

## Atom- und Kernphysik

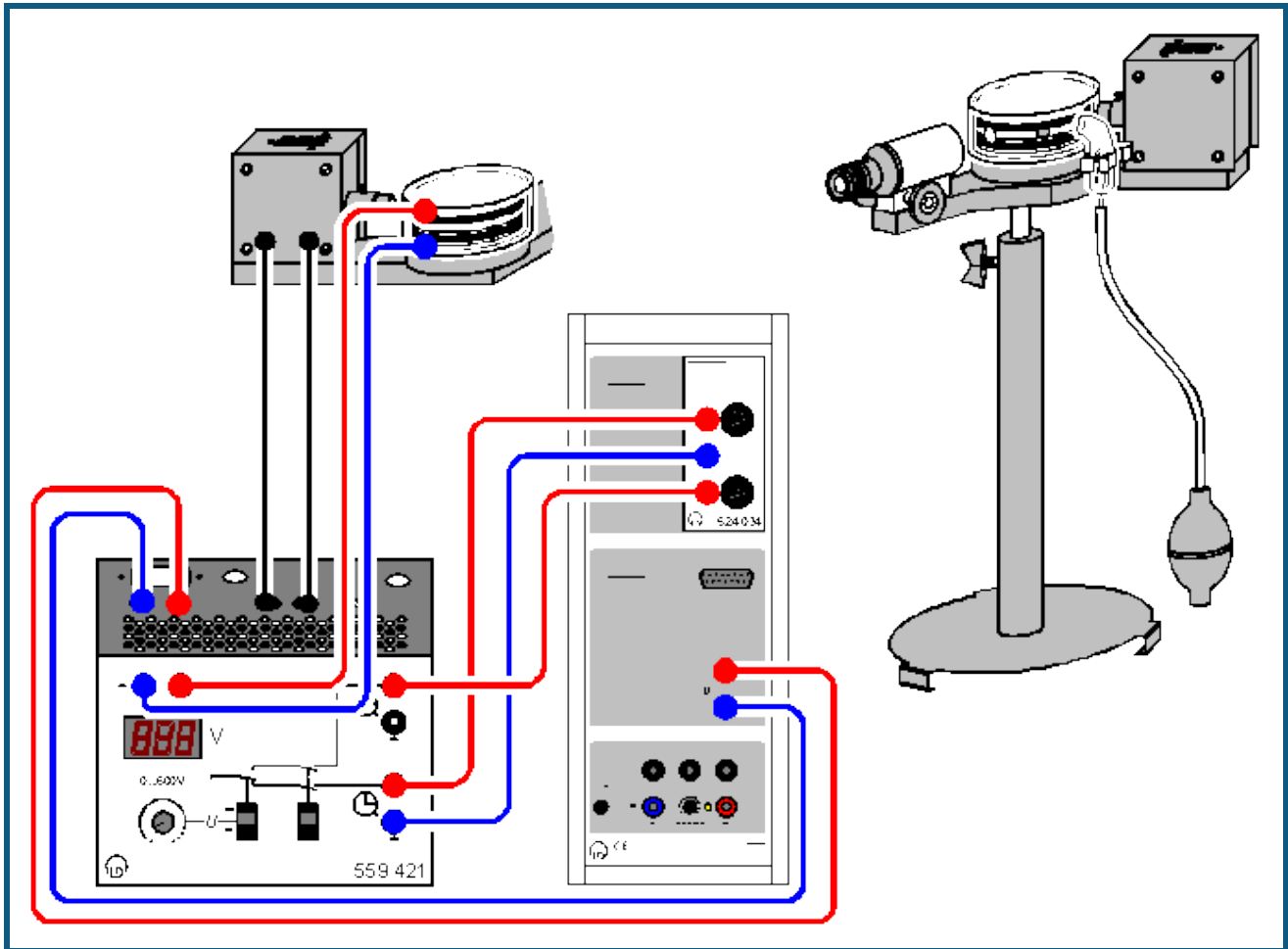
Einführende Experimente  
*Millikan-Versuch*

Bestimmung der  
elektrischen  
Elementarladung nach  
Millikan und Nachweis der  
Ladungsquantelung -  
Messung von Steig- und  
Sinkgeschwindigkeit mit  
CASSY

### Beschreibung aus CASSY Lab 2

Zum Laden von Beispielen und  
Einstellungen bitte die CASSY Lab 2-Hilfe  
verwenden.

## Millikan-Versuch



 auch für [Pocket-CASSY](#) geeignet

### Versuchsbeschreibung

R.A. Millikan gelang 1910 mit seiner berühmten Öltröpfchenmethode der Nachweis des quantenhaften Auftretens kleinster Elektrizitätsmengen. Er beobachtete geladene Öltröpfchen im senkrechten elektrischen Feld eines Plattenkondensators mit Plattenabstand  $d$  und bestimmte aus ihrem Radius  $r$  und dem elektrischen Feld  $E=U/d$  die Ladung  $q$  eines schwebenden Tröpfchens. Dabei stellte er fest, dass  $q$  nur als ganzzahliges Vielfaches einer Elementarladung  $e$  auftritt, also  $q = n \cdot e$ .

