

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Versuche AP1 (neue Fassung 10/2010)

Messung der Elementarladung:

Der Millikan'sche Öltröpfchenversuch

TEX: 17. April 2013

I. Zielsetzung des Versuchs

Die Bewegung elektrisch geladener Öltröpfchen in einem elektrischen Feld wird beobachtet, um die Quantelung der elektrischen Ladung nachzuweisen und die Elementarladung zu bestimmen.

II. Vorkenntnisse

Der Millikan-Versuch.

Der Begriff der Viskosität von Gasen und Flüssigkeiten.

Laminare Strömungen.

Das Stokes'sche Gesetz für die Bewegung von Körpern in viskosen Medien.

Der Begriff der mittleren freien Weglänge von Gasatomen.

Literatur

Lehrbücher:

A. C. MELISSINOS: *Experiments in Modern Physics*, S. 2-8 (Univ.-Bibliothek: 91 UAP 1794)

H. VOGEL: *Gerthsen Physik*, Kap. 3.3.2, 3.3.3 und 3.3.5 (Univ.-Bibliothek: 91 UAP 1469(20))

Originalliteratur:

R. A. MILLIKAN: *The isolation of an ion, a precision measurement of its charge and the correction of Stokes law*, Phys. Rev. 32, 349 (1911)

III. Einordnung des Versuches

Ein Ihnen lange bekanntes Quantenphänomen aus dem Bereich der Physik ist die Tatsache, daß es eine kleinste Ladungseinheit, nämlich die Elementarladung e gibt. Im Jahr 1909 gelang es R. A. MILLIKAN, diese Elementarladung direkt zu messen, indem er die Bewegung mikroskopisch kleiner Öltröpfchen im homogenen Feld eines Plattenkondensators studierte. Sie sollen diesen Versuch wiederholen und einen möglichst genauen Wert für e ermitteln. Die physikalischen Grundlagen dafür sind recht einfach. Der Einfluß viskoser Kräfte auf die im Schwere- und elektrischen Feld bewegten Öltröpfchen bedarf allerdings genauerer Vorbereitung. Experimentell ist der Versuch anspruchsvoll und bietet Ihnen eine Gelegenheit, Ihre Experimentierkunst unter Beweis zu stellen.

IV. Versuchsprogramm

Im Praktikum wird zur Durchführung des Millikan-Versuchs ein Aufbau der Firma Leybold verwendet. Eine genaue Beschreibung der Apparatur und ihrer Funktion finden Sie im folgenden Kapitel. Die genauesten Meßwerte für die Elementarladung erhält man, indem man die Steiggeschwindigkeit der geladenen Öltröpfchen im elektrischen Feld des Kondensators mißt, sowie deren Fallgeschwindigkeit im freien Fall.

1. Nachweis der Quantisierung der elektrischen Ladung

Als Vorversuch zum eigentlichen Experiment, der Bestimmung der Elementarladung e , sollen Sie die Quantisierung der Ladung auf den Öltröpfchen nachweisen. Messen Sie hierzu insgesamt etwa 10 Tröpfchen aus, deren

Ladung kleiner als $10e = 1,6 \times 10^{18} \text{ C}$ sein soll. Berechnen Sie dazu die Ladung auf den Tröpfchen unter der Annahme, daß das Stokes'sche Gesetz auch für diese mikroskopisch kleinen Partikel gültig ist. Setzen Sie die Viskosität der Luft dabei mit $\eta = 1,81 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$ an. Tragen Sie Ihre Ergebnisse in einem Histogramm auf.

2. Messung der Elementarladung

Führen Sie die unter 1. beschriebenen Messungen weiter durch, bis Sie etwa 30 Tröpfchen untersucht haben. Ermitteln Sie anschließend die Ladung jedes Tröpfchens möglichst genau. Wichtig ist dabei, daß Sie die Korrektur am Stokes'schen Gesetz berücksichtigen, die immer dann anzuwenden ist, wenn die Größe des Öltröpfchens im Bereich der mittleren freien Weglänge der Luftmoleküle ist. Bei dieser Korrektur wird die Viskosität η durch folgenden Ausdruck ersetzt:

$$\eta(T) = \frac{\eta_0(T)}{1 + \frac{b}{rp}}$$

(siehe hierzu A. C. MELISSINOS: *Experiments in Modern Physics*, Seite 6, und die nachfolgende Leybold-Anleitung, Kapitel 4.6.)

Bestimmen Sie abschließend durch eine geeignete Mittelwertbildung aus allen Messungen die Elementarladung e unter Angabe von statistischen und systematischen Fehlern.

