

Der Millikan-Versuch

Versuchsaufbau

Der Versuch besteht darin, geladene Öltröpfchen zwischen die zwei Platten eines Kondensators zu bringen und ihre Steige- und Fallgeschwindigkeiten zu messen. Hierbei wird zerstäubtes Öl durch eine Öffnung in einer der Platten gesprüht und die Tröpfchen mit dem Mikroskop beobachtet.

Gegebene Größen

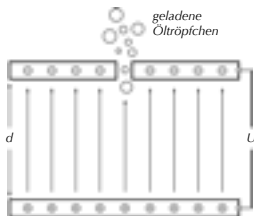
Plattenabstand $d = 0,6 \text{ cm}$

Viskosität der Luft $\eta = 1,82 \cdot 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$

Dichte der Luft $\rho_{\text{Luft}} = 1,29 \text{ g/l}$

Dichte von Öl $\rho_{\text{Öl}} = 860 \text{ g/l}$

Abstand der Skalenteile im Mikroskop
 $s = 8/15 \cdot 10^{-4} \text{ m}$



Gemessene Größen

Δt (Zeit, die das Tröpfchen benötigt, sich x Skalenteile weiterzubewegen)

x (Anzahl der Skalenteile, die das Tröpfchen während der Messung zurücklegt)

$$\Rightarrow \Delta s = s \cdot x$$

U (Spannung, die am Kondensator anliegt)

Versuchsdurchführung

Zunächst werden die Tröpfchen durch Verändern der Spannung zum Schweben gebracht. Sie erfahren dann durch das nun herrschende Kräftegleichgewicht $F_G = F_{El}$ keine Beschleunigung mehr und bewegen sich deshalb nicht mehr. Die eingestellte Spannung U_1 wird notiert, sie ist notwendig für die Berechnung der Feldstärke.

Dann wird die Spannung abgeschaltet ($U_2 = 0 \text{ V}$). Mithilfe einer elektronischen Uhr wird die Zeit Δt , die das Tröpfchen benötigt, um sich um x Skaleneinheiten nach unten zu bewegen, gemessen. Die Anzahl der Skalenstriche x wird dabei im Voraus festgelegt. Zu beachten ist hier, dass aufgrund der verwendeten Umkehrlinse des Mikroskops sich das Tröpfchen tatsächlich nach oben zu bewegen scheint.

Theorie

Die angewandte Methode des Millikan-Versuchs arbeitet mit Kräftegleichgewichten. Im schwebenden Zustand wirkt die elektrische Feldkraft auf das Tröpfchen ebenso stark wie die Gravitationskraft.

$$F_{El} = F_G$$

Hierdurch ergibt sich die folgende Gleichung:

$$q \cdot E = m \cdot g$$

Umgeformt nach der Ladung q des Tröpfchens, und mit dem Quotienten U/d für die Feldstärke eingesetzt ergibt sich dann:

$$q = \frac{m \cdot g \cdot d}{U}$$

Um die Ladung zu bestimmen, fehlt jedoch noch die Kenntnis der Masse des Tröpfchens. Für deren Berechnung wird die Tatsache ausgenutzt, dass die Stoke'sche Luftreibungskraft nach einer kurzen Beschleunigungsphase gleich groß wie die Gravitationskraft ist.

$$F_R = F_G$$

Die Stoke'sche Reibungskraft ist definiert wie folgt:

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

Außerdem kann man aus der Formel zur Volumenberechnung einer Kugel (deren Form das Öltröpfchen zweifellos einnimmt) und der Dichte des Öls einen Zusammenhang zwischen der Masse m und dem ebenfalls unbekannten Tröpfchenradius r herstellen:

$$m = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{\text{Öl}}$$

Somit ergibt sich folgender Zusammenhang:

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

Umgeformt nach r :

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot v}{2 \cdot g \cdot \rho_{\text{Öl}}}}$$

Somit ergibt sich für die Masse m :

$$m = \frac{9\pi \cdot \eta \cdot v}{g} \sqrt{\frac{2 \cdot \eta \cdot v}{g \cdot \rho_{\text{Öl}}}}$$

Eingesetzt in obige Formel für q :

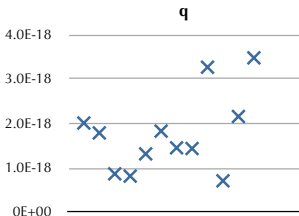
$$q = \frac{9\pi \cdot \eta \cdot v \cdot d}{U} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \eta \cdot v}{g \cdot \rho_{\text{Öl}}}}$$

Messergebnisse und Auswertung

Mit der nun erarbeiteten Formel und den Messergebnissen aus dem Versuch ergeben sich die folgenden Werte:

Messung	U in V	Δt in s	k	Δs in m	v in m/s	q in C	q/e
1	105	11.21	10	5.33E-04	4.76E-05	2.00E-18	12.53
2	145	9.78	10	5.33E-04	5.45E-05	1.78E-18	11.13
3	175	14.03	10	5.33E-04	3.80E-05	8.59E-19	5.37
4	63	28.89	10	5.33E-04	1.85E-05	8.07E-19	5.05
5	65	30.76	15	8.00E-04	2.60E-05	1.31E-18	8.18
6	188	8.1	10	5.33E-04	6.58E-05	1.82E-18	11.39
7	40	13.26	5	2.67E-04	2.01E-05	1.45E-18	9.04
8	96	14.91	10	5.33E-04	3.58E-05	1.43E-18	8.93
9	131	6.99	10	5.33E-04	7.63E-05	3.26E-18	20.39
10	200	14.7	10	5.33E-04	3.63E-05	7.01E-19	4.38
11	75	13.38	10	5.33E-04	3.99E-05	2.15E-18	13.45
12	95	16.61	20	1.07E-03	6.42E-05	3.47E-18	21.71

Die resultierenden Ladungen sind ganzzahlige Vielfache von e . Bei sehr genauer Messung kann festgestellt werden, dass sich bestimmte Werte häufen. Von diesen wird das kleinste gemeinsame Vielfache bestimmt, somit erhält man die Elementarladung e . Um dies zu verdeutlichen, sind hier die Messergebnisse für q in einem Diagramm aufgetragen, es kann eine Häufung um bestimmte horizontale Geraden festgestellt werden.



Mögliche Fehlerquellen

Wegen der Komplexität des Experimentes können hierbei viele Fehler auftreten. Am offensichtlichsten sind natürlich Messfehler, die vor allem bei der Messung von U auftreten können. Auch bei der Feststellung der zurückgelegten Strecke s kann ein Fehler auftreten, wenn zum Beispiel die Uhr nicht rechtzeitig abgeschaltet wird; es ist ohnehin nahezu unmöglich, genau festzustellen, wann das Tröpfchen eine ganzzahlige Anzahl Skalenstriche hinter sich gelassen hat. Der Wert, der für letzteren Abstand verwendet wird, oder auch der Plattenabstand des Kondensators, kann ebenfalls Ungenauigkeiten aufweisen.

Des weiteren gilt das Stokes'sche Gesetz bei diesem Versuch nur näherungsweise, weil die Tröpfchen sehr klein sind. Dieser Fehler kann jedoch laut LEIFI durch die Anwendung der Cunningham'schen Korrektur ausgemerzt werden.