

Versuch 22: Bestimmung der Elementarladung nach Millikan

Matthias Kuntz

27.09.2023

1 Einleitung

In diesem Versuch wollen wir die Elementarladung e mit einer Methode bestimmen, die erstmals 1913 von Robert A. Millikan veröffentlicht wurde und ihm später den Nobelpreis für Physik vermachte. Dazu beobachten wir Öltröpfchen in einem Plattenkondensator, um deren Fallgeschwindigkeit bei ausgeschaltetem und deren Steiggeschwindigkeit bei angeschaltetem Kondensator zu bestimmen.

1.1 Physikalische Grundlagen

Millikans Versuch basiert darauf, dass auf ein Tröpfchen im Kondensator verschiedene Kräfte wirken. Diese sind

$$\begin{aligned} \text{die Gewichtskraft } F_G &= \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{\text{öl}} g, \\ \text{die Auftriebskraft } F_A &= \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{\text{luf}} g, \\ \text{die Stokessche Reibung } F_R &= 6\pi r \eta v \quad \text{und} \\ \text{die elektrische Kraft } F_E &= q \frac{U}{d}. \end{aligned} \tag{1}$$

Hierbei sind r der Radius des Tröpfchens, ρ die Dichte von Öl beziehungsweise Luft, g die Fallbeschleunigung, η die Viskosität der Luft, v die Geschwindigkeit des Tröpfchens, q dessen Ladung, U die Spannung auf dem Kondenstaor und d der Abstand von dessen Platten. Die elektrische Kraft wirkt natürlich nur bei eingeschaltetem Kondensator.

Lässt man zunächst den Kondensator ausgeschaltet, so kann man mit der Fallgeschwindigkeit eines Tröpfchens v_f aus der Summe der drei wirkenden Kräfte den Radius r bestimmen:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta}{2\rho g} v_f} \quad (2)$$

Hierbei bezeichnet ρ die Differenz der Dichte von Öl und Luft: $\rho = \rho_{öl} - \rho_{Luft}$.

Schaltet man den kondensator ein und betrachtet die Steiggeschwindigkeit eines Tröpfchens v_s kann man die Ladung q bestimmen:

$$q = (v_f + v_s) \sqrt{\frac{9v_f \eta^3}{2\rho g} \frac{6\pi d}{U}} \quad (3)$$

Bei der Versuchsauswertung muss beachtet werden, dass die Viskosität η bei kleinen Ölträpfchen, wie die von uns betrachteten, nicht konstant ist und durch einen radiusabhängigen Korrekturfaktor $f(r)$ korrigiert werden muss:

$$\eta(r) = \eta_0 f(r) = \frac{\eta_0}{1 + \frac{b}{rp}} \quad (4)$$

Dabei sind η_0 der Grenzwert der Viskosität für sehr große Tröpfchen, b eine empirische Konstante und p der Luftdruck.

1.2 Versuchsaufbau

Eine genaue Skizze des Versuchsaufbaus ist auf der nächsten Seite im Messprotokoll dargestellt.

Der Aufbau von Millikan besteht aus einem Plattenkondensator, in den mit einem Ölzersteuber kleine Tröpfen eingelassen werden können. Eine Lampe beleuchtet dabei den Zwischenraum, welcher von einer Kamera mit Mikroskop gefilmt wird und das Bild vergrößert sowie mit einer Skala versehen auf einem Bildschirm darstellt. Ein Steuergerät dient zum Ein- und Ausschalten des Kondensators sowie zum Starten und Stoppen zweier Stoppuhren, eine für den eingeschalteten und eine für den ausgeschalteten Zustand. Während des Versuchs tragen wir die Messwerte in eine gestellte Excel-Tabelle ein, welche bereits so konfiguriert wurde, dass automatisch alle nötigen Zwischenwerte und schlussendlich die Ladungen aller Tröpfchen berechnet werden.

2 Versuchsprotokoll mit Messdaten

Nicole Schoreit
Matthias Kunt

27.03.2023
9^{oo} - 12^{oo} Uhr
Robert Weiß

Messprotokoll: Bestimmung der Elementarladung nach Millikan

Verwendete Geräte:

Millikan-Gerät (Plattenkondensator, Ölkasten, Beleuchtung)

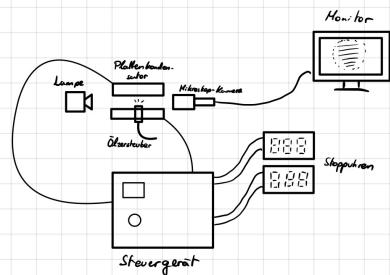
Mikroskopkamera mit Monitor

Millikan-Steuergeät (Hochspannungsquelle, Triggerung der Stoppuhren)

2 elektr. Stoppuhren

PC mit Drucker, Datenauswertung mit Freecell

1) Skizze des Versuchsaufbaus:



2) Vorbereitung:

Es werden Öltröpfchen in den Kondensator gelassen.