V. Detailangaben zum Versuch

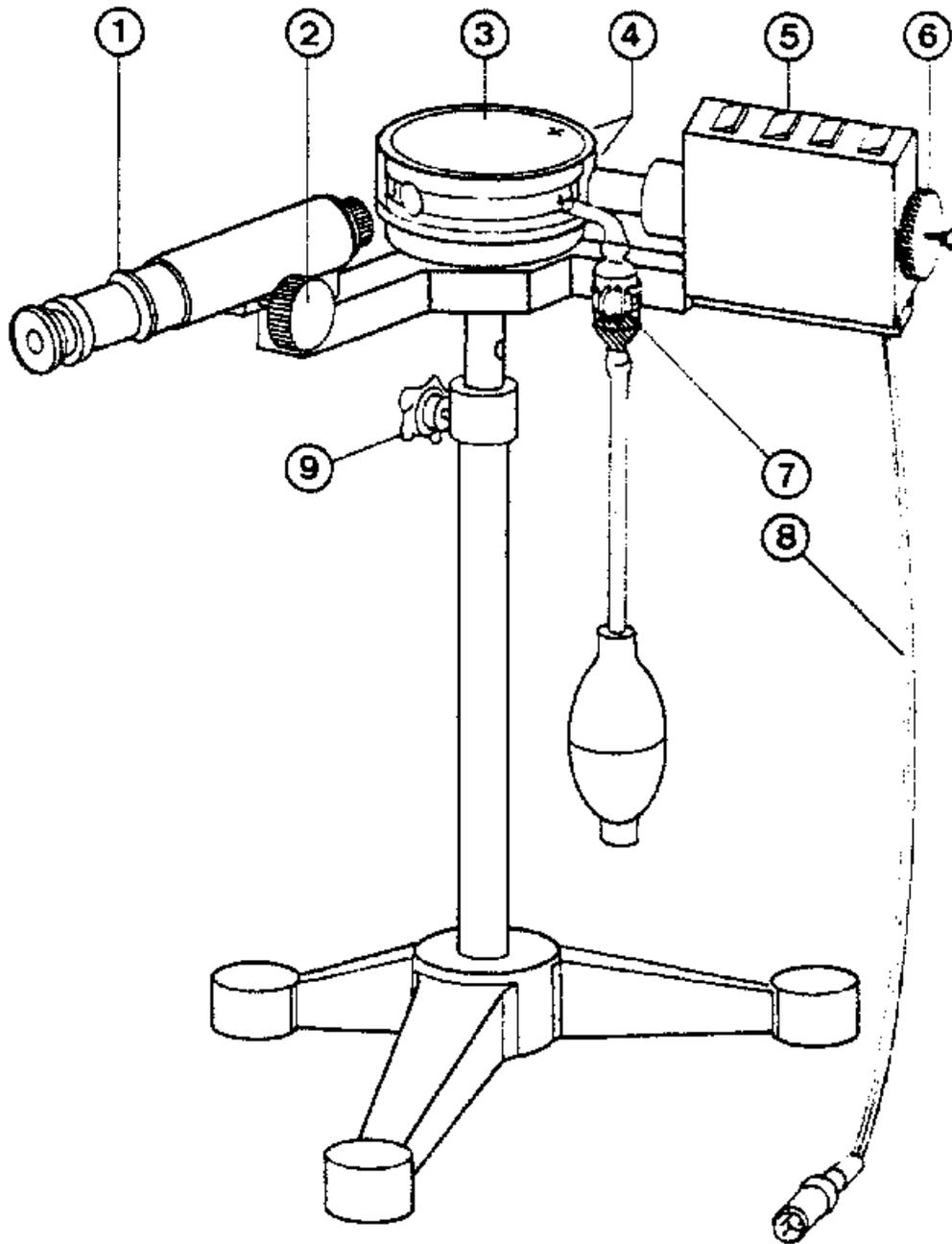
Der folgende Text stammt aus der Gebrauchsanleitung von Leybold (bearbeitet im Hinblick auf unseren Versuchsaufbau). Führen Sie den Versuch unbedingt im verdunkelten Raum durch (kleine Tröpfchen sind dann besser sichtbar). Falls Sie keine Tröpfchen erhalten, sollten Sie die Öffnung des Glaszerstäubers genau vor die beiden Bohrungen des Kondensatorhalters bringen. Kontrollieren Sie den Füllstand des Glaszerstäubers: die vertikale Glaskapillare, die seitlich angeblasen wird, muß bis oben gefüllt sein. Dazu müssen Sie evtl. vor Versuchsbeginn mehrfach mit dem Gummiball pumpen, damit das Öl in der Kapillare hochgesaugt wird.

LEYBOLD AG Physik 10/87 - Ha/Sf - Gebrauchsanweisung 559 41/42 Millikangerät

Das Millikangerät mit Netzgerät wird in Verbindung mit zwei elektrischen Stoppuhren zum Nachweis der Quantelung der elektrischen Ladung sowie zur Bestimmung der Elementarladung verwendet.

