

Tröpfchenwieger

Mit einem Parfümflakon, Maschinenöl und einer guten Näherung schaffte es der amerikanische Physiker Robert A. Millikan als Erster, die Elementarladung exakt zu messen. Auf dieser Naturkonstante beruhen viele Berechnungen in der modernen Physik. *Von Christian Meier*

Angenommen, jeder Einwohner von Chicago, insgesamt also 2.500.000 Menschen, würde jede Sekunde 2 Elektronen zählen. Wie lange würden die Chicagoer brauchen, um auf die Anzahl von Elektronen zu kommen, die in einer einzigen Sekunde durch den Draht einer elektrischen Lampe fließt? – 20.000 Jahre.“

Ein Blick auf die Einwohnerzahl zeigt: Dieser Text muss etwas älter sein, denn heute leben in der Großregion Chicago rund 8,7 Millionen Menschen. Und tatsächlich – der Text stammt aus den 1910er Jahren. Trotzdem ist das Rechenbeispiel selbst noch immer mehr oder weniger richtig. Es stammt von Robert A. Millikan, der es vielleicht zu Papier gebracht hat, um seine eigene Leistung herauszustellen. Denn Millikan ist glücklich, was nur wenige von sich sagen können: Eine selbstgestellte Lebensaufgabe zu bewältigen, die zu

In 1 Sekunde fließen so viele Elektronen durch einen Draht, dass 2,5 Millionen Menschen, die pro Sekunde 2 Elektronen zählen, 20 000 Jahre brauchen.

den größten Entdeckungen in der Geschichte der Physik zählt. Millikan bestimmte als Erster die Ladung eines einzelnen Elektrons exakt.

In den Physiklabors US-amerikanischer Universitäten der 1890er Jahre galt ein einfacher, aber effizienter Kodex: höchste Präzision. Um die Natur zu verstehen, brauche es möglichst genaue Messgeräte und eine ganze Menge Geduld, glaubten die Forscher. Diese Welt war wie gemacht für Millikan, der von seinen Eltern puritanisch und diszipliniert erzogen worden war. Sein Durchhaltevermögen kam ihm sehr zustatten in den Jahren der harten Arbeit. Und das richtige Vorbild: Millikan orientierte sich an keinem Geringeren als dem damaligen Präzisionspapst der USA, Albert Abraham Michelson, der in den 1890er Jahren an der University of Chicago forschte und lehrte. Mi-

IN DER SCHWEBE
Elektrisch geladene Öltröpfchen werden zwischen 2 Kondensatorplatten gesprüht, an denen eine Hochspannung anliegt. Die 10.000 Volt ziehen so stark an den Elektronen, dass einige der Tröpfchen schweben. Schaltet man den Strom ab, fallen sie herunter. Wenn man die Fallgeschwindigkeit der Kügelchen misst, hat man ihr Gewicht. Und daraus lässt sich auf die Elektronenladung schließen. (foto: vario)

chelson hatte 1883 die Lichtgeschwindigkeit auf weniger als 1 Promille genau bestimmt. Nach der Promotion an der Columbia University in New York 1895 ging Millikan für einen Sommer nach Chicago, um von Michelson zu lernen. 1896 wurde er dessen Assistent. Neben seinen Lehrverpflichtungen nahm Millikan sich Zeit für eigene Forschungen. Er versuchte, weltweites Aufsehen mit Experimenten zu erregen, die damals noch unverstandene Phänomene der Quantenphysik erklären sollten, beispielsweise den lichtelektrischen Effekt. Dabei lösten Photonen – also Lichtteilchen – Elektronen aus einer Metallfläche heraus. Millikans Experimente gelangten, wurden aber wenig beachtet.

Um 1907, inzwischen war er fast 40 Jahre alt und Physikprofessor in Chicago, fand Millikan endlich ein wirklich heißes Thema: die Elementarladung. Dass es sie gab, wusste man, und auch, dass sie an Grundsätzliches rührte: „Jeder interessierte sich für die Elementarladung“, schrieb Millikan rückblickend, „denn sie ist wahrscheinlich die fundamentalste und unveränderlichste Größe des Universums.“ Nur messen konnte sie keiner. Ohne den genauen Wert würde aber die gerade im Entstehen begriffene moderne Physik auf Sand gebaut werden, meinte Millikan. Denn die Elementarladung tauchte in vielen ihrer Formeln auf. Zwar gab es erste Bestimmungen der kleinsten Ladungsmenge, die aber waren äußerst ungenau: Sie schwankten um 60 Prozent und mehr. Hier hoffte Millikan, sich zu profilieren.