Wir stellen eine Spannung von $U = (500 \pm 1) \text{ V}$ ein und stellen das Mikroskop scharf.

Es wird eine Nullstel lung der Stoppuhren durchgeführt.

Wir notieren Temperatur $T_i = (24 \pm 0,5)^\circ\text{C}$

und Luftdruck $p_i = (1008,2 \pm 0,1) \text{ hPa}$

3) Erste Messung:

Wir messen jeweils fünf Mal Steige- \downarrow Fallzeit für ein langsames Tröpfchen.

Wir betrachten einen Weg von $s = 21$ Stufenstufen:

Nr.	Fallzeit $t_{\text{fall}} [\text{s}]$	Steigzeit $t_{\text{up}} [\text{s}]$	Wir schätzen $a = 0,50 \text{ s}$
1	23,55	10,87	
2	21,19	10,31	
3	22,52	10,91	
4	22,09	11,06	
5	22,45	10,98	

Tabelle 1: fünffache Messung eines Tröpfchens

4) Messung von 40-60 Tröpfchen

Auf der nächsten Seite ist die Tabelle mit
50 Messungen.

Praktikumsversuch "Bestimmung der elektrischen Elementarladung nach Millikan"															
27.9.23		Datum der Messung		Namen der StudentInnen:	Matthias & Nicole										
500 V		Spannung des Kondensators U													
1.01E+05 Pa		Luftdruck p		Versuchsaufbau:	C	Alles rote ist zu ändern, der Rest wird automatisch berechnet.									
24,0 oC		Zimmertemperatur T													
6,00E-03 m		Abstand der Kondensatorplatten d													
5,00E-05 m		1 Skt		C1 =	1,9994E-10	VAs (s/m)**1.5									
3,14159		Zahl π		C2 =	9,5400E-09	ms									
1,00E-19 As		Benutzte Ladeneinheit q0		$\rho = \rho_1 - \rho_2$	8,7031E+02	kg/m³									
1,81E-05 Ns/m²		Volumen eines Tröpfchens η (unkorrigiert)		b =	7,7801E-03	Pa m									
8,716E+02 kg/m³		Dichte des Ols ρ_1													
1,29E+00 kg/m³		Dichte der Luft ρ_2													
9,81 m/s²		Erdbeschleunigung g													
2,400		Oberere Grenze der Ladung für einfach geladene Tröpfchen		f	Korrekturfaktor für η										
1,641		Mittewert Q1m der einfach mit Q1 geladenen Tröpfchen		Q	Ladung der gemessenen Tröpfchen										
				Q1	Ladung der einfach geladenen Tröpfchen										
1,653		Mittewert Q/n für Tröpfchen mit n<6		n	nächste ganze Zahl von Q/Q1										
		Zahl der Tröpfchen mit n<6													
0,191		Standardabweichung einer Einzelmessung													
0,027		Standardabweichung des Mittelwertes													
0,8727		Mittelwert für Tröpfchen mit n>6													
Nr.	Sinken	t1	Steigen	t2	v1	v2	v1+v2	R0	f	Q	Q1	Q/Q1m	n	Q/n	f
	[Skt]	[s]	[Skt]	[s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m]				(n=6)	(n=6)		
1	31	25,620	31	61,340	6,050E-05	2,527E-05	8,577E-05	7,597E-07	0,908	2,308	2,308	1,407	1	2,308	0,908
2	31	33,650	31	61,640	6,050E-05	2,527E-05	8,577E-05	7,597E-07	0,863	4,849	2,956	3	1,616	0,863	
3	31	50,950	31	19,810	3,048E-05	7,245E-05	1,087E-04	5,035E-07	0,875	1,179	1,964	1,179	0,875	1	
4	31	45,590	31	24,870	2,051E-05	6,232E-05	8,283E-05	4,423E-07	0,852	1,179	1,179	0,718	1	1,179	0,852
5	31	39,210	31	13,440	3,953E-05	1,153E-04	1,549E-04	6,141E-07	0,888	3,260	1,987	2	1,630	0,888	
6	31	56,240	31	13,360	2,756E-05	1,160E-04	1,436E-04	5,128E-07	0,869	2,443	1,489	1	2,443	0,869	
7	31	20,900	31	2,080	7,416E-05	7,452E-04	8,194E-04	8,411E-07	0,916	24,737	15,078	15			
8	31	52,940	31	10,130	3,630	4,675E-05	5,530E-05	1,823E-04	5,285E-07	0,893	3,215	1,960	2	1,608	0,873
9	21	22,460	21	3,630	4,675E-05	5,530E-05	3,360E-04	6,678E-07	0,893	7,798	4,753	5	1,560	0,896	
10	21	38,950	21	13,630	2,696E-05	7,704E-05	1,040E-04	5,071E-07	0,861	1,746	1,746	1,064	1	1,746	0,868
11	21	42,780	21	14,490	2,452E-05	7,271E-05	9,726E-05	4,839E-07	0,863	1,543	1,543	0,941	1	1,543	0,863
12	21	39,210	21	1,630	2,051E-05	6,232E-05	1,087E-04	5,035E-07	0,863	1,543	1,543	0,941	1	1,543	0,863
13	21	42,070	21	13,000	2,498E-05	6,077E-05	8,057E-04	4,886E-07	0,864	1,695	1,695	1,040	1	1,695	0,864
14	21	43,300	21	12,870	2,425E-05	8,287E-05	1,071E-04	4,810E-07	0,862	1,688	1,688	1,029	1	1,688	0,862