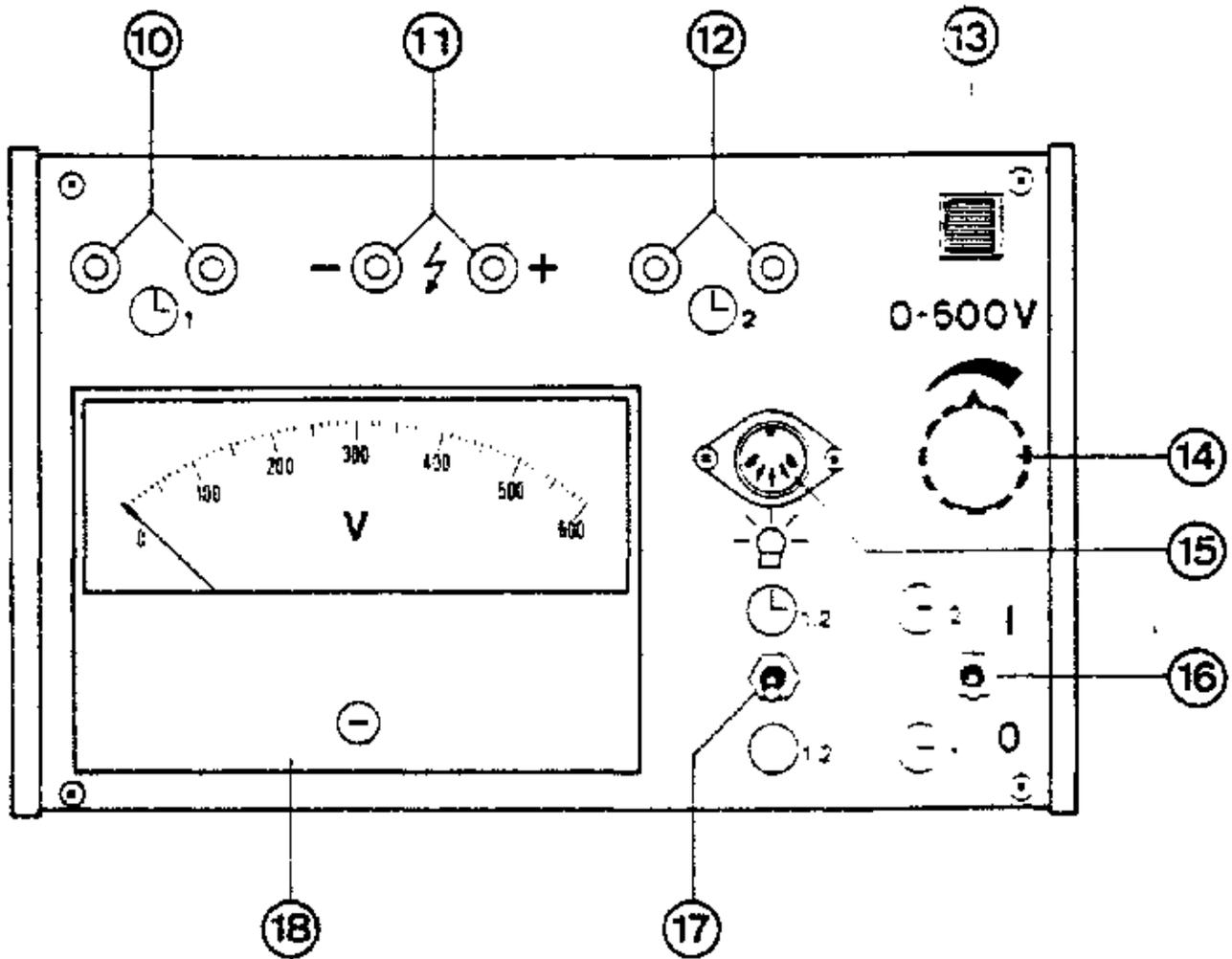
1. Beschreibung

1.1. Millikangerät (Fig. 1)



- (1) Meßmikroskop mit Okularmikrometer
- (2) Rändelschraube für Mikroskopeinstellung
- (3) Millikankammer (Plattenkondensator) mit Kunstglasabdeckung
- (4) Buchsenpaar zum Anschluß der Gleichspannung für den Plattenkondensator
(aus Buchsenpaar (11) entnehmbar, über Knopf (14) einstellbar)
- (5) Beleuchtungseinrichtung
- (6) Rändelschraube für Lampenjustierung
- (7) Ölzerstäuber mit Gummiball in federnder Halterung
- (8) Anschlußkabel für Lampenspannung (aus Vielfachbuchse (15))
- (9) Schraube für Höhenverstellung (zur Anpassung des Mikroskopeinblicks an die Augenhöhe des Experimentors)

