

VERSUCH NUMMER 503

Der Millikan-Öltröpfchenversuch

Tim Alexewicz
tim.alexewicz@udo.edu

Sadiah Azeem
sadiah.azeem@udo.edu

Durchführung: 19.04.2022

Abgabe: 26.04.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3
3	Durchführung	4
4	Auswertung	5
5	Diskussion	9
	Literatur	9

1 Ziel

Das Ziel des Versuches ist es, die Elementarladung e_0 experimentell zu ermitteln.

2 Theorie

Um die Elementarladung e zu bestimmen, kann die Öltröpfchen-Methode von Millikan genutzt werden. Dabei wird ein Öltröpfchen durch einen Zerstäuber in das elektrische Feld einer Plattenkondensators getropft. Das Zerstäuben führt dazu, dass die Öltröpfchen Ladungen erhalten. Beim Fallen des Öltröpfchens mit Masse m wirkt die Gravitationskraft $\vec{F} = m\vec{g}$, wobei \vec{g} die Gravitationsbeschleunigung ist. Dadurch, dass das Öl durch die Luft fallen muss, wirkt die Viskosität η_L auf das Tröpfchen mit Radius r , sodass die Stokesche Reibungskraft $\vec{F}_R = -6\pi r\eta_L \vec{v}$ gegen den Fall wirkt. Es gilt also

$$\frac{4\pi}{3}r^3(\rho_l - \rho_L)g = 6\pi\eta_L r v_0,$$

mit $m = V \cdot \rho$. Wird die Gleichung nach r umgestellt, ergibt sich

$$r = \sqrt{\frac{9\eta_L v_0}{2g(\rho_l - \rho_L)}}$$

für den Radius des Öltröpfchens.

Wirkt eine positive Spannung auf die untere Kondensatorplatte, wirkt die elektrostatische Kraft $\vec{F}_e = q\vec{E}$ in Richtung der Gravitationskraft und die Öltröpfchen sinken mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit \vec{v}_{ab} nach unten, die größer als die feldfreie Geschwindigkeit \vec{v}_0 ist. Die Kräftegleichung korrigiert sich zu

$$\frac{4\pi}{3}r^3(\rho_l - \rho_L)g - 6\pi\eta_L r v_{ab} = -qE$$

mit der Ladung q und dem Betrag des elektrischen Feldes E . Bei einer negativ angelegten Spannung an der unteren Kondensatorplatte, steigen die Tropfen ab einer bestimmten elektrischen Feldstärke mit der Geschwindigkeit \vec{v}_{auf} . Die Kraft ändert sich zu:

$$\frac{4\pi}{3}r^3(\rho_l + \rho_L)g + 6\pi\eta_L r v_{ab} = +qE$$

Aus den modifizierten Kräftegleichungen ergibt sich die Gleichung

$$q = 3\pi\eta_L \sqrt{\frac{9}{4} \frac{\eta_L}{g} \frac{(v_{ab} - v_{auf})}{(\rho_l - \rho_L)}} \cdot \frac{(v_{ab} + v_{auf})}{E}$$

und der neue Radius

$$r = \sqrt{\frac{9}{4} \frac{\eta_L}{g} \frac{(v_{ab} - v_{auf})}{(\rho_l - \rho_L)}}$$

für die Tröpfchen.

Da die Stokessche Reibung nur für Tröpfchen gilt, die größer als die mittlere freie Weglänge \bar{l} der Luft sind, muss die Viskosität η_L durch

$$\eta_{eff} = \eta_L \left(\frac{1}{1 + A \frac{1}{r}} \right) = \eta_L \left(\frac{1}{1 + B \frac{1}{pr}} \right),$$

dem sogenannten Cunningham-Korrekturterm mit $B = 6.17 \cdot 10^{-3} \text{ Torr} \cdot \text{cm}$, angepasst werden. Die Anpassung führt dazu, dass sich die Ladung mit

$$q^{\frac{2}{3}} = q_0^{\frac{2}{3}} \left(1 + \frac{B}{pr} \right)$$

berechnen lässt.

3 Durchführung

In Abbildung 1 wird das Experimentiergerät skizziert.

