

## 11.20 Millikanversuch

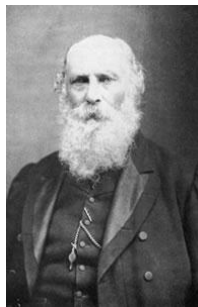
Benjamin Franklin hatte 1750 die Idee, dass elektrische Ladungen durch diskrete Teilchen hervorgerufen werden. (*Er konstruierte auch den ersten Blitzableiter.*)

1881 erhielt dieses Teilchen dann von George Johnstone Stoney den Namen Elektron. (*1895 führte er die Bezeichnung Elektron für die Ladungseinheit ein.*)

1907 bestimmte J. J. Thomson die spezifische Ladung  $\frac{e}{m}$  von Elektronen und bewies damit ihren Teilchencharakter. Er bestimmte aber nicht die Größe der Ladung.



Benjamin Franklin



George Johnstone Stoney



Joseph John Thomson

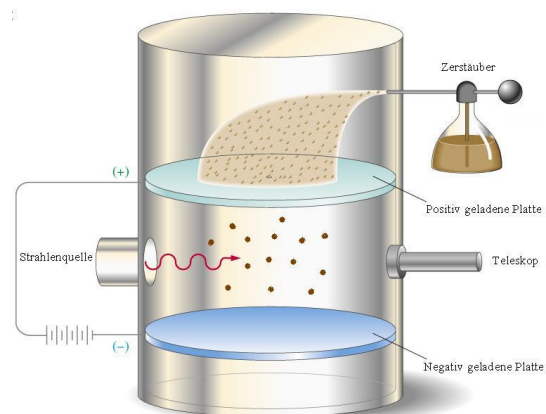
1903 stellte H. A. Wilson ein Experiment vor, bei dem die Geschwindigkeiten von ionisierten Wassertröpfchen gemessen wurde, die von einem Zerstäuber zwischen zwei Metallplatten gesprüht wurden. Zuerst wurde die Geschwindigkeit der Tröpfchen nur unter dem Einfluss der Gewichtskraft, dann unter dem Einfluss von Gravitationskraft und elektrischer Feldkraft gemessen. Die Ladung eines einzelnen Elektrons betrug nach dieser noch ungenauen Messung zwischen  $0,66 \cdot 10^{-19}$  As und  $1,47 \cdot 10^{-19}$  As.



1909 begann Robert Millikan (1869-1953) an der University of Chicago mit der Verbesserung des Versuchs von Wilson. Er verwendete zur Herstellung des elektrischen Feldes eine Batterie mit einer Spannung von 10.000 V, wofür damals sehr viel Aufwand nötig war, und legte diese Spannung an zwei horizontal angebrachten Metallplatten. Diese beiden Platten waren 1,6 cm voneinander entfernt. In der Mitte der oberen positiven Platte brachte er einen Zerstäuber an, der ca. 1 mm große Öltröpfchen in den Zwischenraum der Platten sprühte.



Durch ein Mikroskop stoppte er dann die Zeit, die ein Tröpfchen brauchte, um unter Einwirkung der Gravitationskraft (die gegen die Reibungskraft des Tröpfchens wirkte) eine markierte Entfernung von 1,303 cm zurückzulegen. Danach fiel das Tröpfchen in einen Strahl von Röntgenstrahlen von denen es ionisiert wurde. Unter dem Einfluss des elektrischen Feldes stieg das Öltröpfchen dann wieder und die Durchgangszeit wurde ein zweites Mal gemessen.