1.2. Netzgerät (Fig. 2)



- (10) Buchsenpaar für Stoppuhr 1 - zum Messen der Fallzeit
- (11) Buchsenpaar zum Anschluß der Millikanammer
- (12) Buchsenpaar für Stoppuhr 2 - zum Messen der Steigzeit
- (13) Netzkontrolllampe
- (14) Drehknopf zum Einstellen der Kondensatorspannung 0 - 600 V
- (15) Vielfachbuchse zum Anschluß der Beleuchtungseinrichtung
- (16) Schalter zum Ein- und Ausschalten der Spannung 0 - 600 V bei gleichzeitiger Inbetriebnahme der Stoppuhren entsprechend der Symbolik
- (17) Schalter zum Öffnen und Schließen der Schaltstromkreise der elektrischen Stoppuhren
- (18) Voltmeter 0 - 600 V zur Anzeige der mit Drehknopf (14) eingestellten Spannung für die Kondensatorplatten der Millikanammer. Netzschalter, Feinsicherung und Netzanschlußstecker befinden sich an der Rückwand des Gerätes.

2. Funktionsweise

Voraussetzung für dieses erstmals 1913 von R. A. MILLIKAN beschriebene Verfahren¹ ist die Tatsache, daß auf ein im homogenen Feld eines Plattenkondensators bewegliches, elektrisch geladenes Öltröpfchen verschiedene Kräfte wirken, die indirekt meßbar sind.

Bringt man ein elektrisch geladenes Öltröpfchen mit der Masse m_{Oel} und der Ladung Q in das homogene Feld eines Plattenkondensators mit der Feldstärke E , so wirken auf dieses Tröpfchen die folgenden Kräfte:

- die Gewichtskraft $m_{Oel} \cdot g$
- die Auftriebskraft $m_L \cdot g$ (m_L = Masse der durch das Öltröpfchen verdrängten Luftmenge)
- die elektrische Kraft QE
- nur wenn sich das hierbei als kugelförmig angesehene Tröpfchen gegenüber der umgebenden Luft bewegt: die Stokessche Reibungskraft $6\pi r\eta v$. (η = Viskosität der Luft, r = Radius des Tröpfchens, v = Bewegungsgeschwindigkeit).

Schreibt man unter Berücksichtigung der Auftriebskraft für $m_{Oel} - m_L = m$ und für $\rho_{Oel} - \rho_L = \rho$, wobei ρ_{Oel} die Dichte des Öles, ρ_L die Dichte der Luft und m und ρ die entsprechenden, um die Wirkung des Auftriebes verkleinerten Größen darstellen, so folgt, unter der Voraussetzung, daß eine nach unten gerichtete Kraft positiv anzusetzen ist, für ein Tröpfchen, das im feldfreien Raum mit der Geschwindigkeit v_1 sinkt, folgender Kräfte-Ansatz:

$$\begin{aligned}mg - 6\pi r v_1 \rho &= 0 \\V \rho g - 6\pi r v_1 \rho &= 0 \\ \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g - 6\pi r v_1 \rho &= 0\end{aligned}$$
$$r = \sqrt{\frac{9\eta v_1}{2\rho g}} \quad (2.1)$$

Wenn man die Spannung zwischen den Platten der Millikankammer mit U , den Plattenabstand mit d und die Steiggeschwindigkeit eines Tröpfchens mit v_2 bezeichnet, gilt für ein unter der Wirkung eines elektrischen Feldes der Feldstärke $E = \frac{U}{d}$ aufsteigendes Tropfchen die Beziehung:

$$\begin{aligned}mg - QE + 6\pi r v_2 \eta &= 0 \\ \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g - Q \frac{U}{d} + 6\pi r v_2 \eta &= 0\end{aligned} \quad (2.2)$$

Für ein unter der Wirkung eines elektrischen Feldes in der Kammer schwebendes Tröpfchen gilt entsprechend:

$$\begin{aligned}mg - QE &= 0 \\ \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g - Q \frac{U}{d} &= 0\end{aligned} \quad (2.3)$$

Die Bestimmung der Elementarladung läßt sich mit diesem Gerät nach zwei verschiedenen Meßverfahren durchführen:

1. Durch Messen der Spannung, bei der ein geladenes Öltröpfchen in der Millikankammer schwebt und durch Messen der Geschwindigkeit des Tröpfchens, das nach Abschalten der Spannung im feldfreien Raum sinkt.
2. Durch Messen der Sinkgeschwindigkeit eines Tröpfchens im feldfreien Raum und der Steiggeschwindigkeit eines Tröpfchens bei einer bestimmten zu messenden Spannung. **Dieses Verfahren wird in unserem Versuch verwendet.** Aus den Gleichungen (2.1) bis (2.3) lassen sich die für beide Meßverfahren benötigten weiteren Beziehungen wie folgt herleiten:

¹R. A. Millikan: ON THE ELEMENTARY ELECTRICAL CHARGE AND THE AVOGADRO CONSTANT. PHYSICAL REVIEW Nr. 2, 1913, S 109 ff.

