V503

Millikan-Versuch

Pelle Ofenbach
pelle.ofenbach@udo.edu

Robert Appel
robert.appel@udo.edu

Durchführung: 27.06.17

Abgabe: 04.07.17

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung

Ziel des Versuches ist die Bestimmung der Elementarladung e_0.

2 Theorie

Beim Millikan-Versuch lässt sich die Ladung von Öltröpfchen über die sogenannte *Schwebemethode* bestimmen. Die geladenen Tröpfchen werden hierbei in ein homogenes E-Feld variabler Stärke eingebracht und durch eine der Gewichtskraft entgegenwirkende Spannung zum Stillstand gebracht. Offensichtlich gilt durch das Kräftegleichgewicht

$$\frac{4\pi}{3} r_{korr}^3 \rho_{Oel} g = qE \qquad \Longrightarrow \qquad q = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{r_{korr}^3 \rho_{Oel} g}{E}. \tag{1}$$

Das Gewicht ist hierbei über die Dichte des verwendeten Öls und das Volumen der kugelförmigen Tropfen ausgedrückt. q benennt die Ladung des Tropfens, welche ein Vielfaches der Elementarladung beträgt ($q = n \cdot e_0$, $n \in \mathbb{N}_0$), E die elektrische Feldstärke. Um den Radius $r_k orr$ der Tropfen zu bestimmen, wird die Falleschwindigkeit v_0 ohne E-Feld gemessen und mit Hilfe der Stokesreibung in Luft (Viskosität η_L), des Druckes p, sowie der empirischen Korrekturgröße B über

$$r_{korr} = \sqrt{\left(\frac{\mathrm{B}}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta_L v_0}{2g\rho_{Oel}}} - \left(\frac{\mathrm{B}}{2p}\right) \tag{2}$$

verrechnet.

3 Durchführung

Das E-Feld wird über einen Plattenkondensator realisiert, dessen Innenraum über ein Mikroskop beobachtet und vermessen werden kann. Das Öl wird über eine Sprühflasche mit einer Zerstäubungsdüse eingesprüht. Bei der Zerstäubung werden manche Tropfen durch Reibung schwach elektrisch geladen. Zusätzlich steht eine schwache α-Strahlungsquelle zur Verfügung, um das Öl zu ionisieren und so Ladungen im Berreich der Elementarladung zu erreichen. Es werden 30 geladene Öltropfen vermessen.

4 Auswertung

Bestimmung der Elementarladung Zur Bestimmung der Elementarladung wird zu erst die Gleichgewichtsgeschwin v_0 berechnet, die Temperaturen im Kondensator und die daraus resultierende Viskosität der Luft bestimmt. Danach wird die elektrische Feldstärke E über den Zusammenhang

$$E = \frac{U}{d}$$

bestimmt. Dabei bezeichnet U die Spannung, die angelegt werden muss, dass der beobachtete Öltropfen schwebt, d bezeichnet den Abstand der Kondensatorplatten, bei diesem Versuchsaufbau betrug der Abstand $d = (7{,}6250 \pm 0{,}0051)\,\mathrm{mm}$. Aus den zuvor bestimmten Größen kann nun mit der Gleichung (2) der Radius des Öltropfen bestimmt werden, die Erdbeschleunigung g wird dabei aus *Scipy-Physical Constants* [1] entnommen, ρ_{Oel} ist gegeben durch $886\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$. Alle Werte dazu sind in der Tabelle 1 dargestellt.