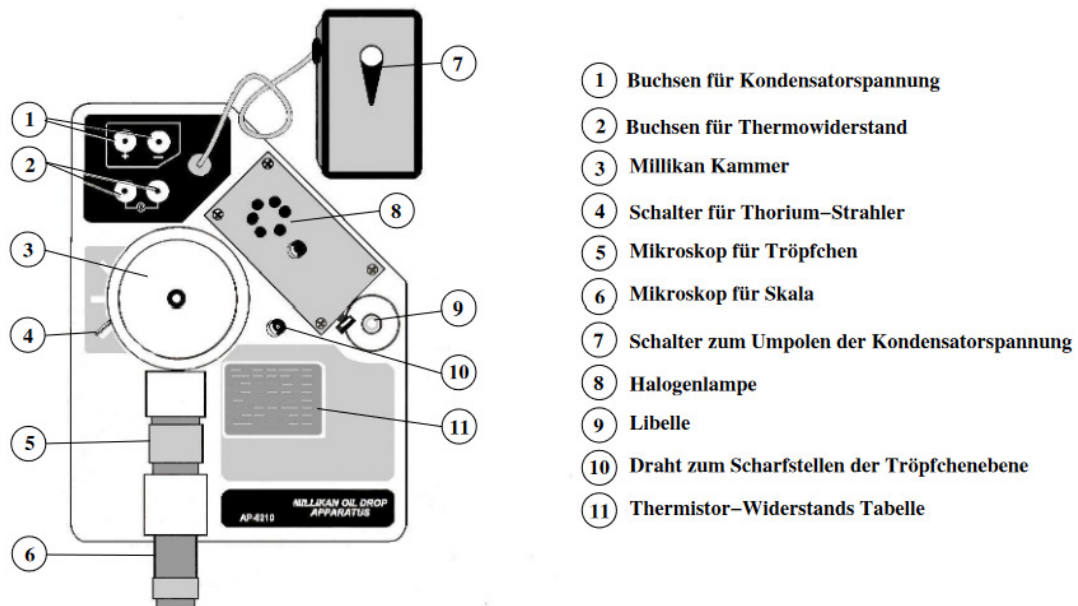


Abbildung 1: Skizze des Gerätes, mit dem das Experiment durchgeführt wird. [1]

Punkt 3 aus der Skizze beinhaltet einen Plattenkondensator, dessen Platten einen Abstand von $d = (7.6250 \pm 0.0051) \text{ mm}$ haben. Die obere Seite der Kammer hat eine Öffnung, an der der Zerstäuber, in dem sich das Öl mit einer Dichte von $\rho_l = 886 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

befindet, zum Zerstäuben angebracht werden kann.

Zum Erkennen der Tropfen leuchtet eine Halogenleuchte in die Kammer. Die Plattenkondensatoren können mit einem Schalter den Spannungspol ändern.

Durchgeführt wird der Versuch, indem durch die Kammer das Öl eingesetzt, dass sich durch den Kondensator orientiert bewegt. Dabei soll die Weglänge eines Öltropfens zu fünf Spannungen bei einer plus- bzw. minusorientierten unteren Platte und ohne gepolte Platte gemessen werden. Dies soll fünf mal wiederholt werden.

4 Auswertung

Zuerst wird die Erfüllung der Bedingung $2 \cdot v_0 = v_{auf} - v_{ab}$ geprüft, um Werte, bei denen die Randbedingungen des Experiments nicht erfüllt wurden, zu verwerfen. Es wird im folgenden nur mit den Messwerten weitergearbeitet, bei denen die prozentuale Abweichung vom Sollwert bei unter 50% liegt. Sie sind in der Tabelle 1 gekennzeichnet. Die Geschwindigkeiten in Tabelle 1 wurden via $v = \frac{s}{t}$ aus den gemessenen Zeiten errechnet.

Tabelle 1: Die Differenzen der Auf- und Abtriebsgeschwindigkeiten sowie die Ruhegeschwindigkeit der Öltröpfchen sowie ihre relative Abweichung vom Sollwert nach der Ruhegeschwindigkeit.

$T / ^\circ\text{C}$	Spannung U / V	$2 \cdot v_0 / \text{div/s}$	$v_{\text{auf}} - v_{\text{ab}} / \text{div/s}$	Abweichung /%
21	4,57	-0,06	0,09	166,66
21	4,57	-0,26	0,07	471,43
21	4,57	-0,41	0,11	472,30
21	4,57	0,12	0,21	42,86
21	4,57	-0,17	1,74	110,00
21	3,97	0,25	0,15	66,66
21	3,97	0,30	0	ungültig
21	3,97	-0,27	0,09	400,00
21	3,97	-0,17	0,13	230,77
21	3,97	-0,12	0,13	192,30
22	3,04	-0,24	0,04	700
22	3,04	0,13	0,23	43,48
22	3,04	0,26	0,14	85,71
22	3,04	0,32	0,13	146,15
22	3,04	-0,22	0	ungültig
23	4,91	0,65	0,09	622,22
23	4,91	0,29	0,10	190,00
23	4,91	-0,44	0,87	150,57
23	4,91	0,15	0,11	36,36
23	4,91	0	0,11	100,00
23	2,20	0,07	0,09	22,22
23	2,20	0,17	0	ungültig
23	2,20	-0,27	0,15	280,00
23	2,20	-0,23	0	ungültig
23	2,20	0,07	0,13	44,00

Bestimmung der Elementarladung

Für das elektrische Feld des Plattenkondensators wird die Formel

$$E = \frac{U}{d} \quad (1)$$

genutzt.