Zu 1. Bestimmung der Elementarladung durch Messen der Schwebespannung U und der Sinkgeschwindigkeit v_1 eines Öltröpfchens im feldfreien Raum.

Nach Einsetzen von (2.1) in (2.3) ergibt sich:

$$Q = \frac{6\pi d \eta v_1}{U} \sqrt{\frac{9\eta v_1}{2\rho g}}$$

Nun werden für η , d und ρ die folgenden Zahlenwerte eingesetzt:

$$\begin{aligned}\eta &= 1,81 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \\ d &= 6 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\ \rho_{Oel} &= 875,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ \rho_L &= 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ \rho &= 874 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\end{aligned}$$

was zu folgender Endgleichung führt:

$$Q = 2 \cdot 10^{-10} \frac{v_1^{3/2}}{U} \text{ As} \quad (2.4)$$

Zu 2. Bestimmung der Elementarladung durch Messen der Sinkgeschwindigkeit v_1 im feldfreien Raum, der Steiggeschwindigkeit v_2 im elektrischen Feld und der Spannung U an der Millikankammer.

Hierzu werden die Gleichungen (2.1) und (2.3) verwendet:

$$\begin{aligned}Q \frac{U}{d} &= 6\pi \eta v_2 \sqrt{\frac{9\eta v_1}{2\rho g}} + \frac{4}{3} \pi \rho g \frac{9\rho v_1}{2\rho g} \sqrt{\frac{9\eta v_1}{2\rho g}} \\ Q &= (v_1 + v_2) \frac{\sqrt{v_1}}{U} \eta^{\frac{3}{2}} \frac{18\pi d}{\sqrt{2\rho g}}\end{aligned}$$

Nach Einsetzen der oben bereits angegebenen Werte für η , d und ρ kommt man zu der folgenden Endgleichung, die ein relativ schnelles Ausrechnen der Ladungswerte ermöglicht:

$$Q = (v_1 + v_2) \frac{\sqrt{v_1}}{U} \cdot 2 \cdot 10^{-10} \text{ As} \quad (2.5)$$

3. Bedienung

3.1. Zusammenbau des Millikangerätes (nur vor Erstinbetriebnahme erforderlich)

Dreifuß, Stativstab und Aufsatz mit Millikankammer, Beleuchtungseinrichtung und Meßmikroskop entsprechend Fig. 1 fest miteinander verschrauben. Dabei darauf achten, daß die lose aufgesetzte Millikankammer mit Kunstglasabdeckung beim Kippen des Aufsatzes nicht herunterfällt.

3.2. Einfüllen des Öls

Ölzerstäuber unter Verwendung des zum Lieferumfang gehörenden Öls (Ersatzteil-Nr. 68 578) durch die Aussprühöffnung so weit füllen, daß das gebogene Kapillarrohr ca. 2 mm im Öl steht. Ölzerstäuber in die federnde Halterung einsetzen. *Dabei beachten, daß sich die Aussprühöffnung vor den beiden Bohrungen in der Kunstglasabdeckung der Millikankammer befindet.*

3.3. Pflege und Wartung

Durch den Ölzerstäuber werden nur geringe Ölmengen in die Millikankammer gebracht. Daher ist eine Reinigung der Kammer und der Kunstglasabdeckung, zu der sich ein weicher, saugfähiger Lappen eignet, nur in großen Zeitabständen nötig. **Die beiden Bohrungen in der Kunstglasabdeckung, durch die man die Öltröpfchen einsprüht, können zeitweilig von Öl verstopft werden, so daß keine Tröpfchen mehr in die Kammer gelangen. Zum Durchstoßen eignet sich eine aufgebozene Büroklammer.** Befriedigendes Zerstäuben des Öls ist nur mit einem einwandfreien Gummiball möglich. Wird die Funktionsfähigkeit des Gerätes durch unvermeidbaren natürlichen Verschleiß des Gummis beeinträchtigt, ist ein Austausch des Gummiballs erforderlich.

3.4. Hinweise zur Zeitmessung

Wir gehen nach Meßmethode 2 vor. Die Zeitmessung erfolgt mit einer Digital-Doppelstoppuhr. Sie hat oben am Gehäuse links und rechts je zwei Buchsen *Start* und je einen Reset-Taster. Die jeweilige Uhr läuft, wenn ihre Startbuchsen miteinander verbunden sind. Beide Uhren haben je einen Wahlschalter, mit dem sich die Zeitauflösung auf 0,01 s, 0,1 s und 1 s einstellen läßt. Für den Millikanversuch ist eine die Stellung 0,1 s am sinnvollsten. Da die Uhren 4stellige Anzeigen haben, können Sie so auch mehr als 100 Sekunden messen (bis zu 999,9).

