

Informationen zum Millikanversuch



Millikan, Robert Andrews (1868-1953), amerikanischer Physiker, bekannt durch seine Arbeiten zur Atomphysik. Millikan wurde in Morrison (Illinois) geboren und studierte an der Columbia University sowie an den Universitäten von Berlin und Göttingen. 1896 trat er der Fakultät der Universität von Chicago bei und wurde dort 1910 Professor für Physik. 1921 verließ er die Universität, um das Norman Bridge Laboratory of Physics am California Institute of Technology in Pasadena zu leiten.

1923 erhielt Millikan den Nobelpreis für Physik für seine berühmten Öltröpfchen-Experimente, mit denen er die Ladung eines Elektrons ermittelte. Des Weiteren forschte er über kosmische Strahlen und Röntgenstrahlung und ermittelte experimentell den Wert des Planckschen Wirkungsquantums. Millikan verfasste zudem technische Studien und mehrere Bücher über das Verhältnis zwischen Wissenschaft und Religion.

Quelle: <http://www.nobel.se> (Quelle: MS-Encarta)

Bei Millikans Öltröpfchenversuch werden mikroskopisch kleine Öltröpfchen mithilfe eines Zerstäubers in den Raum zwischen den Platten eines zunächst ungeladenen Kondensators, dessen Platten horizontal stehen, geblasen. Mit dem Zerstäuben ist im allgemeinen auch eine Ladungstrennung verbunden, so dass neben neutralen sowohl positive als auch negative Tropfen entstehen.

Diese sind bei seitlicher Beleuchtung vor einem dunklen Hintergrund in einem Mikroskop als helle Scheibchen sichtbar.

Beim Anlegen einer geeigneten Spannung gelingt es, geladene Tröpfchen in den Schwebezustand zu bringen. Ohne elektrisches Feld sinken die Tröpfchen mit konstanter Geschwindigkeit nach unten.



Quelle: <http://www.phywe.de>

Millikan-Versuch (Quelle: wikipedia)

Beim **Millikan-Versuch** handelt es sich um ein Experiment, mit dem es dem amerikanischen Physiker Robert Andrews Millikan 1910 gelang, die Elementarladung präzise zu bestimmen. Der Versuch wurde zuvor von Harold Albert Wilson, Joseph John Thomson und anderen Forschern durchgeführt¹, Millikan verbesserte ihn aber maßgeblich und erhielt u.a. für diese Leistung den Nobelpreis.

Die wichtigste Verbesserung bestand darin, dass er die zuvor eingesetzten Stoffe Wasser bzw. Alkohol durch nichtflüchtige Flüssigkeiten wie Öl und Quecksilber ersetzte.

Um die Elementarladung zu bestimmen, maß Millikan die Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeit von geladenen Öltröpfchen in einem elektrischen Feld. Er ermittelte dabei einen Wert für die Elementarladung von

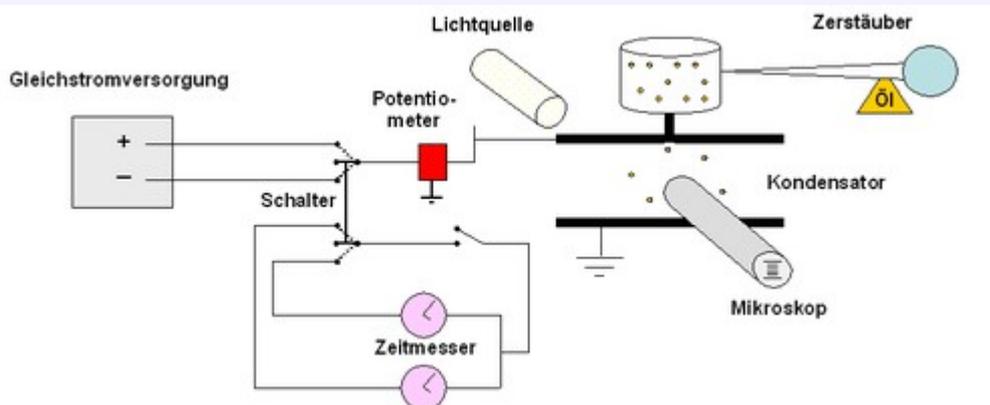
$$e = 4,774 \cdot 10^{-10} \text{ esu(fRANKLIN)} = 1,592 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb}$$

Der aktuell genaueste Wert dieser physikalischen Naturkonstanten beträgt

$$e = 1,602\,176\,53(14) \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

Inzwischen wurde Millikans Versuchsaufbau durch präzisere Methoden zur Bestimmung der Elementarladung ersetzt.