### Theorie

Wenn ein Öltröpfchen mit Radius  $r_0$  mit der Geschwindigkeit  $-v_1$  nach unten sinkt (fällt), dann wirkt auf dieses Öltröpfchen die entgegengesetzte Stokesche Reibungskraft  $F_1 = 6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_1$  ( $\eta$  = Viskosität von Luft). Wenn das gleiche Öltröpfchen mit der Geschwindigkeit  $v_2$  in einem angelegten elektrischen Feldes  $E$  nach oben steigt, dann ist die entgegengesetzte Stokesche Reibungskraft  $F_2 = -6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_2$ . Die Differenz dieser beiden Kräfte entspricht genau der Kraft  $q_0 \cdot E$  durch das angelegte elektrische Feld  $E$ , also

$$q_0 \cdot E = q_0 \cdot U/d = F_1 - F_2 = 6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot (v_1 + v_2) \quad \text{oder}$$

$$q_0 = 6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot d \cdot (v_1 + v_2) / U.$$

Um die Ladung  $q_0$  zu ermitteln, fehlt also nur noch der Radius  $r_0$  des betrachteten Öltröpfchens, der sich aber leicht aus dem Kräftegleichgewicht seiner resultierenden Gewichtskraft  $F = -V \cdot \Delta\rho \cdot g$  und der Stokeschen Reibung  $F_1$  im Sinkfall ergibt, wobei  $\Delta\rho$  der Dichteunterschied zwischen Öl und Luft ist.

Es gilt also:

$$0 = F + F_1 = -4/3 \pi \cdot r_0^3 \cdot \Delta\rho \cdot g + 6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_1 \quad \text{oder}$$

$$r_0 = \sqrt{(9\eta v_1 / 2\Delta\rho g)}.$$

Für eine genauere Ermittlung der Ladung  $q$  sollte man berücksichtigen, dass die Stokesche Reibung für sehr kleine Radien  $r$  korrigiert werden muss, weil diese in der Größenordnung der mittleren freien Weglänge der Luftmoleküle liegen. Die vom Luftdruck  $p$  abhängige korrigierte Formel für die Reibungskraft lautet

$$F = 6\pi\eta r v / (1 + b/rp)$$

mit  $b = 80 \mu\text{m} \cdot \text{hPa}$  (konstant).

Mit der Abkürzung  $A = b/p$  ergibt sich der korrigierte Radius  $r$  zu

$$r = \sqrt{(r_0^2 + A^2/4)} - A/2$$

und die korrigierte Ladung  $q$  zu

$$q = q_0 / (1 + A/r)^{1,5}.$$

### Schwebemethode

In dieser Variante des Experiments wird die Spannung  $U$  am Plattenkondensator so eingestellt, dass ein ausgesuchtes Öltröpfchen schwebt, also die Steiggeschwindigkeit  $v_2=0$  ist. Die Sinkgeschwindigkeit  $v_1$  wird nach Abschalten der Kondensatorspannung  $U$  gemessen. Wegen  $v_2=0$  vereinfachen sich die oben angegebenen Formeln etwas.

Es lässt sich allerdings prinzipiell  $v_2=0$  nicht sehr genau einstellen. Damit ergeben sich bei der Schwebemethode größere Messfehler und breitere Streuungen in der Häufigkeitsverteilung, als dies bei der folgenden Methode der Fall ist.

### Sink-/Steigmethode

In der zweiten Variante werden beide Geschwindigkeiten  $v_1$  und  $v_2$  sowie die Spannung  $U$  gemessen. Diese Methode lässt genauere Messwerte als bei der Schwebemethode zu, weil die Geschwindigkeit  $v_2$  wirklich gemessen wird.

### Benötigte Geräte

|   |                                 |                      |
|---|---------------------------------|----------------------|
| 1 | <a href="#">Sensor-CASSY</a>    | 524 010 oder 524 013 |
| 1 | <a href="#">CASSY Lab 2</a>     | 524 220              |
| 1 | <a href="#">Timer-Box</a>       | 524 034              |
| 1 | Millikan-Gerät                  | 559 411              |
| 1 | Millikan-Betriebsgerät          | 559 421              |
| 1 | Experimentierkabel, 50 cm, rot  | 500 421              |
| 3 | Paar Kabel, 50 cm, rot und blau | 501 45               |
| 1 | Paar Kabel, 50 cm, schwarz      | 501 451              |
| 1 | PC mit Windows XP/Vista/7/8     |                      |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Millikan-Gerät nach Gebrauchsanweisung zusammenbauen, Öl einfüllen und Schaltung gemäß Skizze aufbauen. Dazu Stoppuhrausgang 1 mit Eingang E und Stoppuhrausgang 2 mit Eingang F der Timer-Box verbinden. Den Spannungsausgang des Betriebsgeräts mit Eingang B des Sensor-CASSYs verbinden.

