

Millikan-Versuch

1 Vorausgesetzte Kenntnisse

1. Eigenschaften des Elektrons, Elementarladung
2. Feld eines Plattenkondensators
3. Stokes'sches Gesetz
4. Prinzip des Mikroskops

2 Literatur

- **Meschede, D.:** *Gerthsen Physik*, 25. Auflage, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015. (erhältlich als E-Book über die ULB)
- **Walcher, W.:** *Praktikum der Physik*, 9. überarb. Auflage, Teubner Verlag, Wiesbaden, 2006.

3 Teileliste

- Netzgerät,
- zwei elektrische Zeitmesser,
- Millikan-Kondensator,
- Lampe,
- Beobachtungsmikroskop,
- Ölzerstäuber.

Schauen Sie auch nach der Abteilung E-Lehre in den Webseiten des Grundpraktikums

4 Grundlagen

Mit Hilfe eines Zerstäubers werden Öltröpfchen in einen luftgefüllten Plattenkondensator eingebracht. Auf diese Tröpfchen wirken folgende Kräfte: Gewichtskraft, Auftriebskraft, elektrische Feldkraft (sofern das Tröpfchen geladen ist) sowie die Stokes'sche Reibungskraft. Außerdem unterliegen alle Tröpfchen der Brown'schen Molekularbewegung.

Ziel des Versuches ist es, die *Ladung* der Tröpfchen zu bestimmen. Die Tröpfchen bewegen sich unter dem Einfluss des elektrischen Feldes und der Gewichtskraft. Wegen der Reibungskraft stellt sich rasch eine stationäre Geschwindigkeit ein, die mit Hilfe der Zeitmesser und einer bekannten Wegstrecke s gemessen wird. Die Platten des Millikan-Kondensators liegen übereinander, so dass alle auftretenden Kräfte in einer Linie (lotrecht) wirken. Die Kondensatorspannung kann wahlweise an- oder abgeschaltet werden. Damit

erhält man als stationäres Kräftegleichgewicht für die beiden Fälle eines steigenden (1) oder fallenden (2) Öltröpfchens:

$$\frac{qU}{d} - \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot (\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}}) \cdot g = 6\pi\eta \cdot r \cdot v_1, \quad (1)$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \cdot (\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}}) \cdot g = 6\pi\eta \cdot r \cdot v_2, \quad (2)$$

wobei $v_1 = s/t_1$; $v_2 = s/t_2$; $s = \tilde{s}/M$.

Es bedeuten:	U = Spannung am Millikan-Kondensator;
ρ = Dichte;	d = Plattenabstand des Kondensators;
q = Ladung des Tröpfchens;	g = Fallbeschleunigung;
r = Radius des Tröpfchens;	η = Viskosität der Luft;
s = Messstrecke;	t = Zeit zum Durchlaufen der Messstrecke;
\tilde{s} = Länge der abgelesenen Strecke;	M = Objektivvergrößerung des Mikroskops.

Aus (1) und (2) lässt sich nun r und q berechnen; man erhält:

$$r = \left(\frac{9\eta}{2 \cdot (\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}}) \cdot g} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{s}{t_2} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

$$q = \frac{18\pi d}{(2 \cdot (\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}}) \cdot g)^{1/2}} \cdot \eta^{3/2} \cdot \frac{(1/t_1 + 1/t_2) \cdot s^{3/2}}{U \cdot t_2^{1/2}}. \quad (4)$$

Cunningham-Korrektur:

Bei der Ableitung des Stokes'schen Gesetzes wird ein kontinuierliches homogenes Umgebungsmedium vorausgesetzt; in einem Gas ist diese Voraussetzung jedoch nur dann gegeben, wenn die Abmessungen der Kugel groß gegen die mittlere freie Weglänge der Gasteilchen sind.

Die mittlere freie Weglänge für Luft bei Raumtemperatur ist ca. 100 nm, so dass man für die beobachteten Tröpfchen nennenswerte Abweichungen vom Stokes'schen Gesetz erwarten muss. Diese Abweichungen lassen sich erfassen, indem man, anstatt einer konstanten Viskosität η von Luft, eine vom Tröpfchenradius r abhängige Viskosität η_C einführt. Man hat empirisch folgende Abhängigkeit gefunden (Cunningham-Korrektur):

$$\eta_C = \frac{\eta}{1 + r_0/r} \quad (5)$$

r_0 ist dabei der Tröpfchenradius, bei dem $\eta_C = \eta/2$ ist.