15	21	42,800	21	12,620	2,453E-05	8,320E-05	1,077E-04	4,838E-07	0,862	1,709	1,709	1,042	1	1,709	0,862
16	21	21,250	21	12,240	4,941E-05	8,578E-05	1,352E-04	6,866E-07	0,893	3,239	1,975	2	1,620	0,899	
17	21	24,490	21	9,800	4,287E-05	1,071E-04	1,500E-04	6,395E-07	0,893	3,311	2,018	2	1,656	0,892	
18	21	35,540	21	15,400	2,954E-05	4,022E-05	9,357E-05	5,309E-07	0,873	1,659	1,659	1,011	1	1,659	0,873
19	21	34,610	21	17,290	3,034E-05	6,073E-05	9,107E-05	5,308E-07	0,875	1,641	1,641	1,000	1	1,641	0,875
20	21	25,150	21	9,370	4,175E-05	1,121E-04	1,538E-04	6,311E-07	0,893	3,343	2,038	2	1,671	0,891	
21	21	39,210	21	1,630	2,051E-05	6,232E-05	8,057E-04	4,886E-07	0,871	1,574	1,574	0,958	1	1,574	0,871
22	21	37,150	21	15,680	3,628E-05	6,088E-05	8,382E-05	5,058E-07	0,871	1,529	1,529	1,028	1	1,529	0,871
23	21	37,770	21	16,880	2,783E-05	6,220E-05	8,003E-05	4,153E-07	0,870	1,541	1,541	0,930	1	1,541	0,870
24	21	34,130	21	15,580	3,076E-05	6,571E-05	8,647E-05	5,418E-07	0,875	1,752	1,752	1,068	1	1,752	0,875
25	21	32,980	21	18,010	3,184E-05	5,830E-05	9,014E-05	5,511E-07	0,877	1,671	1,671	1,019	1	1,671	0,877
26	21	32,830	21	18,410	3,198E-05	5,703E-05	8,902E-05	5,524E-07	0,877	1,655	1,655	1,009	1	1,655	0,877
27	21	34,330	21	19,790	3,059E-05	5,306E-05	8,384E-05	5,402E-07	0,875	1,514	1,514	0,923	1	1,514	0,875
28	21	35,420	21	19,190	2,964E-05	4,472E-05	8,436E-05	5,318E-07	0,873	1,499	1,499	0,914	1	1,499	0,873
29	21	51,390	21	12,430	2,043E-05	8,447E-05	1,049E-04	4,415E-07	0,851	1,489	1,489	0,908	1	1,489	0,851
30	21	48,870	21	12,470	2,282E-05	8,005E-05	1,064E-04	4,624E-07	0,859	1,575	1,575	0,959	1	1,575	0,859
31	21	47,070	21	1,640	2,095E-05	6,307E-05	8,056E-04	4,624E-07	0,858	1,601	1,601	0,930	1	1,601	0,858
32	21	49,420	21	12,820	2,125E-05	6,190E-05	1,031E-04	4,502E-07	0,854	1,500	1,500	0,914	1	1,500	0,854
33	21	48,030	21	12,070	2,186E-05	6,899E-05	1,098E-04	4,567E-07	0,856	1,610	1,610	0,982	1	1,610	0,856
34	21	45,230	21	12,990	2,321E-05	8,083E-05	1,040E-04	4,706E-07	0,859	1,597	1,597	0,973	1	1,597	0,859
35	21	32,290	21	17,080	3,252E-05	6,148E-05	9,399E-05	5,570E-07	0,878	1,764	1,764	1,075	1	1,764	0,878
36	21	35,190	21	17,250	2,984E-05	0,087E	5,335E-05	7,533E-07	0,878	1,618	1,618	0,986	1	1,618	0,874
37	21	34,960	21	15,660	3,003E-05	6,705E-05	9,708E-05	5,353E-07	0,874	1,739	1,739	1,060	1	1,739	0,874
38	21	33,940	21	17,030	3,094E-05	6,166E-05	9,259E-05	5,433E-07	0,874	1,668	1,668	1,029	1	1,668	0,876
39	21	35,010	21	17,750	2,999E-05	5,915E-05	8,915E-05	5,349E-07	0,874	1,595	1,595	0,972	1	1,595	0,874
40	21	35,120	21	1,640	2,095E-05	6,307E-05	8,056E-04	4,624E-07	0,858	1,789	1,789	1,040	1	1,789	0,858
41	21	36,550	21	17,350	4,492E-05	6,052E-05	8,484E-05	5,721E-07	0,861	1,638	1,638	1,120	1	1,638	0,861
42	21	35,860	21	18,380	2,928E-05	5,713E-05	8,641E-05	5,285E-07	0,873	1,524	1,524	0,929	1	1,524	0,873
43	21	25,540	21	10,120	4,127E-05	1,038E-04	1,450E-04	6,275E-07	0,891	3,131	3,131	1,909	2	1,566	0,891
44	21	37,980	21	15,100	2,765E-05	6,995E-05	9,760E-05	5,136E-07	0,869	1,664	1,664	1,014	1	1,664	0,869
45	21	42,880	21	15,980	2,495E-05	5,579E-05	9,074E-05	4,879E-07	0,863	1,454	1,454	0,887	1	1,454	0,863
46	21	40,680	21	15,670	2,581E-05	6,701E-05	9,492E-05	4,962E-07	0,865	1,518	1,518	0,928	1	1,518	0,865
47	21	39,640	21	15,900	2,649E-05	6,604E-05	9,253E-05	5,027E-07	0,867	1,537	1,537	0,937	1	1,537	0,867
48	21	40,560	21	15,680	2,598E-05	6,696E-05	9,285E-05	4,970E-07	0,866	1,522	1,522	0,927	1	1,522	0,866
49	21	37,380	21	15,430	2,809E-05	6,805E-05	9,614E-05	5,177E-07	0,870	1,654	1,654	1,008	1	1,654	0,870
50	21	36,660	21	15,630	2,864E-05	6,718E-05	9,582E-05	5,227E-07	0,871	1,668	1,668	1,017	1	1,668	0,871

