

## Arbeitsblatt: Der Millikan-Versuch (Schwebe-Fall-Methode)

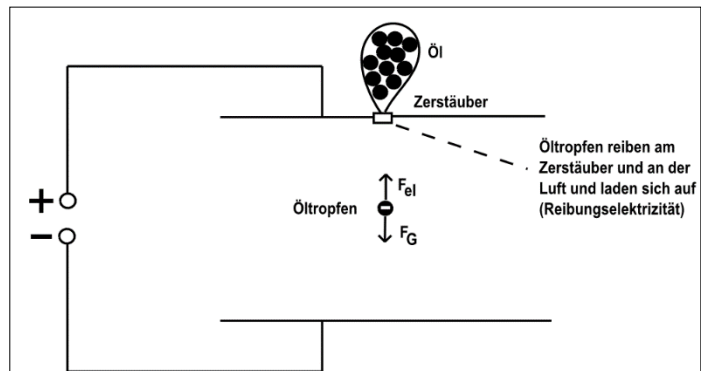
Die erste Methode zur Bestimmung der **Elementarladung e** besteht darin,

- a) zuerst ein Öltröpfchen durch Anlegen einer Spannung in der Schwebe zu halten (Schweben im Elektrischen Feld) und die dazu nötige Spannung zu messen und
- b) dann das gleiche Öltröpfchen „frei“ fallen zu lassen (Fallen ohne Elektrisches Feld) und dabei seine Geschwindigkeit zu messen.

### 1. Schweben im Elektrischen Feld

#### **Durchführung und Beobachtung**

An die Kondensatorplatten wird eine Spannung  $U$  angelegt und so eingestellt, dass das Öltröpfchen schwebt. Für ein negativ geladenes Tröpfchen muss die obere Platte positiv und die untere Platte negativ geladen werden.



#### **Erklärung**

Auf das Tröpfchen wirken die Gewichtskraft  $F_G$  und nach unten die betraglich gleich große Elektrische Kraft  $F_{EL}$  nach oben, sodass keine resultierende Kraft mehr wirkt und das Tröpfchen ruht.

#### **Auswertung**

Es gilt somit folgendes Kräftegleichgewicht:

Die Elektrische Kraft  $F_{el} = + q \cdot E$  ( $q$ : Ladung des Tröpfchens;  $E$ : Elektrische Feldstärke des an die Metallplatten angelegten Elektrischen Feldes) ist betragsgleich der Gewichtskraft  $F_G = - m \cdot g$  ( $m$ : Masse des Tröpfchens;  $g$ : Erdbeschleunigung):

$$| F_{el} | = | F_G |$$

$$q \cdot E = m \cdot g \text{ (Gleichung 1)}$$

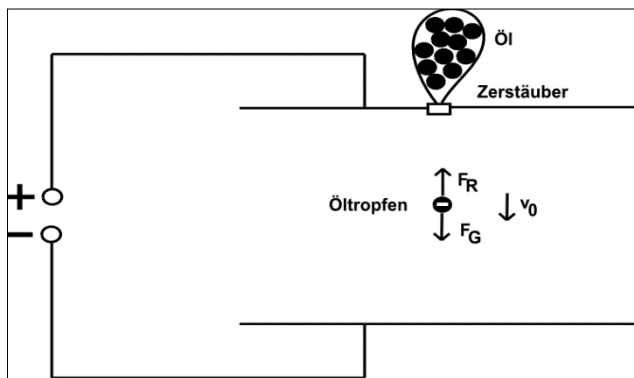
## 2. Fallen ohne Elektrisches Feld

### Durchführung und Beobachtung

An die Kondensatorplatten wird keine Spannung angelegt. Ohne angelegte Spannung fällt das Tröpfchen nach einer kaum beobachtbaren Beschleunigungsphase mit konstanter Geschwindigkeit  $v_0$  nach unten.

### Erklärung

Auf das Tröpfchen wirkt zuerst nur die Gewichtskraft  $F_G$  nach unten, sodass das



Tröpfchen nach unten beschleunigt wird. Durch die größer werdende Geschwindigkeit steigt nun die der Bewegung entgegengerichtete

**STOKESsche Reibungskraft  $F_R$**  so lange an, bis sie betraglich gleich der Gravitationskraft  $F_G$  ist. Ab diesem Zeitpunkt wirkt auf das Tröpfchen

keine resultierende Kraft mehr und es bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit weiter nach unten.

### Auswertung

Es gilt somit folgendes Kräftegleichgewicht:

Die STOKESsche Reibungskraft  $F_R = + 6 \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_0$  ( $\eta$ : Zähigkeit der Luft;  $r$ : Radius des Tröpfchens;  $v_0$ : Geschwindigkeit des Tröpfchens beim Fallen) ist betragsgleich der Gewichtskraft  $F_G = - m \cdot g$  ( $m$ : Masse des Tröpfchens;  $g$ : Erdbeschleunigung):

$$| F_R | = | F_G |$$

$$6 \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_0 = m \cdot g \quad (\text{Gleichung 2})$$

Durch Einsetzen von  $m = \rho_{\text{Öl}} \cdot V = \rho_{\text{Öl}} \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$  ( $\rho_{\text{Öl}}$ : Dichte von Öl;  $V$ : Volumen des Tröpfchens;  $r$  = Radius des Tröpfchens) und  $E = U/d$  ( $U$ : Spannung zwischen den Metallplatten;  $d$  = Abstand der Metallplatten) sowie Eliminieren der schwer zu bestimmenden Größe  $r$  aus der entstehenden Gleichung erhält man für die Ladung

$$q = \frac{9 \cdot \sqrt{2} \cdot \pi \cdot d}{U} \cdot \sqrt{\frac{\eta^3 \cdot v_0^3}{\rho_{\text{Oel}} \cdot g}} \quad (\text{Gleichung 3})$$

Die Größen  $\eta$ ,  $\rho_{\text{Oel}}$  und  $g$  können aus Tabellen entnommen, die Größen  $U$ ,  $d$  und  $v_0$  gemessen werden.