Es wird mit den Konstanten

$$\rho_l = 886 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (2)$$

$$\rho_{Luft} = 1,16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (3)$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (4)$$

$$d = (7,63 \pm 0,01) \text{mm} \quad (5)$$

gerechnet, die bei Durchführung des Versuchs gegeben waren.

Nach Abschnitt 2 wird aus den berechneten Geschwindigkeiten der Radius der Tröpfchen bestimmt. Aus dem Radius wird durch Abschnitt 2 die Ladung der Tröpfchen berechnet und nach Cunningham durch Abschnitt 2 korrigiert.

So ergeben sich die Werte in Tabelle 2, die in Abbildung 2 und Abbildung 3 graphisch dargestellt sind.

Tabelle 2: Die berechneten Radien, unkorrigierten und korrigierten Ladungen der Öltröpfchen.

U / V	$v_{auf} - v_{ab} / \text{div/s}$	Radius r / m	unkorrigierte Ladung q / C	korrigierte Ladung q / C
4,57	0,21	$1,17 \cdot 10^{-06}$	$(-1,43 \pm 0,01) \cdot 10^{-17}$	$(-1,59\text{e-}17 \pm 0,01) \cdot 10^{-17}$
3,04	0,23	$1,43 \cdot 10^{-06}$	$(-2,75 \pm 0,02) \cdot 10^{-17}$	$(-2,98\text{e-}17 \pm 0,02) \cdot 10^{-17}$
4,91	0,11	$2,14 \cdot 10^{-06}$	$(-3,03 \pm 0,02) \cdot 10^{-17}$	$(-3,21\text{e-}17 \pm 0,02) \cdot 10^{-17}$
2,20	0,09	$1,76 \cdot 10^{-06}$	$(-2,49 \pm 0,02) \cdot 10^{-17}$	$(-2,66\text{e-}17 \pm 0,02) \cdot 10^{-17}$
2,20	0,13	$0,91 \cdot 10^{-06}$	$(-1,41 \pm 0,01) \cdot 10^{-17}$	$(-1,60\text{e-}17 \pm 0,01) \cdot 10^{-17}$

Zur Berechnung der Elementarladung wird der euklidische Algorithmus verwendet.

Durch die berechneten unkorrigierten Ladungen aus Abbildung 2 wird die experimentiell ermittelte Elementarladung $e_{0, \text{unkorr}} = -1,0 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ als der größte gemeinsame Teiler bestimmt.

Aus den zuvor nach Cunningham korrigierten Ladungen Abbildung 3 wird die experimentiell ermittelte Elementarladung zu einem Wert von $e_{0, \text{korrr}} = -1,0 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ bestimmt.

Es wird analog zu $e_{0, \text{unkorr}}$ der größte gemeinsame Teiler berechnet.