Versuchsaufbau (schematischer Versuchsaufbau)



Mit einem Zerstäuber werden feinste Öltröpfchen erzeugt. Diese Öltröpfchen sind so klein (etwa $0,5 \mu\text{m}$), dass man sie nicht einmal mit einem Mikroskop sehen kann. Daher verwendet man die Dunkelfeldbeleuchtung. Man beleuchtet die Tröpfchen mit Licht, das in einem bestimmten Winkel (ca. 150° zum Mikroskop) einfällt. Dadurch entstehen Beugungsscheibchen, die man im Mikroskop sehen kann. Zu beachten ist, dass das Mikroskop oben und unten vertauscht. Wenn das Tröpfchen sinkt, sieht man das Beugungsscheibchen nach oben wandern und umgekehrt. Diese Öltröpfchen werden elektrisch geladen, bei Millikans historischem Versuchsaufbau geschah dies durch eine Röntgenröhre. Die Röntgenstrahlung lädt dann die Öltröpfchen elektrostatisch auf, tatsächlich genügt aber die Reibung der Öltröpfchen an der Luft, um diese aufzuladen. Anschließend bringt man diese Tröpfchen in einen Plattenkondensator. Auf jedes Tröpfchen wirkt nun die Gravitationskraft, die das Tröpfchen nach unten zieht, und die Auftriebskraft der Öltröpfchen in der Luft, die nach oben gerichtet ist. Werden die Platten des Kondensators horizontal montiert, so kann man durch Anlegen einer geeigneten Spannung an den Kondensator eine elektrische Kraft derart auf die Tröpfchen ausüben, dass diese die anderen beiden Kräfte kompensiert. Somit kann man geladene Tröpfchen zum Schweben bringen. In diesem Schwebezustand ist die Schwerkraft F_G gleich der Kraft im elektrischen Feld F_E . Da sich das Öltröpfchen im Schwebezustand nicht bewegt, erfährt es keine Stokessche Reibung. Durch Lösung der Gleichung $F_E = F_G$ wäre die Ladung eines Öltröpfchens theoretisch bestimmbar. Dieses Verfahren ist allerdings nicht praktisch durchführbar, da die Beugungsscheibchen im Mikroskop keine Rückschlüsse auf den Radius eines Öltröpfchens zulassen.

Um den Radius der Tröpfchen zu ermitteln, kann der Umstand genutzt werden, dass sich durch das elektrische Feld im Kondensator und die Gravitationskraft einerseits, andererseits durch die geschwindigkeitsabhängige Reibungskraft ein Kräftegleichgewicht einstellt, das zu einer konstanten Sinkgeschwindigkeit v_1 führt. Beim Erreichen einer bestimmten Stelle A wird das elektrische Feld bei gleichem

Absolutwert der Spannung umgepolt. Dann steigt das Teilchen mit einer wiederum konstanten Geschwindigkeit v_2 . Da sich die Öltröpfchen bewegen, wirkt nun zusätzlich eine Stokessche Reibungskraft auf sie.

Berechnungen

Die Schwebemethode

Wirksame Kräfte

1. Gewichtskraft (eines kugelförmigen Öltröpfchens im homogenen

Schwerefeld der Erde):
$$F_g = m \cdot g = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot \rho_O \cdot g$$

2. Auftriebskraft (einer Kugel in Luft):
$$F_A = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot \rho_L \cdot g$$

3. Kraft im Elektrischen Feld:
$$F_E = q \cdot E = \frac{qU}{d}$$

Im Schwebezustand gilt: $F_E = F_g - F_A$

Im Folgenden wird die Auftriebskraft direkt in die Gewichtskraft einbezogen, indem $\rho = \rho_O - \rho_L$ (Dichte des Öls minus Dichte der Luft) gesetzt wird.

Berechnung der Ladung

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

Dabei bedeuten:

- π = Kreiszahl
- ρ = Dichte des Öls – Dichte der Luft
- g = Erdbeschleunigung
- U = Am Plattenkondensator angelegte Spannung
- d = Plattenabstand des Plattenkondensators

Probleme:

1. Der Schwebezustand kann aufgrund der Brownschen Bewegung nur schwer erkannt werden.
2. Da die Öltröpfchen nur als Beugungsscheibchen zu sehen sind, kann man den Radius nur sehr grob abschätzen.