### Arbeitsaufträge

1. Leiten Sie mithilfe der folgenden Arbeitsschritte Gleichung 3 zur Berechnung der Ladung  $q$  her:

**a)** Ersetzen Sie in Gleichung 2 die Größe  $m$  durch  $m = \rho_{\text{Oel}} \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$ , fassen Sie so weit wie möglich zusammen und lösen Sie die Gleichung nach  $r$  auf. Die dadurch neu entstehende Gleichung sei Gleichung 2.1.

**b)** Ersetzen Sie in Gleichung 1 die Größe  $m$  durch  $m = \rho_{\text{Oel}} \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$  und die Größe  $E$  durch  $E = U/d$  und lösen Sie die Gleichung nach  $q$  auf. Die dadurch entstehende Gleichung sei 1.1.

**c)** Ersetzen Sie die Größe  $r$  in Gleichung 1.1 durch den gleichwertigen Term für  $r$  aus Gleichung 2.1 und fassen Sie die rechte Seite der neuen Gleichung so weit wie möglich zusammen. Es ergibt sich durch Zusammenfassen und Vereinfachen Gleichung 3.

**d)** Vergleichen Sie ihre Lösungen mit den Lösungen auf der Seite <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/ladungen-elektrisches-feld/versuche/millikan-versuch-schwebe-fall-methode-simulation>.

Die STOKESsche Reibungskraft  $F_R = +6 \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_0$  ( $\eta$ : Zähigkeit der Luft;  $r$ : Radius des Tröpfchens;  $v_0$ : Geschwindigkeit des Tröpfchens beim Fallen) ist eine aus der Strömungslehre für laminare Strömungen bekannte Kraft auf kugelförmige Körper in einem „zähen“ Medium mit der Zähigkeit  $\eta$ . Die STOKESsche Reibungskraft tritt nur dann auf, wenn sich das Tröpfchen bewegt, und wirkt dann der Bewegungsrichtung entgegen. Die Kraft wächst zudem mit der Geschwindigkeit, und zwar so lange, bis sich das Tröpfchen nur noch mit konstanter Geschwindigkeit bewegt.

Für eine präzisere Messauswertung, die wir an dieser Stelle **nicht** durchführen werden, müssen weitere Kräfte bzw. Korrekturfaktoren (z.B. Auftriebskraft der Luft) berücksichtigt werden.

## **Arbeitsblatt zur Messung und Auswertung („Schwebe-Methode“)**

Sie sollen nun mithilfe der Simulation auf der Seite

<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/ladungen-elektrisches-feld/versuche/millikan-versuch-schwebe-fall-methode-simulation>

die Messung zur Bestimmung der Elementarladung  $e$  durchführen und die Messwerte mithilfe einer Excel-Tabelle mit vorgegebenen Berechnungsformeln auswerten.

### **Arbeitsaufträge**

1. Führen Sie eine erste Messung nach den folgenden Schritten durch:

a) Wählen Sie die Ansicht „Mikroskop“.

b) Lassen Sie die Spannung ausgeschaltet und sprühen Sie bis Öltröpfchen am unteren Bildschirmrand erscheinen. Versuchen Sie nun, ein Tröpfchen durch geeignete Spannungswahl in der Schwebe zu halten. Schalten Sie dazu die Spannung ein und verändern Sie den Wert der Spannung  $U$ . Notieren Sie diese Spannung  $U$ .

c) Aktivieren Sie nun die Stoppuhr. Schalten Sie dann die Spannung aus, woraufhin sich das Öltröpfchen ohne Einfluss eines elektrischen Feldes nach oben bewegt (es fällt!) und die obere Stoppuhr startet. Wählen Sie einen Skalenstrich, an dem Sie die Stoppuhr wieder stoppen. Notieren Sie die Anzahl  $n$  der zurückgelegten Skalenstriche und die dafür benötigte Zeit  $t$ .

2. Führen Sie eine erste Auswertung nach den folgenden Schritten durch:

a) Berechnen Sie die Fallgeschwindigkeit  $v_0$  unter Verwendung der Anzahl  $n$  der zurückgelegten Skalenstriche, des Skalenabstandes  $s$  und der benötigten Zeit  $t$ .

b) Setzen Sie  $v_0$  und  $U$  in die Gleichung für  $q$  ein und berechnen Sie den Wert von  $q$ . Nutzen Sie dafür die Werte unterhalb der Simulation.

3. Nehmen Sie die gesamte Messreihe nach den folgenden Schritten auf:

a) Laden Sie sich die Excel-Tabelle von der Seite herunter. Starten Sie Excel, öffnen Sie die Excel-Tabelle „Der Millikan-Versuch – Excel-Tabelle zur Auswertung (Schwebe-Methode)“ und machen Sie sich mit dem Aufbau der Tabelle vertraut.

b) Tragen Sie die Messwerte in die Excel-Tabelle ein.

c) Führen Sie 7 weitere Messungen durch und tragen Sie die Messwerte ebenfalls in die Excel-Tabelle ein.

d) Erstellen Sie in Excel ein Diagramm, in dem die Ladung  $q$  (y-Achse) gegen die Versuchsnummer (x-Achse) aufgetragen ist, und interpretieren Sie dieses Diagramm.