

Der Millikan-Versuch

Übersicht:

- i) Versuchsaufbau
- ii) Wirksame Kräfte
- iii) Berechnung von Ladung und Radius
- iv) Bestimmung der Elementarladung e

i) Versuchsaufbau

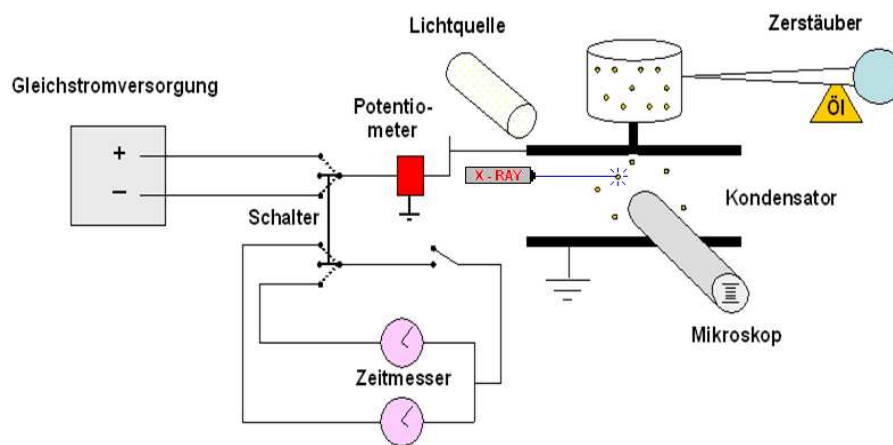


Abb. 0 - schematischer Versuchsaufbau

Mit einem **Zerstäuber** werden **feinste Öltröpfchen** erzeugt. Diese Öltröpfchen werden **elektrisch geladen**, bei Millikans historischem Versuchsaufbau geschah dies durch eine **Röntgenröhre**, welche die Öltröpfchen **ionisiert**. Anschließend bringt man diese Tröpfchen in einen **Plattenkondensator**. Auf jedes Tröpfchen wirkt nun die **Gravitation**, in der das Tröpfchen nach unten fällt, und die **Reibung in der Luft**, die dem Fallen entgegengerichtet ist. Wird an die **Platten des Kondensators** eine **Spannung** angelegt, so wirkt noch eine **elektrische Kraft**. Durch **geeignete Wahl der Spannung** kann man das Tröpfchen **kräftefrei** machen und es sogar zum **Schweben** bringen. Da dann keine Reibungskraft mehr wirkt, kompensieren sich also gerade die Gewichtskraft F_G und die elektrische Kraft F_E , welche ja bekannt ist. Hieraus ist schon die **Ladung des Öltröpfchens** bestimmbar. **Dieses Verfahren ist allerdings sehr ungenau**, da der Schwebezustand aufgrund der **Brownschen Bewegung** schwer zu bestimmen ist und es zudem schwierig ist, den **Radius eines Öltröpfchens** genau zu bestimmen.

Um die Genauigkeit des Versuches zu verbessern, ändert man die Versuchsdurchführung geringfügig ab (nicht aber das Prinzip!): Da die Reibungskraft mit der Geschwindigkeit wächst, stellt sich (hier sehr schnell) eine **konstante Sinkgeschwindigkeit** v_1 ein, welche gut messbar ist. Polt man das elektrische Feld **bei gleich bleibender Spannung** um und misst dann die **konstante Steiggeschwindigkeit** v_2 , so kann man den **Radius** und damit auch die **Ladung der Tröpfchen** experimentell gut bestimmen. Unten betrachten wir den einfacheren Sink/Schwebe-Fall.

ii) Wirksame Kräfte

Wir nehmen an, dass die **Form eines Tröpfchens** einer **Kugel** entspricht. Dies ist besonders im freien Fall **eine gute Näherung**. Das **Schwerefeld der Erde** sei **homogen** und **konstant**. Auch sei das **elektrische Feld** genügend **homogen** und die **Reynoldszahlen klein** (das heißt, dass keine Luftverwirbelungen unsere Tröpfchen stören).

a) **Gravitationskraft (einer Kugel):**
$$F_G = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g \quad (1)$$

b) **Stokes'sche Reibungskraft (einer Kugel):**
$$F_R = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot v \cdot r \quad (2)$$

c) **Kraft im Elektrischen Feld:**
$$F_E = q \cdot E = \frac{q \cdot U}{d} \quad (3)$$

unter Verwendung folgender Beziehungen:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad V_{\text{Kugel}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \quad E = \frac{U}{d}$$

mit

$r = \text{Kugelradius (unbekannt!)}$

$g = \text{Gravitationskonstante} = 9,81 \text{ m/s}^2$

$\rho = \text{Dichte allgemein, hier: } \rho = \rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}} \approx \rho_{\text{Öl}} = 875,3 \text{ kg/m}^3$

$\eta = \text{Viskositätskonstante der Luft} = 1,81 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$

$v = \text{Steig- / Sinkgeschwindigkeit des Öltröpfchens (abhängig von der Polung der Spannung)}$

$q = \text{Ladung des Öltröpfchens (gesucht!)}$

$E = \text{Feldstärke des Plattenkondensators (in sehr guter Näherung als konstant anzusehen)}$

$U = \text{angelegte Gleichspannung (bei beiden Polungen konstant)}$

$d = \text{Plattenabstand des Plattenkondensators} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m (kann man natürlich variieren)}$

iii) Berechnung von Ladung und Radius

Wie oben erwähnt, gibt es **mehrere mögliche Durchführungen des Experimentes** zur Berechnung der Ladung q . Die Gemeinsamkeit dieser Varianten ist, dass man sich auf ein Tröpfchen konzentriert, welches man dann zwei verschiedenen Spannungen aussetzt und die **Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeiten** bestimmt. Dies geschieht mit einer **Skalierung**, welche man im Sichtfeld anbringt (historisch waren das Ritzer auf dem Okular des Mikroskops) und der **Fallzeit** (über eine Stoppuhr). Im Folgenden nur die erste von drei denkbaren Durchführungen (Sinken/Schweben).