Bestimmung des Radius durch eine Zusatzberechnung

Man kann das zweite Problem umgehen, indem man den Radius durch eine zusätzliche Berechnung bestimmt. Dazu lässt man das ausgewählte Öltröpfchen bei völlig entladendem Kondensator (kein elektrisches Feld) frei sinken. Dabei erhöht sich die Geschwindigkeit solange, bis sich Gravitation und Luftreibungskraft (Stokessche Reibung) kompensieren:

$$F_r = F_g$$

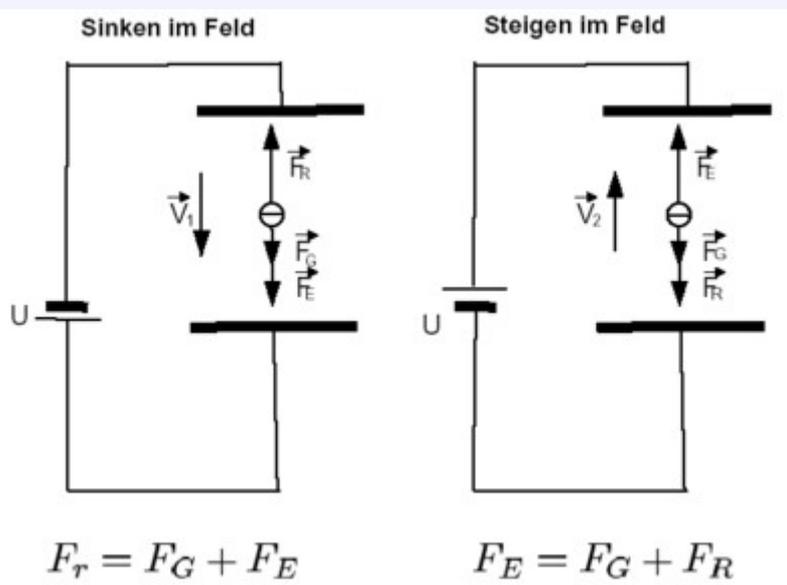
$$6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot v \cdot r = \frac{4}{3} \cdot r^3 \cdot \pi \cdot \rho \cdot g$$

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot v \cdot \eta}{2 \cdot \rho \cdot g}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{v \cdot \eta}{2 \cdot \rho \cdot g}}$$

- π = Kreiszahl
- η = Viskosität der Luft
- ρ = Dichte des Öls - Dichte der Luft
- g = Erdbeschleunigung
- v = Sinkgeschwindigkeit des Öltröpfchens (kein elektrisches Feld, wegen der Stokesschen Reibung konstant)

Die Gleichfeldmethode

Wirksame Kräfte



Kräfte im Millikan-Versuch

1. Gewichtskraft (einer Kugel im homogenen Schwerfeld der Erde):

$$F_g = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot \rho_o \cdot g$$

2. Auftriebskraft (einer Kugel):

$$F_A = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot \rho_L \cdot g$$

3. Stokessche Reibungskraft (einer Kugel):

$$F_R = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v^*$$

4. Kraft im Elektrischen Feld:

$$F_E = q \cdot E = \frac{qU}{d}$$

Dabei bedeuten:

- η = Viskosität der Luft
- ρ_o = Dichte des Öls
- ρ_L = Dichte der Luft
- v^* = Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeit des Öltröpfchens

Im Folgenden wird die Auftriebskraft direkt in die Gravitationskraft einbezogen, indem $\rho = (\text{Dichte des Öls} - \text{Dichte der Luft})$ gesetzt wird.

Berechnung von Ladung und Radius

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot (v_1 - v_2)}{2 \cdot \rho \cdot g}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{\eta}{2 \cdot \rho \cdot g} \cdot (v_1 - v_2)}$$

$$q = \frac{3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot (v_1 + v_2)}{E}$$

$$E = \frac{U}{d}$$

Berechnung von q in einer Formel, ohne vorher r und E zu berechnen:

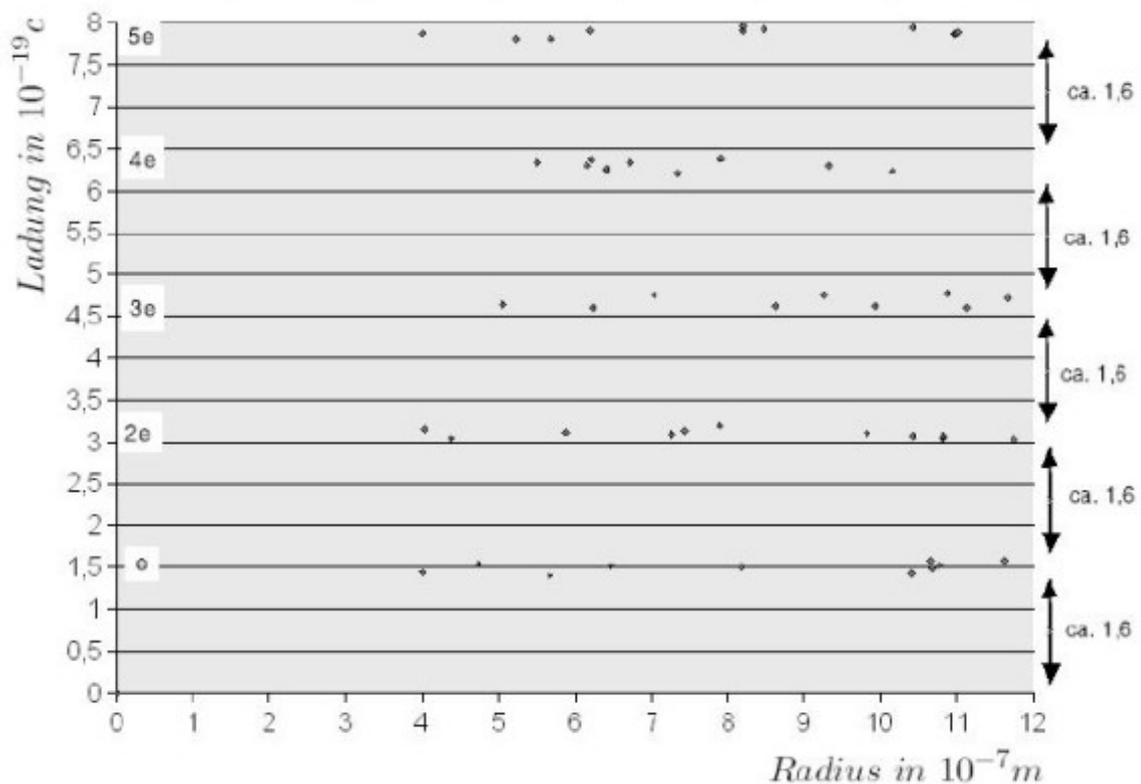
$$q = \frac{3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot (v_1 - v_2)}{2 \cdot \rho \cdot g}} \cdot (v_1 + v_2)}{\frac{U}{d}} = \frac{9 \cdot d \cdot \pi}{2 \cdot U} \cdot \sqrt{\frac{\eta^3}{\rho \cdot g}} \cdot \sqrt{v_1 - v_2} \cdot (v_1 + v_2)$$

Dabei bedeuten:

- π = Kreiszahl
- η = Viskosität der Luft
- ρ = Dichte des Öls – Dichte der Luft
- g = Erdbeschleunigung
- v_1 = Sinkgeschwindigkeit des Öltröpfchens
- v_2 = Steiggeschwindigkeit des Öltröpfchens
- E = Feldstärke des durch den Plattenkondensator hervorgerufenen homogenen elektrischen Feldes
- U = Am Plattenkondensator angelegte Spannung
- d = Plattenabstand des Plattenkondensators

Bestimmung der Elementarladung

Da jedes Öltröpfchen aus einer größeren Anzahl von Atomen besteht und nicht nur eine, sondern auch mehrere Ladungen tragen kann, ist jede berechnete Ladung q eines Öltröpfchens ein ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung. Zeichnet man die Ladungsverteilung vieler Versuche in ein Schaubild ein, ergibt sich keine kontinuierliche Verteilung, sondern es können nur Vielfache der Elementarladung $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ auftreten.



b) Gesucht: N

$$\begin{aligned}\text{Gegeben: } U &= 2,7 \text{ kV} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ V} \\ l &= 12 \text{ mm} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\ d &= 2,5 \text{ mm} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\ r &= 0,9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 0,9 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}\end{aligned}$$

Lösung:

Bei Vernachlässigung der Auftriebskraft gilt:

$$F_g = F_{el}$$

$$m \cdot g = Q \cdot E \quad (m = \rho \cdot V, \quad Q = N \cdot e)$$

$$\rho \cdot V \cdot g = N \cdot e \cdot E$$

$$\rho \cdot \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 \cdot g = N \cdot e \cdot \frac{U}{l}$$

$$N = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 \cdot g \cdot l \cdot \frac{1}{e \cdot U}$$

$$N = 0,9 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \frac{4}{3}\pi \cdot (1,25 \cdot 10^{-3} \text{ m})^3 \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 12 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-12} \text{ C} \cdot 2,7 \cdot 10^3 \text{ V}}$$

$$\underline{N = 2 \cdot 10^9}$$

Die zwischen den Kondensatorplatten schwebenden Tröpfchen tragen etwa 2 Mrd. Elementarladungen.