

Die Bestimmung der elektrischen Ladung eines Elektrons

Teil 2: Der Millikan-Versuch (vereinfacht, aber prinzipiell möglich)

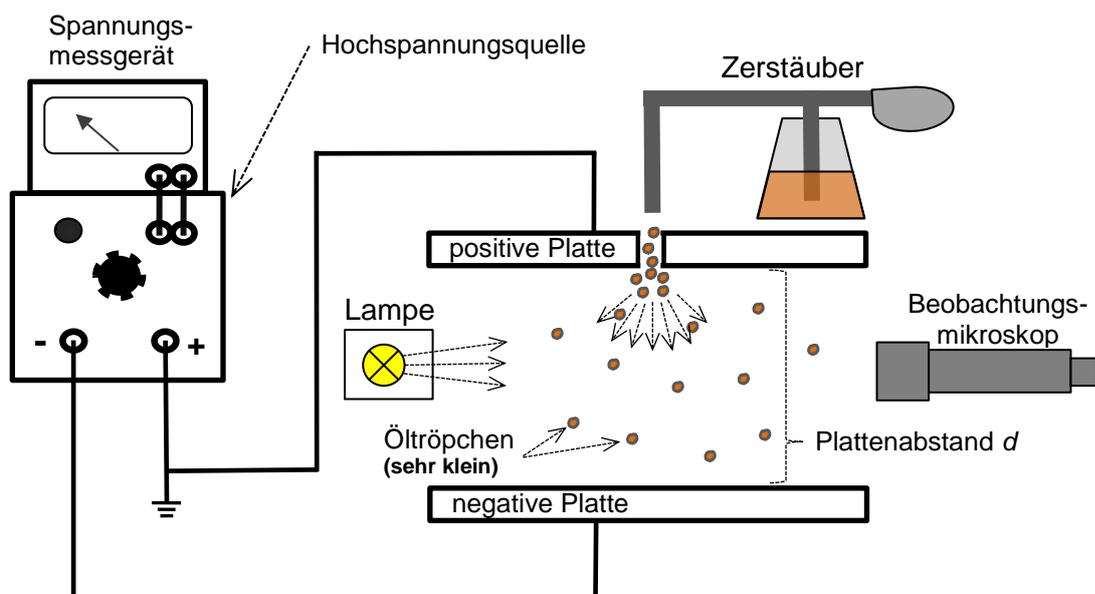
Vorbemerkung:

Der von Robert Andrews Millikan und Harvey Fletcher im Jahre 1910 durchgeführte Versuch zur Bestimmung der kleinstmöglichen Ladungsmenge, der sogenannten Elementarladung, war für die damalige Zeit eine experimentiertechnische Meisterleistung, für die Millikan 1923 der Nobelpreis verliehen wurde. Die Versuchsidee war zwar schon länger bekannt, aber erst Millikan und Fletcher konnten die vielen kniffligen Detailprobleme lösen und so die winzig kleine Elementarladung des Elektrons bestimmen. Wie extrem klein die Ladungsmenge eines einzelnen Elektrons ist, lässt der folgende Vergleich zumindest ansatzweise erahnen: Wird eine moderne LED-Taschenlampe eingeschaltet, so fließt typischerweise ein Strom von $I \approx 0,3$ Ampere. Das heißt, es strömt in jeder Sekunde eine Ladungsmenge von $Q \approx 0,3$ Coulomb (im Wesentlichen) durch die LEDs der Taschenlampe. Zum Transport dieser Ladungsmenge sind ca. $1,9 \cdot 10^{18}$ Elektronen (also fast zwei Trillionen) Elektronen erforderlich, - pro Sekunde!

Lässt man die technischen Details des ursprünglichen Millikanversuchs außer Acht, kann man relativ leicht nachvollziehen, wie die winzig kleine Elementarladung, die jedes Elektron trägt, ermittelt werden kann.

Aufbau eines vereinfachten Millikanversuchs:

Im Prinzip ist der Aufbau dem des „Wattebausch-Versuchs“ sehr ähnlich. Zwischen den beiden horizontal angeordneten, parallel verlaufenden Metallplatten von einigen Zentimetern Abstand befindet sich beim Millikanversuch allerdings kein Wattebausch. Stattdessen werden durch eine Bohrung in der oberen Platte mit Hilfe eines Zerstäubers sehr kleine (elektrisch geladene) Öltröpfchen zwischen die Platten gebracht. Die Öltröpfchen können im Licht einer Lampe mit Hilfe eines Mikroskops beobachtet werden. Die beiden Platten sind wieder mit den beiden Polen einer regelbaren Hochspannungsquelle verbunden.