Seine Vorgänger hatten Messungen an sehr vielen Elektronen gleichzeitig gemacht und versucht, die Elementarladung aus den Eigenschaften solcher Ensembles zu berechnen. Sie maßen beispielsweise die Gesamtladung eines Nebels aus geladenen Wassertröpfchen und teilten sie durch die Anzahl der Tröpfchen. Millikan mochte den Nebel nicht. Zwar konnte man ihn leicht beobachten, aber gleichzeitig provozierte er massive Fehler. Milli-

kan zweifelte etwa daran, dass die Tröpfchen jeweils eine Elementarladung trugen, wie die Experimente der Kollegen unterstellten.

Millikans entscheidende Idee war, einzelne Wassertröpfchen des Nebels zu beobachten. Er brachte elektrisch geladene Tröpfchen zwischen 2 Kondensatorplatten, an die er eine Hochspannung anlegte. Die starke Spannung von 10.000 Volt zog so stark an den Elektronen, dass einige der Tröpfchen die Schwerkraft überwand und zwischen den Platten schwebten. Die Tröpfchen wurden, wie sich später zeigte, von ein paar Elektronen, teilweise nur von einem einzigen, in der Schwebelage gehalten. Es handelte sich gerade um jene Wasserkügelchen, deren Gewicht genau der elektrostatischen Kraft entsprach, die auf die Elektronen an der Oberfläche wirkten.

Millikan musste also nur noch das Gewicht der Tröpfchen bestimmen,

Dank Millikans Vorarbeit versuchen Forscher heute, die Stromstärke neu zu definieren: 1 Ampere sind 6 241 017 Elektronen pro Sekunde in der Drehtür.

um diese Kraft zu erhalten. Das machte er, indem er die Spannung ausschaltete und die Fallgeschwindigkeit der Kügelchen maß. Die Kügelchen fielen durch die Luft, und weil er mit einem guten Näherungswert für den Luftwiderstand arbeitete, konnte Millikan aus ihrer Geschwindigkeit ihr Gewicht ableiten. Aus der Kraft wiederum berechnete er die Ladung auf den Wasserkügelchen.

Es stellte sich heraus, dass die Ladung stets ein ganzzahliges Vielfaches des kleinsten Messwertes betrug. Dieser minimale Wert war die gesuchte Elementarladung. Millikan bestimmte sie auf weniger als 1 Prozent genau – und hatte damit die erste brauchbare Messung der fundamentalen Konstante geliefert. Das war im Frühjahr 1909.

Millikan war aber immer noch unzufrieden, weil die Wassertröpfchen

in weniger als einer Minute verdunsteten – eine weitere gravierende Fehlerquelle, denn so änderten die Tropfen während des Experiments ihr Gewicht. Millikan suchte nach langlebigeren Kügelchen, um die Präzision zu steigern. Die Lösung: Maschinenöl, das langsam verdunstet. Millikan blies das Schmiermittel mit einem Parfümzerstäuber in den Versuchsaufbau. Es entstanden winzige Öltröpfchen, die durch die Reibung beim Zerstäuben elektrisch geladen wurden. Der Öltröpfchenversuch steht heute in jedem Physik-Lehrbuch.

Millikan verbrachte noch Jahre damit, um die Präzision seiner Messung zu steigern. Schließlich, im Jahr 1913, konnte er die Elementarladung auf weniger als 1 Promille genau bestimmen. Er hatte es seinem Vorbild Michelson in Sachen Genauigkeit gleichgetan. Millikans Versuch blieb bis in die 1930er Jahre die exakteste Methode, die Elementarladung zu messen. Dann zeigten neue, genauere Verfahren, dass Millikans Messergebnisse um etwa 3 Prozent zu niedrig lagen. Der Amerikaner hatte einen falschen Wert für die Zähigkeit der Luft, die das Sinken der Öltröpfchen beeinflusst, angenommen.

