

# Teilchenbillard, auf Film gebannt

Eines der stärksten Argumente für die Quantennatur des Lichts lieferte Mitte der 1920er-Jahre **Walther Bothe**, von 1933 an Direktor des Instituts für Physik am Heidelberger **Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Institut für medizinische Forschung**. Zusammen mit Hans Geiger hatte er eine Methode entwickelt, um Teilchenprozesse zeitlich exakt zu erfassen. Auch heute noch ist diese Koinzidenzmessung eine Universalmethode in der Physik.

TEXT **ELKE MAIER**

Welle oder Teilchen – oder beides zugleich? Über das Wesen des Lichts hatten sich schon viele Wissenschaftler den Kopf zerbrochen, als sich 1924 zwei Physiker daranmachten, die Eigenschaften von Streustrahlung zu erforschen. Mit einer ausgeklügelten Versuchsanordnung untermauerten Walther Bothe und Hans Geiger die Quantentheorie – und erfanden eine universelle Methode zur Erforschung von Teilchenprozessen. Bothe ging für die Entwicklung dieser Koinzidenzmethode 1954 als Nobelpreisträger in die Geschichte ein. Geiger lebte zu diesem Zeitpunkt bereits nicht mehr. Ihn machten seine Instrumente zur Messung von Radioaktivität unsterblich.

Walther Bothe kam am 8. Januar 1891 in Oranienburg nördlich von Berlin zur Welt. Der Hang zu präzisen Messapparaturen wurde ihm wohl schon in die Wiege gelegt – sein Vater war Uhrmachermeister. Zu den Naturwissenschaften gelangte der junge Bothe aber erst über den Umweg einer abgebrochenen Banklehre. Nach dem Studium der Mathematik, Physik und Chemie an der Berliner Universität bewarb er sich um eine Promotion bei Max Planck – der dafür bekannt war, seine Schüler kritisch auszuwählen.

Doch Bothe hatte Glück: „An welches Thema hatten Sie denn gedacht?“, wollte Planck wissen. Bothe nannte ein theoretisches aus der Optik. „Ja, das könnten Sie versuchen“, lautete die Ant-

wort. Drei Monate später lieferte der fleißige Doktorand Ergebnisse. „Aber es reicht noch nicht“, sagte Planck. Und nach weiteren drei Monaten: „Gut, jetzt können Sie zusammenschreiben.“

Nach dieser Schulung im selbstständigen wissenschaftlichen Arbeiten kam Walther Bothe an das neue Laboratorium für Radioaktivität der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg. Der dortige Leiter, Hans Geiger, hatte in England mit Ernest Rutherford zusammengearbeitet. Damit hatte er sein Handwerk bei einer der größten Kapazitäten auf dem Gebiet der Radioaktivitätsforschung erlernt. Walter Bothe sah in dem rund acht Jahre älteren Geiger seinen wissenschaftlichen Mentor. Zusammen mit ihm feierte er 1925 seinen ersten großen Forschungserfolg.

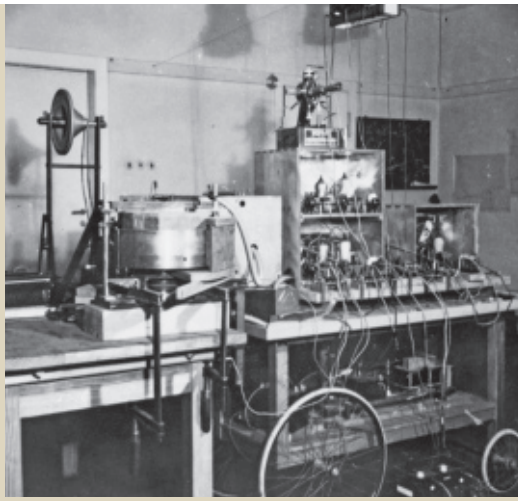
Ausgangspunkt waren Versuche des Amerikaners Arthur Holly Compton, der Kristalle mit harten Röntgenstrahlen beschossen hatte. Dabei fand er heraus, dass ein Röntgenquant, das auf ein Elektron der Atomhülle trifft, diesem Elektron einen Teil seiner Energie überträgt, um daraufhin den Ort des Geschehens als energieärmeres Streulicht zu verlassen. Gleichzeitig wird bei der Kollision ein Rückstoßelektron ausgesandt, das die Atomhülle in einem exakt vorherbestimmten Winkel verlässt – ähnlich einer Billardkugel, die an die Bande gespielt wird und beim Abprall eine genau festgelegte Richtung einschlägt.