Durchführung und Beobachtung:

1. Zunächst wird die Spannung zwischen den Kondensatorplatten auf $U = 0$ Volt eingestellt. Nachdem Öltröpfchen zwischen die Kondensatorplatten gebracht werden, kann mit Hilfe des Mikroskops beobachtet werden, dass sich nach kurzer Zeit nahezu alle Öltröpfchen **gleich-**

förmig nach unten bewegen, wobei die dickeren Öltröpfchen deutlich schneller sind.
(- - - -> siehe Realversuch oder Simulation)

Anmerkung: Da Mikroskope seitenverkehrte Bilder liefern, sieht es allerdings so aus, als steigen die Öltröpfchen nach oben.

• http://webphysics.davidson.edu/applets/pgp_preview/contents/pgp_errata/cd_errata_fixes/section4_5.html

oder

• http://ne.lo-net2.de/selbstlernmaterial/p/e/mi/java1/mi_java1.html

Hinweis: Für die Ausführung der Applets unter Windows ist **Java 8 Update 40** erforderlich. Zudem müssen wegen fehlender Sicherheitszertifikate die obigen web-Adressen in die Ausnahmeliste für Java-Anwendungen eingetragen werden. (Systemsteuerung → Java → Sicherheit → Ausnahmeliste → Seitenliste bearbeiten → Hinzufügen, jetzt die entsprechende web-Adresse einfügen, mit OK bestätigen – mehrfach!)

2. Die Spannung am Hochspannungsgerät wird langsam erhöht.

Beobachtung:
.
.
.

3. Es wird nun ein einzelnes Öltröpfchen beobachtet. Dabei wird die Spannung am Hochspannungsgerät (mehrfach) langsam verringert und wieder langsam erhöht.

Beobachtung:
.
.
.

4. Die Spannung am Hochspannungsgerät wird nun so eingestellt, dass das aktuell betrachtete Öltröpfchen gerade schwebt.

Beobachtung:

Auswertung:

zu 1. *Geben Sie an, warum sich die Öltröpfchen nach unten bewegen und erläutern Sie, warum dies nach einer kurzen „Übergangszeit“ nahezu gleichförmig erfolgt.*

Zeigen Sie, dass dicke / schwere Öltröpfchen schneller fallen, indem Sie die Beziehung

$$v = \frac{2 \cdot \rho \cdot r^2 \cdot g}{9 \cdot \eta} \quad \text{für die Fallgeschwindigkeit } v \text{ (= konstante End-Geschwindigkeit, die ein}$$

Tröpfchen erreicht) herleiten und anschließend diskutieren.

Anleitung: Ein (kugelförmiges) Öltröpfchen mit dem Radius r , welches sich mit einer (nicht zu großen) Geschwindigkeit v durch ein Gas (hier Luft) bewegt, erfährt die Reibungskraft $F_R = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$.

Dabei ist η ein Maß für die sogenannte „dynamischen Zähigkeit“ des Gases / der Luft. – Leider ist diese wichtige Beziehung für uns nicht leicht herzuleiten

oder experimentell zu überprüfen, wir können / werden sie dennoch benutzen, - wie so manches andere Werkzeug eben auch.

zu 2. *Erklären Sie Ihre Beobachtungen qualitativ.*

zu 3. *Erklären Sie Ihre Beobachtungen qualitativ.*

zu 4. Das ausgewählte (kugelförmige) Öltröpfchen befand sich bei einer Spannung von

$U = \dots\dots\dots$ Volt gerade im Schwebezustand. Seine Masse m kann mit Hilfe des Tröpfchenradius r und der Dichte ρ des Öls leicht bestimmt werden.

Die auf dem (kugelförmigen) Öltröpfchen befindliche elektrische Ladung q kann dann mit

Hilfe der Beziehung $q = \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g \cdot d}{3 \cdot U}$ berechnet werden.

Leiten Sie, ausgehend von einem für den Schwebezustand geltenden Kraftansatz, die angegebene Beziehung her.

(Hilfe: Siehe „Wattebanschversuch“)

Mit Hilfe dieser Beziehung kann nun die auf einem Öltröpfchen befindliche elektrische Ladung berechnet werden, wenn die Größen r , ρ , d (= Abstand zwischen den beiden Metallplatten) und U gemessen werden, g (= Erdbeschleunigung).

Leider ist allerdings der Radius r des Öltröpfchens nicht direkt messbar.



Bestimmung des Radius des Tröpfchens aus der Sinkgeschwindigkeit.

Um den noch unbekanntem Radius r zu bestimmen, kann einfach die Spannung zwischen den Platten wieder auf $U = 0$ Volt eingestellt werden, denn dann **fällt das Öltröpfchen wieder gleichförmig** nach unten. Gemäß Punkt 1 dieser Auswertung (siehe oben) gilt dann

die Beziehung $v = \frac{2 \cdot \rho \cdot r^2 \cdot g}{9 \cdot \eta}$. **Wenn** wir also die Fallgeschwindigkeit v im Versuch

messen, dann können wir den Tröpfchenradius r berechnen. Damit kann dann schließlich die Ladung q des Öltröpfchens berechnet werden.