Achtung: Das Mikroskop erzeugt ein umgekehrtes Bild. Alle Bewegungsrichtungen erscheinen deshalb umgekehrt. Es wird im Folgenden aber die reale Bewegung beschrieben.


Zur besseren Demonstration der Öltröpfchen ist die Aufnahme des Mikroskopbildes mit einer Videokamera (z. B. VideoFlex von ken-a-vision) empfehlenswert. In diesem Fall kann die Kamera auch "über Kopf" aufnehmen, so dass die sichtbare Bewegungsrichtung wieder der realen Bewegungsrichtung entspricht.

### Versuchsdurchführung

#### a) Schwebemethode


##### ■ Einstellungen laden

- Okularmikrometer senkrecht stellen und durch Drehen des schwarzen Okularringes scharf stellen.
- Zunächst Schalter  $U$  und  $t$  nach unten stellen.
- Kondensatorspannung mit Schalter  $U$  einschalten und mit Drehpotentiometer so einstellen (400-600 V), dass ein ausgewähltes Öltröpfchen mit etwa 1-2 Skalenteilen/Sekunde steigt (also im Okular sinkt). Danach die Spannung erniedrigen, bis das Öltröpfchen gerade schwebt.

- Kondensatorsspannung mit Schalter U ausschalten.
- Sobald sich das Öltröpfchen neben einem gewählten Skalenstrich befindet, Zeitmessung mit Schalter t starten.
- Sobald das Öltröpfchen um 20 weitere Skalenstriche (entspricht 1 mm) gesunken (also im Okular gestiegen) ist, Zeitmessung mit Schalter t wieder stoppen und Kondensatorspannung mit Schalter U wieder einschalten.
- Messwerte für die Sinkzeit  $t_1$  und die Spannung U mit  in die Tabelle übernehmen. Die berechnete Ladung q wird automatisch im Histogramm eingetragen.
- Messung für andere Öltröpfchen wiederholen.

#### b) Sink-/Steigmethode

##### Einstellungen laden

- Okularmikrometer senkrecht stellen und durch Drehen des schwarzen Okularrings scharf stellen.
- Zunächst Schalter U und t nach unten stellen.
- Kondensatorspannung mit Schalter U einschalten und mit Drehpotentiometer so einstellen (400-600 V), dass ein ausgewähltes Öltröpfchen mit etwa 1-2 Skalenteilen/Sekunde steigt (also im Okular sinkt).
- Kondensatorspannung mit Schalter U ausschalten.
- Sobald sich das Öltröpfchen neben einem gewählten Skalenstrich befindet, Zeitmessung mit Schalter t starten.
- Sobald das Öltröpfchen um 20 weitere Skalenstriche (entspricht 1 mm) gesunken (also im Okular gestiegen) ist, Kondensatorspannung mit Schalter U wieder einschalten. Dies startet automatisch die Zeitmessung  $t_2$ .
- Sobald sich das Öltröpfchen wieder neben dem ersten Skalenstrich befindet, Zeitmessung mit Schalter t stoppen.
- Messwerte für die Sinkzeit  $t_1$ , die Steigzeit  $t_2$  und die Spannung U mit  in die Tabelle übernehmen. Die berechnete Ladung q wird automatisch im Histogramm eingetragen.
- Messung für andere Öltröpfchen wiederholen.

### Auswertung

Zur Auswertung besteht die Möglichkeit, in der gemessenen Häufigkeitsverteilung [Mittelwerte](#) einzuzeichnen und die Beziehung  $q = n \cdot e$  (mit  $e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ) zu bestätigen.

### Hinweise

Werden Öltröpfchen mit geringer Ladung ausgesucht, wird die Statistik schneller aussagekräftig. Öltröpfchen geringer Ladung erkennt man daran, dass sie klein sind und sich im elektrischen Feld relativ langsam bewegen.

Bleibt im Unterricht zu wenig Zeit, um etwa 20-30 Öltröpfchen zu verfolgen, dann kann vor der Messung das Beispiel mit den Beispielmesswerten anstelle der nackten Einstellungen geladen werden. Die neu gemessenen Werte erscheinen im Histogramm dann als rote Balken und bestätigen so mit der üblichen statistischen Ungewissheit die schwarze Beispielmessung.

Zur Messung der negativen Ladungen q müssen die Anschlüsse sowohl am Plattenkondensator als auch am CASSY-Eingang B vertauscht werden.

Weicht der örtliche Luftdruck stark von 1013 hPa ab, dann sollte der Luftdruck in der Formel zum Korrekturparameter A entsprechend geändert werden. Dann stimmen allerdings eventuell angezeigte Beispielwerte nicht mehr.