Schließen Sie die Uhren an die Buchsenpaare (10) und (12) an (s. Abbildungen oben). Achten Sie bei Verwendung des neuen Steuergerätes darauf, die mit dem Massesymbol (\perp) gekennzeichneten Buchsen von Steuergerät und Uhr zu verbinden (bei Vertauschen würde einer der Schalter überbrückt).

3.5. Ermittlung des Weges s eines zu beobachtenden Öltröpfchens

Bewegt sich ein Öltröpfchen längs eines Weges s' von x Mikrometer-Skalenteilen ($= x \cdot 10^{-4}$ m), so beträgt unter Berücksichtigung der 1,875fachen Objektiv-Vergrößerung der tatsächlich zurückgelegte Weg s :

$$s = \frac{x}{1,875} \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Die Mikroskopvergrößerung kann bei verschiedenen Geräten geringfügig von dem oben genannten Wert abweichen. Die Abweichung wird aber $\pm 1\%$ nicht wesentlich überschreiten.

4. Versuchsbeschreibung

Die Quantelung der elektrischen Ladung läßt sich bereits nach Durchführung von ca. 6 bis 8 Messungen nachweisen. Zur Bestimmung der Elementarladung ist dagegen die zwei- bis dreifache Anzahl an Messungen sinnvoll.

4.1. Aufbau

Anordnung mit der Doppel-Stoppuhr aufbauen. Netzgerät und Uhr am jeweiligen Schalter an der Gehäuserückwand einschalten, Okularmikrometer vertikal stellen und durch Drehen des schwarzen Okularrings scharf einstellen.

4.2. Durchführung

Öl durch kräftiges Drücken des Gummiballs in die Millikammern stäuben und Versuch durchführen.

4.3. Meßmethode mit zwei Stoppuhren (Doppelstoppuhr)

Die Uhren an die Buchsenpaare (10) und (12) anschließen

Meßgrößen:

- Zeit t_2 , die ein Öltröpfchen benötigt, um längs des Weges s' zu steigen, wenn am Plattenkondensator eine Spannung U liegt (zur Bestimmung der Steiggeschwindigkeit v_2 im elektrischen Feld);
- Kondensatorspannung U ;
- Zeit t_1 , die das gleiche Tröpfchen nach Abschalten der Spannung U benötigt, um längs eines Weges s' zu sinken (zur Bestimmung der Sinkgeschwindigkeit v_1 im feldfreien Raum).

Meßverfahren:

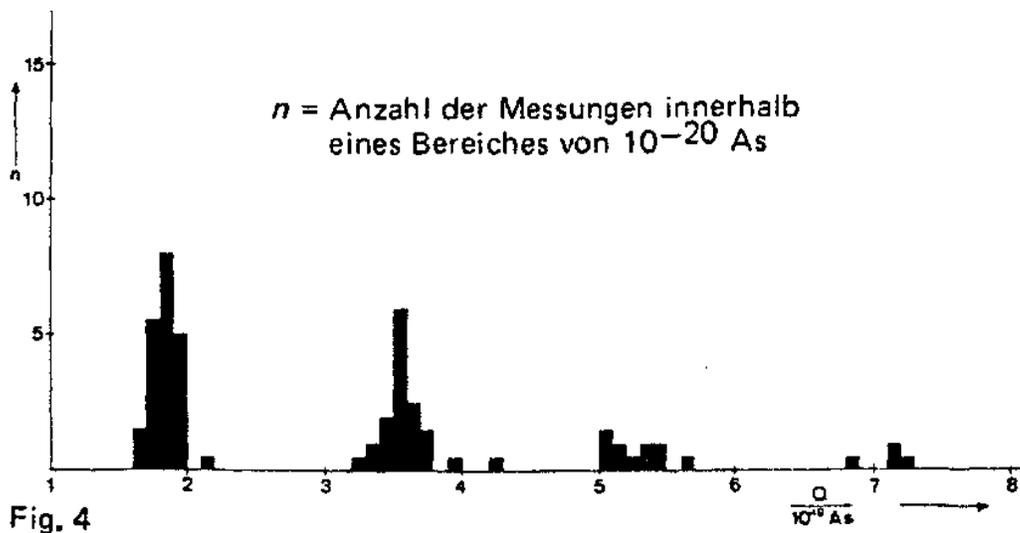
1. Schalter (17) nach unten und Schalter (18) nach oben stellen: Der Steuerstromkreis für die Stoppuhren ist geöffnet, die Verbindung zur Spannungsversorgung des Kondensators ist hergestellt.
2. Am Drehknopf (14) eine Spannung U von 500 V bis 600 V einstellen, so daß die Öltröpfchen im elektrischen Feld langsam steigen (im Mikroskopbild als sinkende Tröpfchen zu beobachten); Spannung U messen
3. Im oberen Drittel des Beobachtungsfeldes ein langsam sinkendes Tröpfchen auswählen und Schalter (17) genau dann umlegen, wenn es eine Meßmarke (z.B. Skalenstrich 40 der Mikrometer-Skala) passiert: die Stoppuhr 2 zur Messung der Steigzeit t_2 im elektrischen Feld wird gestartet.
4. Das im Mikroskopbild sinkende, aber tatsächlich steigende Tröpfchen beobachten und Schalter (16) genau dann in Stellung 0 bringen, wenn es eine 2. Meßmarke (z. B. Skalenstrich 70 der Mikrometer-Skala) passiert: die Kondensatorspannung U wird abgeschaltet; gleichzeitig erfolgen Stop von Uhr 2 und Start von Uhr 1
5. Das im feldfreien Raum sinkende Tröpfchen, das im Mikroskopbild steigt, beobachten und Schalter (17) genau dann umlegen, wenn es die 1. Meßmarke (z. B. 40) wieder passiert: Uhr 1 wird gestoppt.

