



Millikan Experiment

Anleitung

educentral Lehrmittel
Siedlerstr. 7B
D-83064 Raubling
Deutschland/Germany

Spannung zwischen Platten 0 - 500 V
Abstand zwischen Platten 5 mm \pm 0,2 mm
Vergrößerung des Messmikroskops 30 X
Lineares Sichtfeld 3 mm
Gesamtteilung der Skala 2 mm
Auflösung des Objektivs 100 Linien/mm

A: Versuchsdurchführung

1. Ausrichtung der Apparatur

- Stellen Sie die Füße der Apparatur so ein, dass die Blase in der Mitte der Wasserwaage ist.
- Stellen Sie die Spannung mit dem Drehregler (gegen den Uhrzeigersinn) auf 0. Stellen Sie den Schalter auf die mittlere Position 0. Stecken Sie das Kabel in die Apparatur und in die Steckdose. Schalten Sie ein.
- Drehen Sie das Okular um das Fadenkreuz zu fokussieren, ohne das beobachtete Bild zu beeinträchtigen.
- Öffnen Sie den Öltropfenbehälter, führen Sie eine Fokussiernadel (z. B. einen Stift) ein und drehen Sie am Fokussierad bis die Fokussiernadel deutlich im Mikroskop zu erkennen ist. Entfernen Sie abschließend die Fokussiernadel und schließen Sie die Öltropfenabdeckung.

2. Probemessung

- Öl sprühen: Sprühen Sie mit dem Sprühgerät Öltropfen durch das Sprühloch in den Öltropfenbehälter, während Sie die Öltropfen mit dem Mikroskop beobachten. Sprühen Sie nicht zu viel Öl. Ein- oder zweimaliges Sprühen sollte ausreichen.
- Kontrolle der Bewegung: Stellen Sie eine Spannung ein (z. B. 200 V) und drücken Sie damit überflüssige Öltropfen aus dem Öltropfenbehälter, bis nur noch ein paar wenige Öltropfen vorhanden sind. Die Tropfen bleiben im Öltropfenbehälter und bewegen sich langsam nach unten. Durch Umlegen des Schalters zwischen oberer und mittlerer Stellung können sich die Öltropfen nach oben oder unten bewegen. Wiederholen Sie diesen Vorgang mehrmals, um sicherzustellen, dass die Öltropfen nicht aus den oberen und unteren Grenzen des Fadenkreuzes des Okulars (ca. 2,0 mm Sichtfeld) hinausbewegen. Bitte beachten Sie, dass das beobachtete Bild invers ist. Die Bewegungsrichtung der beobachteten Öltropfen ist also genau entgegengesetzt zur tatsächlichen Richtung.
- Öltropfen auswählen: Eine der größten Herausforderungen in diesem Experiment besteht darin, die richtigen Öltropfen auszuwählen. Wenn die Öltropfen zu groß sind, ist ihre gleichmäßige Fallgeschwindigkeit zu schnell, was dazu führt, dass diese großen Öltropfen mehr Ladungen tragen und eine höhere Spannung an die Polarplatten angelegt wird. Dadurch wird die Messgenauigkeit verringert. Wenn hingegen die Öltropfen zu klein sind,

sind sie anfällig für thermische Bewegungen und daher schwer zu kontrollieren. Im Es sollten Öltropfen mittlerer Größe und mit langsamer Anstiegs- oder Abfallgeschwindigkeit verwendet werden. Wenn 200 V angelegt werden, sind Öltropfen, die sich in 10 bis 50 Sekunden über das gesamte Sichtfeld (2,0 mm) bewegen, am besten geeignet.

- Messung der gleichmäßigen Bewegung von Öltropfen: Wählen Sie mehrere Öltropfen mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten aus und messen Sie mit einer Stoppuhr den Abfall oder Anstieg der Öltropfen über eine bestimmte Distanz (z. B. 2,0 mm). Stoppuhr und Umschalter synchronisieren, Messung mehrmals wiederholen.

3. Messung

- Sprühen Sie das Öl wie beschrieben ein.

- Legen Sie ca. 200 V an die Polplatten an, um unerwünschte Öltropfen aus der Öltropfenbox zu drücken, bis nur noch wenige sich langsam bewegende Öltropfen in der Kammer verbleiben. Überwachen Sie einen Öltropfen, indem Sie den Öltropfen mit dem Fokussierad fokussieren, sodass der Öltropfen deutlich unter dem Mikroskop beobachtet werden können. Messen Sie die Zeit, die für die Aufstiegsbewegung des Öltropfens (unter dem Mikroskop als Fallbewegung beobachtet) über eine bestimmte Distanz (2,0 mm) erforderlich ist.

- Bringen Sie den Umschalter in die Mittelstellung und messen Sie die Zeit, die der Öltropfen für die Fallbewegung über die gleiche Distanz benötigt.

- Wiederholen Sie die oben genannten Messungen für verschiedene Öltropfen (5 bis 10 Tropfen). Führen Sie dann die Berechnung durch, s. unten.

- Nach dem Experiment sollte der Behälter herausgenommen und mit einem trockenen Tuch gereinigt werden.