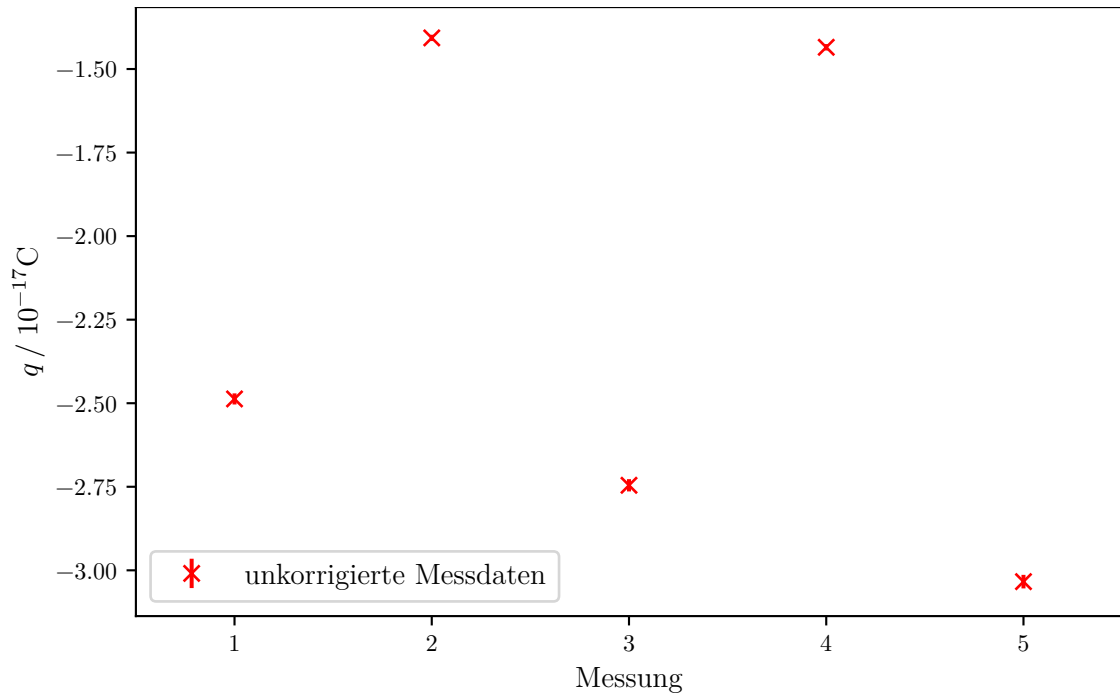


Abbildung 2: Die Ladungen vor der Korrektur mit Fehlerbalken aufgetragen.

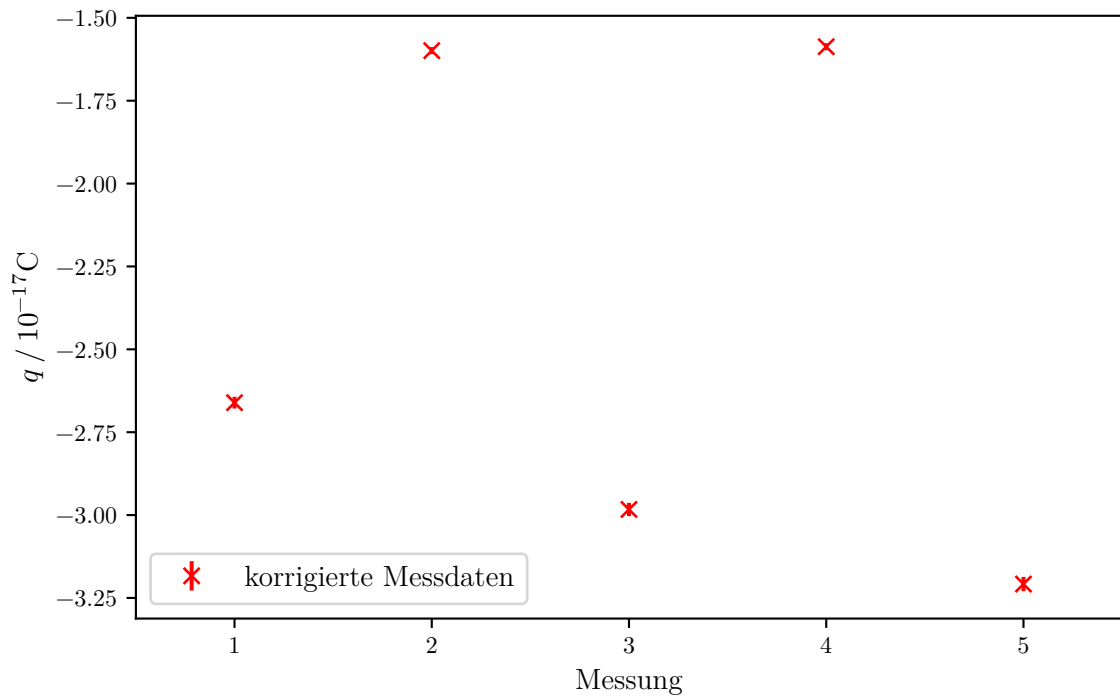


Abbildung 3: Die nach Cunningham korrigierten Ladungen mit Fehlerbalken aufgetragen.

5 Diskussion

Bei der Durchführung der Messung fällt auf, dass die Geschwindigkeitsbestimmung der Öltröpfchen sehr zeitintensiv und ungenau ist, da während der Durchführung sowie bei Auswertung der Daten viele Werte verworfen werden müssen.

Im Vergleich mit dem Literaturwert von $e_{0, Lit} = 1,602 \text{ C}$ [2] zeigt sich, dass beide experimentiell bestimmten Werte für e_0 eine relative Abweichung von $\eta_{e_0} = 162,42\%$ haben.

Diese Ungenauigkeit könnte darauf zurückgeführt werden, dass je Tröpfchen nicht mehrere Messreihen durchgeführt werden konnten.

Außerdem bietet die Aufnahme der Messwerte durch simultanes Beobachten der Öltröpfchen, Stoppen der Zeit und Steuern des elektrischen Feldes viel Spielraum für systematische Messfehler.

Literatur

- [1] *Der Millikan-Öltröpfchenversuch*. TU Dortmund, Fakultät Physik.
- [2] *Elementarladung*. Committee on Data for Science und Technology. URL: <https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?e>.