4.4. Hinweise

Auf der Suche nach einem geeigneten Tröpfchen und gegebenenfalls während einer längeren Beobachtung läßt sich die Schärfe des Mikroskopbildes an der Rändelschraube (2) nachstellen. Ein Nachstellen der Schärfe während einer Messung ist im allgemeinen nicht notwendig, wenn der Raum, in dem das Gerät betrieben wird, frei von Zugluft ist. Ein geeignet erscheinendes Tröpfchen, das sich seitlich zu weit von der Okularskala entfernt bewegt, läßt sich (beim alten Aufbau) durch geringfügiges Schwenken des Mikroskopes leicht in die Bildmitte bringen. Es empfiehlt sich, vor Beginn einer längeren Meßreihe zunächst die Ladungen von 2 bis 3 Tröpfchen zu berechnen. Hierdurch soll der Experimentierende einen Anhaltspunkt für die Auswahl geeigneter Tröpfchen bekommen. Es hat sich gezeigt, daß die Ladung bei schnellbeweglichen Tröpfchen so groß ist, daß eine Aussage über die Quantelung und insbesondere über die Größe des größten gemeinsamen Divisors, nämlich der Elementarladung e erschwert wird. Als geeignet in diesem Sinne haben sich daher insbesondere Tröpfchen erwiesen, die maximal ca. 5 Elementarladungen enthalten, d.h. daß brauchbare Ergebnisse $< 10 \cdot 10^{-19}$ As sein sollten.

4.5. Auswertung der Meßergebnisse

Nach Ausrechnen der Geschwindigkeit der Tröpfchen je nach gewähltem Meßverfahren mit Gleichung (2.4) oder (2.5) (siehe oben) die Ladung $Q = n \cdot e$ berechnen. Stellt man die Meßergebnisse in Form eines Histogrammes dar (siehe z.B. Fig. 4), so wird die gequantelte Struktur der elektrischen Ladung bereits deutlich sichtbar. Durch Bildung des größten gemeinsamen Divisors aus den verschiedenen Ladungswerten erhält man die Elementarladung e .



Vergleicht man den auf diese Weise erhaltenen Mittelwert für e mit dem exakten Wert der Elementarladung $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$, so zeigt sich, daß der experimentell bestimmte Wert für e etwa um den Faktor 1,1 zu groß ausgefallen ist. Genauere Untersuchungen zeigen, daß dieser Faktor umso größer wird, je kleiner der Radius der beobachteten Öltröpfchen ist. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß das der Auswertung der Messungen zugrundeliegende Stokessche Gesetz für die Größe der hier vorkommenden Tröpfchen, die etwa zwischen 10^{-6} und 10^{-7} m und damit in der Größenordnung der mittleren freien Weglänge der Luftmoleküle liegt, nicht mehr exakt gilt.

4.6. Korrektur der experimentell gewonnenen Werte für e

Sollten die erhaltenen Meßwerte bezüglich ihrer Genauigkeit den gestellten Anforderungen nicht genügen, so kann hier eine bereits von Millikan angewandte Korrekturrechnung herangezogen werden.