$v_0/\mathrm{m\,s^{-1}}$	$T/°\mathrm{C}$	$\eta_L \cdot 10^5/\mathrm{N^{-2}\,s\,m}$	$r \pm \Delta r/\mathrm{m}$			$\mathrm{E/V\,m^{-1}}$
$4{,}82 \cdot 10^{-5}$	29	1,864	$2{,}014\,354 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$2{,}15 \cdot 10^{-12}$	$5{,}90 \cdot 10^{3}$
$1{,}96 \cdot 10^{-5}$	30	1,868	$2{,}014\,347 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$9{,}48 \cdot 10^{-13}$	$7{,}21 \cdot 10^{3}$
$2{,}01 \cdot 10^{-5}$	30	1,868	$2{,}014\,347 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$9{,}72 \cdot 10^{-13}$	$7{,}21 \cdot 10^{3}$
$2{,}34 \cdot 10^{-5}$	30	1,868	$2{,}014\,348 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}13 \cdot 10^{-12}$	$6{,}43 \cdot 10^{3}$
$4{,}01 \cdot 10^{-5}$	30	1,868	$2{,}014\,352 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}94 \cdot 10^{-12}$	$3{,}92 \cdot 10^{4}$
$2{,}72 \cdot 10^{-5}$	30	1,868	$2{,}014\,349 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}31 \cdot 10^{-12}$	$5{,}51 \cdot 10^{3}$
$2{,}92 \cdot 10^{-5}$	30	1,868	$2{,}014\,349 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}41 \cdot 10^{-12}$	$2{,}53 \cdot 10^{4}$
$2{,}76 \cdot 10^{-5}$	30	1,868	$2{,}014\,349 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}33 \cdot 10^{-12}$	$2{,}11 \cdot 10^{4}$
$3{,}00 \cdot 10^{-5}$	31	1,873	$2{,}014\,350 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}56 \cdot 10^{-12}$	$1{,}21 \cdot 10^{4}$
$1{,}75 \cdot 10^{-5}$	31	1,873	$2{,}014\,347 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$9{,}09 \cdot 10^{-13}$	$3{,}41 \cdot 10^{3}$
$2{,}40 \cdot 10^{-5}$	31	1,873	$2{,}014\,348 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}25 \cdot 10^{-12}$	$1{,}73 \cdot 10^{4}$
$1{,}97 \cdot 10^{-5}$	31	1,873	$2{,}014\,347 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}03 \cdot 10^{-12}$	$2{,}10 \cdot 10^{3}$
$2{,}39 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,348 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}42 \cdot 10^{-12}$	$1{,}67 \cdot 10^{4}$
$1{,}32 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,346 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$7{,}82 \cdot 10^{-13}$	$3{,}67 \cdot 10^{3}$
$2{,}25 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,348 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}34 \cdot 10^{-12}$	$1{,}60 \cdot 10^{4}$
$1{,}56 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,346 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$9{,}29 \cdot 10^{-13}$	$4{,}07 \cdot 10^{3}$
$1{,}56 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,346 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$9{,}27 \cdot 10^{-13}$	$4{,}20 \cdot 10^{3}$
$4{,}14 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,352 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$2{,}46 \cdot 10^{-12}$	$3{,}92 \cdot 10^{4}$
$2{,}55 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,349 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}52 \cdot 10^{-12}$	$9{,}70 \cdot 10^{3}$
$1{,}90 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,347 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}13 \cdot 10^{-12}$	$1{,}35 \cdot 10^{4}$
$1{,}64 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,346 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$9{,}78 \cdot 10^{-13}$	$2{,}66 \cdot 10^{4}$
$1{,}67 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,346 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$9{,}91 \cdot 10^{-13}$	$3{,}95 \cdot 10^{4}$
$1{,}45 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,346 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$8{,}61 \cdot 10^{-13}$	$1{,}01 \cdot 10^{4}$
$1{,}82 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,347 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}08 \cdot 10^{-12}$	$3{,}80 \cdot 10^{3}$
$3{,}14 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,350 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}86 \cdot 10^{-12}$	$1{,}32 \cdot 10^{4}$
$1{,}24 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,345 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$7{,}37 \cdot 10^{-13}$	$7{,}21 \cdot 10^{3}$
$1{,}92 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,347 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}14 \cdot 10^{-12}$	$1{,}61 \cdot 10^{4}$
$1{,}58 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,346 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$9{,}42 \cdot 10^{-13}$	$3{,}95 \cdot 10^{4}$
$2{,}21 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,348 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1{,}31 \cdot 10^{-12}$	$5{,}77 \cdot 10^{3}$
$5{,}86 \cdot 10^{-5}$	33	1,882	$2{,}014\,357 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$3{,}48 \cdot 10^{-12}$	$1{,}47 \cdot 10^{4}$

Tabelle 1: Wert zur Berechnung der Ladungsmenge, auf einem Öltropfen. Dabei bezeichnet v_0 die Gleichgewichtsgeschwindigkeit, T die Temperatur im Kondensator, r den Radius des Öltropfens und E die elektrische Feldstärke im Kondensator.

