekt · Quantenverschränkung

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