Wenn man die korrigierte Ladung mit Q_k und den Luftdruck mit p , gemessen in mbar bezeichnet, dann gilt folgende Gleichung:

$$Q_k = \frac{Q}{\left(1 + \frac{b}{rp}\right)^{3/2}} \quad \text{oder} \quad Q^{2/3} = Q_k^{2/3} \left(1 + \frac{b}{rp}\right)$$

b ist eine graphisch bestimmbare Konstante. Diese Gleichung ist die Gleichung einer Geraden von der Form

$$y = y_0(1 + bx)$$

Stellt man $y = Q^{2/3}$ als Funktion von $x = \frac{1}{rp}$ graphisch dar, ergibt sich eine Gerade, die an der Stelle $y_0 = Q_k^{2/3}$ die Ordinate schneidet. Dividiert man die Steigung der Geraden durch $y_0 = Q_k^{2/3}$, so erhält man die Konstante b . Für die hier beschriebenen Meßergebnisse ergab sich der Wert: $b = 6,33 \cdot 10^{-5} \text{ mbar m}$.

Um die Konstante b einigermaßen exakt bestimmen zu können, ist eine wesentlich größere Anzahl von Messungen als die oben genannte erforderlich. Da die Größe der hier auftreten den Tröpfchen aber durchweg in der Größenordnung 10^{-6} m liegt, kann mit ausreichender Genauigkeit der oben genannte Wert für b verwendet werden. Die Korrekturrechnung für die in Fig. 4 dargestellten Meßergebnisse führt zu dem in Fig. 5 dargestellten Histogramm mit korrigierten Ladungen.

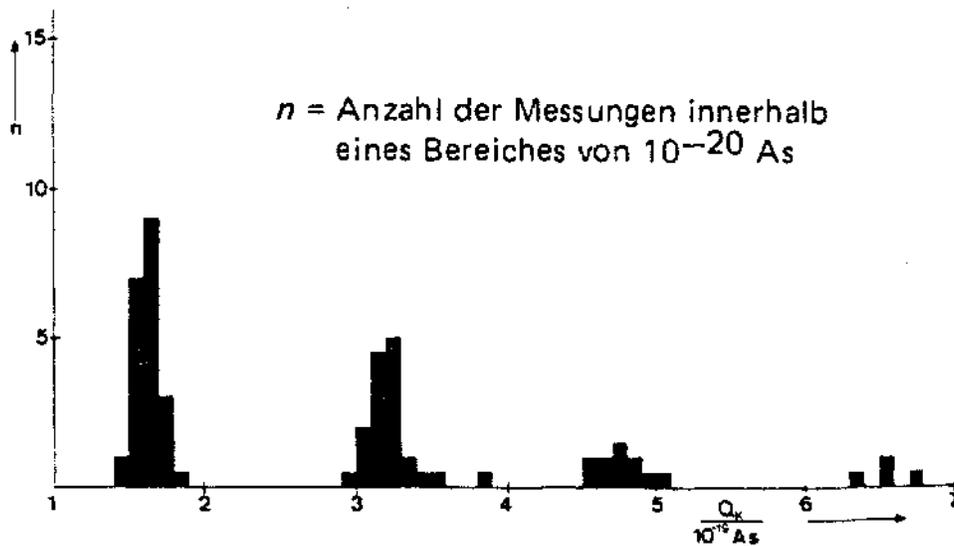


Fig. 5

Bildet man schließlich aus den 148 korrigierten Elementarladungen, die in den Ergebnissen dieser 85 Messungen enthalten sind, den Mittelwert, so erhält man einen Wert: $e_k = 1,61 \cdot 10^{-19} \text{ As}$, der nur geringfügig vom exakten Wert für die Elementarladung abweicht.

5. Technische Daten

5.1. Millikangerät (559 41)

Millikankammer:	Durchmesser 8,0 cm
Abstand der Kondensatorplatte:	0,6 cm
Mikroskop mit Okularmikrometer	
Objektivvergrößerung:	1,875fach
Okularvergrößerung:	10fach
Beleuchtungseinrichtung:	6 V/2,5 A oder 12 V (je nach Aufbau)
Abmessungen:	32 cm × 37cm × 32 cm
Gewicht:	4,7 kg
Anschlußkabel mit Vielfachstecker für Beleuchtungseinrichtung (alter Aufbau):	ca. 40 cm lang

5.2. Netz- und Steuergerät (559 42)

Entnehmbare Spannungen:	
für Plattenkondensator:	0 ... 600 V, kontinuierlich einstellbar
für Beleuchtungseinrichtung:	6 V; 2,5 A (alter Aufbau)
Drehspulinstrument zur Messung der Kondensatorspannung (alter Aufbau):	
Meßbereich:	600 V=,
Güteklasse:	2,5
Skalenteilung:	10 V
Skalenlänge:	ca. 8,6 cm
Digitalanzeige (neuer Aufbau)	
Meßbereich	3stellig
Auflösung:	1 V
Feinsicherung bei Netzspannung für 220 V/240 V:	M 0,315 (Ersatzteil-Nr. 69 813)
Gehäuse-Abmessungen:	19 cm × 11,5 cm × 16 cm
Gewicht:	1,5 kg