An diesem Compton-Effekt schieden sich die Geister. Nach Ansicht von Albert Einstein und Arthur Holly Compton sollte die Zahl der Lichtquanten exakt der Zahl der Rückstoßelektronen entsprechen. Folglich müssten in dem System auch Energie und Impuls erhalten bleiben. Niels Bohr und seine Mitarbeiter Hendrik A. Kramers und John Slater sahen das anders. Im Februar 1924 reichten sie bei der ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK eine Theorie ein, wonach die Zahl der gestreuten Lichtquanten und Rückstoßelektronen lediglich im Mittel übereinstimmen sollte, nicht aber im atomaren Einzelprozess.

Mit ihrer Hypothese wollten die Forscher um Bohr einen Ausweg aus dem Welle-Teilchen-Dilemma liefern. Dafür stellten sie die Allgemeingültigkeit des Energiesatzes infrage – und rüttelten so an den Grundfesten der Physik. Wolfgang Pauli, ein entschiedener Gegner der Theorie, titulierte die aufrührerischen Thesen als „Kopenhagener Putsch“.

Sie bescherten der Physik eine Universalmethode zur Erforschung von Teilchenprozessen: Walther Bothe (links) und Hans Geiger.





Mit ausgeklügelten Experimenten spürte Walther Bothe der Quantennatur des Lichts nach. Das Bild zeigt eine Messapparatur in seinem Labor aus dem Jahr 1939.

Der Wissenschaftsdisput beschäftigte auch Bothe und Geiger. Kurz nachdem Bohr und seine Kollegen ihre Theorie publiziert hatten, kündigten sie in derselben Zeitschrift ein Experiment an, das die Ordnung wiederherstellen sollte. Dazu hatten sie eine raffinierte Messapparatur erdacht, die aus zwei sich gegenüberstehenden Spitzenzählern bestand. Durch den Spalt zwischen diesen Zählern wurde ein Röntgenstrahl geschickt. Während der eine Zähler nur auf die Lichtquanten ansprach, registrierte der andere ausschließlich die Rückstoßelektronen. Die Ausschläge von „Lichtzähler“ und „Elektronenzähler“ wurden auf einem Bromsilberfilm registriert, der sich – motorgetrieben – mit hoher Geschwindigkeit an den Zählern vorbeibewegte. Feine Streifen auf dem Film ermöglichten es, das Auftreffen der Teilchen zeitlich exakt zu erfassen.

Sollten Lichtquant und Rückstoßelektron gleichzeitig aufeinander und ihr gemeinsamer Aufprall somit als Koinzidenz messbar sein, so die Autoren, dann sei die Teilchennatur des Lichts bestätigt und gleichzeitig der Energiesatz auch auf atomarer Ebene gesichert. Reagierten die beiden Zähler hingegen zeitversetzt, so spreche das gegen die Teilchennatur und die strenge Gültigkeit des Energiesatzes – und gebe somit den Aufrührern in Dänemark recht.

#### RHEIN-NECKAR-ZEITUNG VOM 8. JANUAR 1991



Bothe war ein strenger Chef mit oft lautstarker Kritik. Aber seine Mitarbeiter wußten, daß er immer bereit war, sich für sie einzusetzen. In seiner Freizeit spielte er ausgezeichnet Klavier, besonders gern Bach. Das verband ihn mit prominenten Musikern Heidelbergs bis in die 50er Jahre. Sein gastliches Haus ist vielen alten Heidelbergern noch heute in Erinnerung.«

Das Experiment erwies sich als mühsam und zeitraubend. Um statistisch gesicherte Ergebnisse zu erhalten, mussten die beiden Forscher mehr als drei Kilometer der nur 1,5 Zentimeter breiten Filmstreifen entwickeln, trocknen und auswerten – neben all ihren anderen Tätigkeiten am Institut. So dauerte es fast ein Jahr, bis die Resultate schließlich vorlagen. Und die Entscheidung brachten: Mit einer Genauigkeit von einer zehntausendstel Sekunde sprachen „Lichtzähler“ und „Elektronenzähler“ gleichzeitig an.