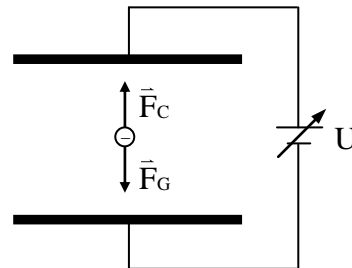
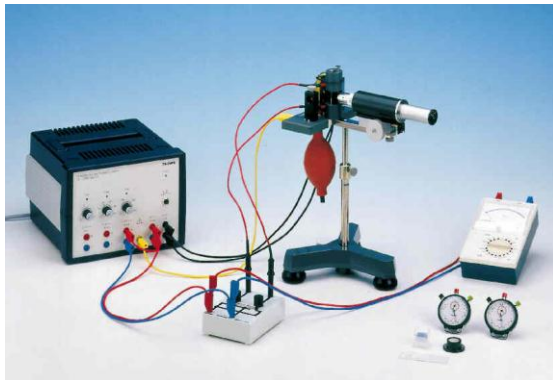


Aber erst nachdem das Stokesche Gesetz, das die Reibungskraft von fallenden Körpern beschreibt,

richtig für die Öltröpfchen angewandt wurde, erhielt Millikan 1910 den Wert von  $e = 1,63 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ . Bis zum Jahr 1917 verbesserte er diesen Wert auf  $1,59 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ . Heutige Messungen ergeben mit der noch im Prinzip gleichen Versuchsanordnung den Wert  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ .

Für die Bestimmung der Elementarladung  $e$  und die Entdeckung des Photoelektrischen Effekt wurde Robert Millikan 1923 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.

### Versuchsaufbau:



### Versuchsdurchführung:

In das elektrische Feld des Plattenkondensators werden elektrisch negativ geladene Öltröpfchen (Ladung  $Q$  und Masse  $m$ ) mit einem Zerstäuber eingeblasen. Auf ein Öltröpfchen wirkt die Coulombkraft  $\vec{F}_C$  und die Gewichtskraft  $\vec{F}_G$ . Mithilfe der regelbaren Spannungsquelle kann die elektrische Feldstärke  $\vec{E}$  so variiert werden, dass die Beträge der beiden Kräfte gleich groß sind. Für diesen Schwebefall lässt sich die Ladung der Öltröpfchen ermitteln.

Für den Gleichgewichtszustand gilt:

$$F_C = F_G \quad (\text{Schwebefeldbedingung})$$

oder

$$QE = mg$$

mit  $E = \frac{U}{d}$  und  $m = \rho V$  folgt:

$$Q \frac{U}{d} = \rho V g \quad V = \text{Volumen des Öltröpfchens}$$

$$Q = \frac{\rho V g d}{U} \quad \rho = \text{Dichte des Öltröpfchens}$$

Ein kugelförmiges Öltröpfchen mit dem Radius  $r$  hat das Volumen  $V = \frac{4}{3} r^3 \pi$ ; somit folgt:

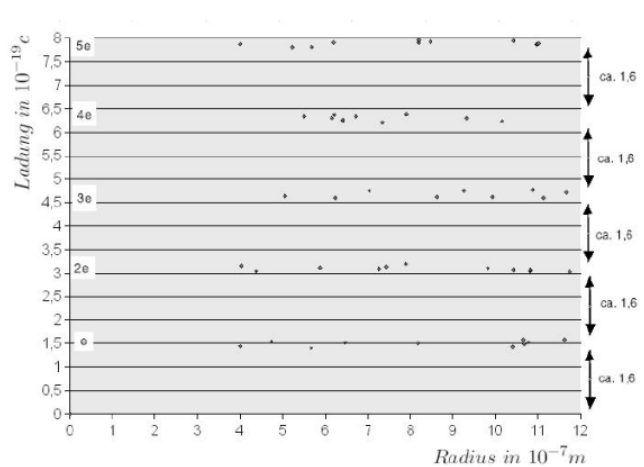
$$Q = \frac{4\pi r^3 \rho g d}{3U}$$

Der Radius des Öltröpfchens wird mithilfe eines Mikroskops gemessen.