Der Wert der Elementarladung ist heute auf wenige Hunderttausendstel Promille genau bekannt, dank einer Kombination aus verschiedenen Messverfahren, darunter auch immer noch der Öltröpfchenversuch. Und da die Elementarladung konstant ist, wollen Physiker die Elementarladung als Maßeinheit benutzen, um physikalische Einheiten neu zu definieren. Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig etwa versucht, die Maßeinheit für die Stromstärke, Ampere, neu zu definieren. Sie wird bislang durch die Kraft definiert, den 2 stromdurchflossene Drähte aufeinander ausüben. In Zukunft soll die Stromstärke durch die Anzahl der Elektronen beschrieben werden, die pro Sekunde eine bestimmte Grenzfläche durchdringen. 1 Ampere wären dann 6.241.017 Elektronen pro Sekunde. Mit einer Art Drehtür können die Forscher die Elektronen zählen: An die Engstelle einer dünnen Halbleiterschicht legen sie eine Wechselspannung an. Jeder Spannungsimpuls schiebt genau einen Träger der von Millikan gemessenen Elementarladung, ein Elektron, durch den Engpass.

Diese Präzision hätte auch Robert A. Millikan sicherlich gefallen.

EXPERIMENTATOR LABORRATTE & DENKER

LEBEN

Robert Andrews Millikan (im Bild links, rechts Albert Einstein), geboren am 22. März 1868 in Illinois, studierte nach einem kurzen Intermezzo als Gerichtsreporter zunächst in Oberlin, Ohio, und machte 1895 seinen Doktor in Physik an der New Yorker Columbia-Universität. Anschließend verbrachte er ein Jahr in Deutschland, an den Universitäten in Göttingen und Berlin. 1896 wurde er Physik-Assistent an der Universität von Chicago. 1902 heiratete er; aus der Ehe gingen 3 Söhne hervor. Inzwischen Professor in Chicago, wechselte er schließlich 1921 ans „Califor-



nia Institute of Technology“ (Caltech) in Pasadena, wo er bis zu seinem Rückzug aus dem Berufsleben 1946 blieb. 1923 erhielt er den Physik-Nobelpreis. Millikan starb am 19. Dezember 1953 im Alter von 85 Jahren in Kalifornien.

LEISTUNG

Neben dem ersten annähernd exakten Wert der Elementarladung verdankt die wissenschaftliche Welt Millikan noch weitere bemerkenswerte Leistungen auf den Gebieten der Elektrik, Optik und Molekularphysik, die er meist im Experiment erbrachte. Der Beweis des lichtelektrischen Effekts gehört dazu und eine Bestätigung des sogenannten Planckschen-Wirkungsquantums, einer fundamentalen Größe der Quantenphysik. Etliche seiner Bücher befassen sich zudem mit dem Verhältnis von Religion, Philosophie und Wissenschaft.

ZWEIFEL

Gegen Millikan wurden und werden verschiedene Vorwürfe erhoben. So soll er Harvey Fletcher, einen seiner Studenten, um die Meriten für den Öltröpfchen-Versuch zur Messung der Elementarladung gebracht haben. Tatsächlich zeigte der Versuch, zu dem Fletcher in der Tat einiges beitrug, neben der Elementarladung ein zweites – heute unbedeutenderes – Ergebnis, das die Messung der Teilchenzahl in einer bestimmten Stoffmenge betraf. Die beiden Wissenschaftler einigten sich so, dass Millikan als alleiniger Verfasser ein Papier über die Elementarladung publizieren, Fletcher seine Doktorarbeit über das andere Ergebnis schreiben sollte. Dass für Millikan bei diesem Experiment später der Nobelpreis, für Fletcher nur ein Dokortitel herausprang, wird manchmal als Übervorteilung Fletchers ausgelegt. Allerdings scheint sich Fletcher um Ruhm und Ehre als Wissenschaftler nicht groß gekümmert zu haben: Das Verhältnis der beiden blieb auch nach dem Experiment und der Publikation der Arbeiten immer freundschaftlich. (thom/foto: keystone)