Der Kopenhagener Theorie war damit der Boden entzogen. Die Experimentatoren indes gaben sich bescheiden: „Man muß daher doch wohl annehmen, daß der Begriff des Lichtquants einen höheren Wirklichkeitsgehalt besitzt, als in dieser Theorie angenommen wird“, kommentierten sie ihre Ergebnisse. Tatsächlich hatten Walther Bothe und Hans Geiger eines der stärksten Argumente für Einsteins Lichtquanten geliefert.

Compton bewertete das Experiment als „brilliantly performed“. „Die Physik war vor einem Irrweg bewahrt“, erklärte der Physiker Max von Laue später. Wolfgang Pauli konnte sich den Spott nicht verkneifen. Er empfahl dem Institut in Kopenhagen,

stets am „Jahrestag des Erscheinens der Arbeit von Bohr, Kramers und Slater auf Halbmast zu flaggen“.

Hans Geiger trat noch im Jahr 1925 eine Stelle in Kiel an, wo er zusammen mit seinem Doktoranden Walther Müller das Geiger-Müller-Zählrohr entwickelte. Dieser „Geigerzähler“ machte ihn weltberühmt. Walther Bothe übernahm seine Nachfolge an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und veröffentlichte in den folgenden Jahren noch weitere Experimente, in denen er die Koinzidenzmethode anwandte. So studierte er etwa gemeinsam mit dem Physiker Werner Kohlhörster die kosmische Strahlung, die der Österreicher Victor Franz Hess am 7. August 1912 während einer Ballonfahrt entdeckt hatte. Für ihre Messungen begaben sich die beiden Forscher sowohl auf den Dachboden des Berliner Instituts als auch auf eine Seereise bis zur Packeisgrenze bei Spitzbergen.

Dabei konnten sie nachweisen, dass es sich bei der mysteriösen Strahlung aus dem All nicht, wie bis dahin angenommen, um eine kurzweilige Gammastrahlung handelt, sondern vielmehr um einen Strom von geladenen Teilchen. Bothe und Kohlhörster maßten Koinzidenzen – selbst dann noch, wenn sie eine dicke Bleischicht zwischen die Zähler brachten. Zu Recht folgerten sie, die Strahlung müsse einen ungeheuren Energiegehalt von mehr als 1000 Millionen Elektronvolt haben – tausendmal mehr, als man aus der Kernphysik kannte.

Nach der Aufgabe seines Ordinariats an der Universität Heidelberg übernahm Bothe 1934 am Kaiser-Wilhelm-Institut für medizinische Forschung die Leitung des physikalischen Teilinstituts. Dort arbeitete er überwiegend an Problemen der kontrollierten Kernspaltungs-Kettenreaktion und an der Errichtung des ersten deutschen Zyklotrons in Heidelberg, das als kriegswichtig eingestuft wurde. Die Zeit des Nationalsozialismus war für das Institut ein dramatischer Bruch, wobei sich die Hoffnungen des Heereswaffenamts, Bothes Forschungen könnten kriegswichtig sein, durch den Zusammenbruch des NS-Regimes erledigten.

Im Jahr 1954 erhielt Walther Bothe – mittlerweile Direktor des Instituts für Physik am Heidelberger Max-Planck-Institut für medizinische Forschung – den Nobelpreis für Physik, und zwar „für die Koinzidenzmethode und seine damit gemachten Entdeckungen“. Hätte Hans Geiger zu diesem Zeitpunkt noch gelebt, so wäre den beiden die Ehre wohl gemeinsam zuteil geworden. Walther Bothe starb am 8. Februar 1957.

Die Koinzidenzmessung ist auch heute noch unentbehrlich, um die Welt der Atome und Elementarteilchen zu erforschen. Indem sie das Eintreffen von Teilchen zeitlich exakt erfassen, können Wissenschaftler ihre Reichweiten, Geschwindigkeiten und sogar Flugbahnen bestimmen. Dabei dringen sie mittlerweile in Bereiche von weniger als einer milliardstel Sekunde vor. Bothe wäre sicher angetan von einer solchen zeitlichen Präzision – so wie auch sein Vater, der Uhrmacher.