Führt man sehr viele Messungen durch, so misst man auch unterschiedlich große Ladungen. Es zeigt sich aber, dass diese Ladungen nicht kontinuierlich verteilt sind, sondern stets ganzzahlige Vielfache einer bestimmten Ladung  $e$  sind. Ladungen zwischen z.B.  $3e$  und  $4e$  werden nicht gemessen. Daraus lässt sich schließen, dass die Ladung  $e$  die kleinste in der Natur vorkommende Ladung ist, die Elementarladung  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

(Der Betrag von  $e$  muss bei diesem Versuch nicht explizit gemessen werden, er ergibt sich aus dem Abstand benachbarter „Häufungspunkte“)

Für die Ladung  $Q$  eines Elektrons gilt:  $Q = -e$



### AP 2002 III

- 2.0 Robert A. Millikan gelang es, den quantenhaften Charakter der elektrischen Ladung experimentell nachzuweisen. Bei der Durchführung des Experiments nach Millikan werden mit Hilfe eines Zerstäubers kleine, kugelförmige, elektrisch geladene Öltröpfchen in den Raum zwischen den horizontal liegenden, zunächst ungeladenen Platten eines Kondensators (Plattenabstand  $d$ ) gebracht. Nun wird an den Kondensator eine Spannung angelegt. Die elektrische Feldstärke im Inneren des Kondensators ist vertikal von oben nach unten gerichtet. Die Spannung  $U$  zwischen den Kondensatorplatten wird so eingestellt, dass ein ausgewähltes Öltröpfchen (Dichte  $\rho$ ; Radius  $r$ ) schwebt. Die Auftriebskraft in Luft ist zu vernachlässigen.
- 5 2.1 Skizzieren Sie die Versuchsanordnung und tragen Sie die an diesem Öltröpfchen angreifenden Kräfte, die Polung der Kondensatorspannung und das Vorzeichen der Ladung  $Q$  des Öltröpfchens ein.
- 4 2.2 Zeigen Sie, dass für den Betrag dieser Tröpfchenladung  $Q$  gilt:  $|Q| = \frac{4 \cdot r^3 \cdot \pi \cdot \rho \cdot g \cdot d}{3 \cdot U}$ .
- 3 2.3 Erklären Sie, wie aus den Ergebnissen vieler Versuche auf die Existenz der Elementarladung geschlossen werden kann.
- 4 2.4 Die Dichte des Öls beträgt  $\rho = 0,875 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . Ein Öltröpfchen befindet sich im elektrischen Feld eines Kondensators mit dem Plattenabstand  $d = 6,0 \text{ mm}$ . Das Öltröpfchen mit dem Radius  $r = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  schwebt, wenn die Spannung zwischen den Kondensatorplatten den Betrag  $U = 450 \text{ V}$  besitzt. Ermitteln Sie durch Rechnung, mit wie vielen Elementarladungen das Öltröpfchen geladen ist.
- 2.5.0 Das elektrische Feld wird abgeschaltet. Das Öltröpfchen aus 2.0 sinkt. Dabei wirkt auf das Öltröpfchen außer der Gewichtskraft  $\vec{F}_G$  nun noch die Luftreibungskraft  $\vec{F}_R$ . Der Betrag  $F_R$  der Luftreibungskraft ist direkt proportional zum Betrag  $v$  der Sinkgeschwindigkeit und zum Radius  $r$  des Öltröpfchens. Also gilt:  $F_R = k \cdot r \cdot v$ , wobei  $k$  konstant, d.h. unabhängig von  $r$  und  $v$  ist.
- 3 2.5.1 Das Öltröpfchen erfährt zunächst eine vertikal nach unten gerichtete Beschleunigung. Begründen Sie, warum der Betrag der Beschleunigung abnimmt und das Öltröpfchen schließlich mit einer konstanten Geschwindigkeit vom Betrag  $v_s$  sinkt.
- 3 2.5.2 Die Konstante  $k$  sei bekannt. Ermitteln Sie durch allgemeine Rechnung eine Formel, mit der sich der Radius  $r$  des Öltröpfchens aus den Größen  $k$ ,  $\rho$  und  $v_s$  berechnen lässt.