Sinken/Schweben:

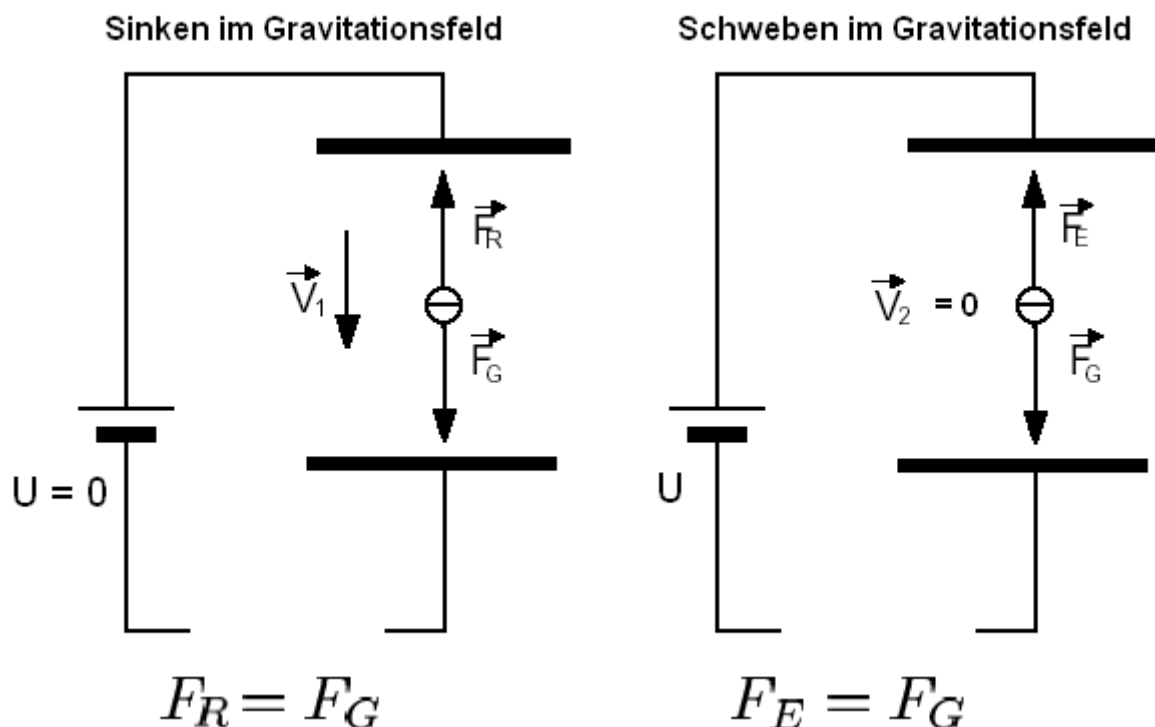


Abb. 1 – schematische Kräfte-Superposition beim Sinken/Schweben im Gravitationsfeld

Durchführung nach Abb. 1: Zuerst bringt man das feine Öl in den Kondensator ein. Dann sucht man sich ein Tröpfchen und misst die Sinkgeschwindigkeit v bei nicht vorhandener Spannung. Dies kann man, indem man für eine bekannte Strecke die Fallzeit misst. Danach fährt man die Spannung hoch und bringt nach evtl. Umpolen das Tröpfchen zum Schweben. Die dabei verwendete Spannung U liest man ab und notiert sie. Nun kann man aus dem ersten Teilversuch den Radius r der Ölkugel bestimmen und aus dem zweiten die Ladung q .

Teil 1:
$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot v \cdot r \quad \text{und damit} \quad r = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot v}{2 \cdot \rho \cdot g}} \quad (4).$$

Teil 2: mit dem jetzt bekannten Radius aus (4) kann man im zweiten Teil des Versuchs (Schweben), die vom Tröpfchen getragene Ladung bestimmen:

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g = q \cdot \frac{U}{d} \quad \text{und damit} \quad q = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{d}{U} \quad (5).$$

iv) Bestimmung der Elementarladung

Da jedes Öltröpfchen aus einer **ganzen Anzahl von Atomen** besteht ist jede berechnete Ladung Q eines Öltröpfchens ein **Vielfaches der Elementarladung**. Trägt man die **gemessene Ladung** gegen den Radius der Tröpfchen in einem Schaubild auf, so ergibt sich **keine kontinuierliche Verteilung**, sondern man erkennt **diskrete Linien**; es finden sich **nur Vielfache der Elementarladung e** . Unten ein beispielhafter Graph, der wikipedia.org entnommen ist.