Berücksichtigt man diese Abhängigkeit, so muss q korrigiert werden. Sei q_C der korrigierte Wert, so erhält man aus (4) und (5):

$$q_C = q \cdot \left(1 + \frac{r_0}{r} \right)^{-3/2} \quad (6)$$

Da der Tröpfchenradius r auch eine Funktion der Viskosität η ist, müsste man für eine exakte Behandlung einen korrigierten Radius r_C einführen und in den Gleichungen (5) und (6) berücksichtigen. Da dies jedoch für die auftretenden Tröpfchenradien bei der Berechnung von q_C zu einer relativen Unsicherheit von weniger als 2% führt, darf hier in hinreichender Näherung mit r gerechnet werden.

Messung: Öl zerstäuben, geladenes Tröpfchen suchen (An-/Abschalten der Spannung), über eine bestimmte Anzahl Mikrometerskalenteile steigen lassen, dann dieselbe Strecke ohne Spannung sinken lassen (Bildumkehr im Mikroskop berücksichtigen).

Das lange einäugige Beobachten kann sehr anstrengend werden, daher stehen zur Erleichterung Augenklappen zur Verfügung, die vom Assistenten bei Bedarf ausgegeben werden.

5 Hausaufgaben

Vor dem Praktikumstermin zu Hause zu erledigen:

1. Leiten Sie die Gleichungen (3), (4) und (6) her.
2. Bereiten Sie die Bilanzierung der Messunsicherheiten für die Tröpfchenladung q vor (Gleichung 4). Nehmen Sie an, dass die Zeiten t_1 und t_2 , die Strecke s sowie die Spannung U mit Unsicherheiten behaftet sind.
3. Arbeiten Sie die unten angegebenen Werte in die Gleichungen (3) und (4) ein, damit Sie für Präsenzaufgabe 2 möglichst „bequeme“ Formeln besitzen, in die Sie gemessene Zeiten in Sekunden, Strecken in Metern, Spannungen in Volt einsetzen können, um den Radius r des Tröpfchens in Nanometern und seine Ladung q in Coulomb zu erhalten.
4. Machen Sie Sich mit Ihrem Taschenrechner vertraut, um zügig und sicher zu rechnen. Insbesondere das Abspeichern von Zwischenergebnissen und mehrfache Ausführen der gleichen Rechnung für verschiedene Zahlen sind sehr hilfreich.

6 Präsenzaufgaben

1. Messen Sie Steig- und Fallzeit von insgesamt 10 Tröpfchen, fünf mit $U = 300\text{ V}$ und fünf mit $U = 600\text{ V}$. Achten Sie auf eine möglichst große Wegstrecke, um die relative Unsicherheit zu minimieren.
2. Berechnen Sie aus den Messwerten die Größen r , q und q_C .
3. Diskutieren Sie die Unsicherheitsbilanzierung und berechnen Sie die Messunsicherheit für 4 verschiedene Tröpfchenladungen q (nicht q_C).

Hinweis: Bitte nutzen Sie die Gelegenheit, bei diesem Versuch den zügigen und sicheren Umgang mit Ihrem Taschenrechner einzuüben und benutzen Sie *keinen* Laptop und *keine* Tabellenkalkulation.

- Tragen Sie Ihre Werte für q und q_C in die Schautafeln im Praktikumsraum ein. •

Zahlenwerte:

$s_0 = 10$	mm	Skalenlänge des Okularmikrometers
$M = \frac{15}{8}$		
$\eta = 1,81 \cdot 10^{-5}$	$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$	
$\rho_{\text{Luft}} = 1,29$	kg m^{-3}	
$\rho_{\text{Öl}} = 875,3$	kg m^{-3}	
$g = 9,81$	m s^{-2}	
$d = 6$	mm	
$r_0 = 76$	nm	(für Luft bei Raumtemperatur und Normaldruck)