Da nun alle Größen bestimmt wurden die in der Gleichung (1) benötigt werden, kann die Ladung die auf den Öltropfen bestimmt werden, die Erdbeschleunigung g wird dabei aus *Scipy-Physical Constants* [1] entnommen, ρ_{Oel} ist gegeben durch $886\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$. Die Werte der Ladung und des Radius der Öltropfen werden nach der größe sortiert und dann wird die Ladung gegen den Radius aufgetragen. Das ist in Abbildung 1 dargestellt. In besagter Abbildung können dann Niveaus beobachtet werden, die Vielfache der Elementarladung darstellen. Die Ladungsmengen auf diesen Niveaus werden dann gemittelt. In der Abbildung 1 sind zwei Niveaus zu beobachten. Daraus lässt sich dann wie folgt die Elementarladung bestimmen:

$$q = \frac{\bar{q}_{Niveau1} + \frac{1}{2} \cdot \bar{q}_{Niveau2}}{2} \; .$$

Mit den Mittelwerten $q_{Niveau1} = (1{,}822 \pm 0{,}007) \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$ und $q_{Niveau2} = (2{,}053 \pm 0{,}008) \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$, ergibt sich für die Elemntarladung $q = (1{,}424 \pm 0{,}005) \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$.

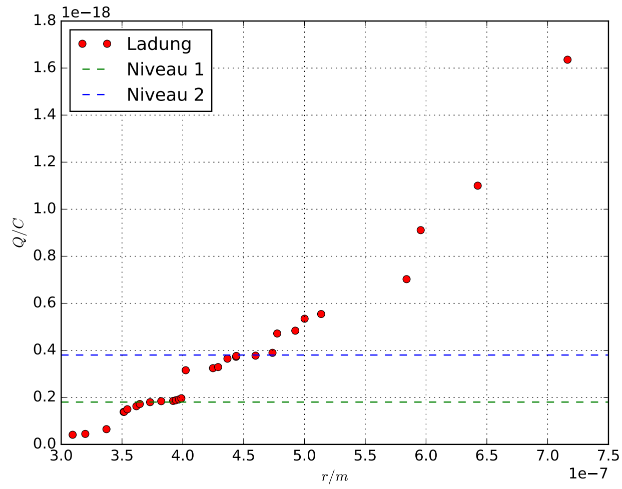

Abbildung 1: In dieser Darstellung sind die gemessene Ladung, auf den Öltropfen, gegen den Radius, des Öltropfen, aufgezeichnet.

Bestimmung der Avogadro-Konstante Die Avogadro-Konstante ergibt sich mit der *Faraday-Konstante* [1] durch den Zusammenhang

$$N_A = \frac{\mathrm{F}}{e_0} = \frac{\mathrm{F}}{q} \; .$$

Für die zuvor bestimmte Elementarladung ergibt sich die Avogadro-Konstante $N_A = (6{,}78 \pm 0{,}02) \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$.

5 Diskussion

5.1 Relativer Fehler

Alle relativen Fehler wurden nach der Formel

$$\tilde{x} = \frac{|x_{lit} - x_{mess}|}{|x_{lit}|} \cdot 100\%$$

berechnet, dabei bezeichnet x_{lit} den Literaturwert der Messgröße x_{mess}.

5.2 Zur Bestimmung der Elementarladung und Avogadro-Konstante

Um ein quantitativen Vergleich durchzuführen zu können wird der relative Fehler der bestimmten Größen zu ihren Literaturwerten [1] bestimmt. Für die bestimmte Elementarladung $q = (1{,}424 \pm 0{,}005) \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$ ergibt sich mit Literaturwert $e_0 = 1{,}602\,176\,620\,8 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$, der relative Fehler von $(11{,}1 \pm 0{,}3)\,\%$. Für den bestimmten Wert für die Avogadro-Konstante $N_A = (6{,}78 \pm 0{,}02) \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$ und den Literaturwert [1] $\mathrm{N}_A = 6{,}022\,140\,857 \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$, ergibt sich ein relativer Fehler von $(12{,}5 \pm 0{,}4)\,\%$.

Literatur

[1] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python.* Version 0.16.0. URL: http://www.scipy.org/.