Warnung: Aufgrund des Hochspannungsrisikos ist die Verwendung eines Volt- oder Ohmmeters zum Messen der Spannung zwischen den Elektroden verboten.

B: Theorie und Berechnung

Gelangt ein Öltropfen mit der Masse m und der Ladung e in die Ölkammer, fällt er unter der Schwerkraft frei nach unten, wenn zwischen den parallelen Polplatten keine Spannung anliegt. Wenn die Schwerkraft gegen den Luftwiderstand ausgeglichen wird (wobei der Luftauftrieb vernachlässigt wird), fällt der Öltropfen mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von v_g nach unten, wie durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$mg = f_a \quad (1)$$

Dabei ist f_a der Luftwiderstand, wenn der Öltropfen mit der gleichmäßigen Geschwindigkeit v_g herunterfällt, und g die Gravitationskonstante. Nach dem Gesetz von Stokes beträgt der auf den Öltropfen ausgeübte Luftwiderstand

$$f_a = 6\pi\eta r V_g \quad (2)$$

Dabei wirkt die Schwerkraft auf den Öltropfen

$$G = mg = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g \quad (3)$$

wobei η der Viskositätskoeffizient für Luft ist; ρ ist die Dichte des Öltropfens; und r ist der Radius von dem Öltropfen. Durch Kombination der Gleichungen (1) bis (3) kann der Radius des Öltropfens wie folgt abgeleitet werden:

$$r = 3 \sqrt{\frac{\eta V_g}{2g\rho}} \quad (4)$$

Wenn ein elektrisches Feld über die parallelen Polarplatten angelegt wird, unterliegt der Öltropfen der Kraft des elektrischen Feldes. Wenn Stärke und Polarität des elektrischen Feldes richtig gesteuert und ausgewählt werden, kann der Öltropfen unter dem Einfluss des elektrischen Feldes nach oben steigen. Wenn die Kraft des auf den Öltropfen ausgeübten elektrischen Feldes mit der Summe der Schwerkraft und dem auf den Öltropfen ausgeübten Luftwiderstand im Gleichgewicht steht, steigt der Öltropfen mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von V_s nach oben. Folglich gilt:

$$mg + f_a' = QE \quad (5)$$

Dabei ist E die Stärke des an die parallelen Polarplatten angelegten elektrischen Feldes und Q die elektrische Ladung auf dem Öltropfen.

Aus den Gleichungen (1) und (2) kann Gleichung (3) umgeschrieben werden zu

$$mg + f_a' = f_a + f_a' = 6\pi\eta r(V_g + V_s) = QE = Q \frac{U}{d} \quad (6)$$

Folglich gilt:

$$Q = \frac{6\pi\eta r d (V_g + V_s)}{U} \quad (7)$$

Dabei sind U und d die Spannung bzw. der Abstand zwischen den parallelen Polarplatten. Gleichung (7) wird unter der Annahme abgeleitet, dass sich der Öltropfen in einem kontinuierlichen Medium befindet. In diesem Experiment beträgt der Radius des Öltropfens nur 10^{-6} m und ist daher mit Luftmolekülen vergleichbar. Dadurch wird Luft nicht mehr als kontinuierliches Medium betrachtet. Daher muss die Gleichung (7) geändert werden zu:

$$Q = \frac{6\pi\eta r d}{U} (V_g + V_s) \left(1 + \frac{8.12 \times 10^{-8}}{Pr} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (8)$$

Dabei ist P der atmosphärische Druck in der Einheit atm (ungefähr $P=1$ atm). In diesem Experiment beträgt der Viskositätskoeffizient für Luft $\eta=1,83 \times 10^{-5}$ kg/ms; die Dichte des Öltropfens beträgt $\rho=981$ kg/m³; und der Abstand zwischen den parallelen Polarplatten beträgt $d=5 \times 10^{-3}$ m.

Daher sollten zuerst V_g , V_s und U gemessen werden; dann kann der Radius des Öltropfens r aus Gleichung (4) berechnet werden; Schließlich kann die Menge der elektrischen Ladung auf dem Öltropfen aus Gleichung (8) ermittelt werden. Viele Öltropfen wurden mit der oben genannten Methode gemessen und die Ergebnisse zeigen, dass die von Öltropfen getragenen Ladungsmengen immer ein Vielfaches eines bestimmten Mindestwerts sind. Dieser minimale feste Ladungswert ist die Elementarladung, definiert als $e \approx 1,6021892 \times 10^{-19}$ Coulomb.

Bei der Verarbeitung der experimentellen Daten können die Daten in umgekehrter Reihenfolge verifiziert werden: Teilen Sie die experimentellen Daten (Ladungsmenge Q) durch den bekannten Wert der elektrischen Elementarladung $e \cong 1,6021892 \times 10^{-19} \text{ C}$. Der erhaltene Quotient liegt nahe beieinander auf eine bestimmte ganze Zahl, die der vom Öltropfen getragenen Ladungsmenge n entspricht. Durch Division von Q durch n erhält man den Quotienten experimenteller Wert der Elementarladung.