Tabelle 2: 50 Tröpfchenmessungen

3 Auswertung

In dieser Evaluation werden alle Fehler, sofern keine spezifische Angabe gemacht wird, mithilfe der Gauss'schen Fehlerfortpflanzung berechnet. Dies bedeutet, dass ein Wert F , der mit der Formel $f(a_1, \dots, a_n)$ berechnet wird, den Fehler ΔF gegeben über folgende Formel hat:

$$\Delta F = \sqrt{\sum_n \left(\frac{\partial f}{\partial a_n} \cdot \Delta a_n \right)^2}. \quad (5)$$

3.1 Untersuchung eines einzelnen Tröpfchens

Wir beginnen, indem wir ein Tröpfchen aus Tabelle 2 auswählen, wir entscheiden uns für den Eintrag 42, und manuell Steig- und Fallgeschwindigkeit v_s & v_f sowie den Radius r_0 , $f(r_0)$ und die Ladung q berechnen. Der Einfachheit halber werden erstmal keine Fehler berechnet. Eintrag 42 hat folgende Ausgangswerte: eine Strecke von 21 Skalenteilen, $t_s = 18,380\text{s}$ und $t_f = 35,860\text{s}$. Wir beginnen mit den Geschwindigkeiten. Zunächst bestimmen wir die Strecke mit den Angaben der Skalenlänge:

$$1 \text{ Skt} = (5,00 \pm 0,13) \cdot 10^{-5}\text{m} \quad (6)$$

$$s = 21 \text{ Skt} = (1,050 \pm 0,027) \cdot 10^{-3}\text{m}$$

Nun können wir damit die Geschwindigkeiten bestimmen:

$$v = \frac{s}{t} \quad (7)$$

$$v_s = 0,0571 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_f = 0,0293 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Nun nutzen wir Gleichung 2 um den Radius r_0 zu bestimmen. Wir nutzen $\eta_0 = 1,81 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$ und $\rho = \rho_o - \rho_L$, mit $\rho_o = 871 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ und $\rho_L = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$:

$$r_0 = \sqrt{\frac{9\eta_0}{2\rho g} v_f} \quad (8)$$

$$r_0 = 0,5289 \cdot 10^{-6} \text{m}$$

Damit bestimmen wir $f(r_0)$ nach Gleichung 4. Wir verwenden $b = 7,78 \cdot 10^{-3} \text{Pa m}$ und den gemessenen Wert $p_L = (1008,7 \pm 0,1) \text{hPa}$:

$$f(r_0) = \frac{1}{1 + \frac{b}{r_0 p_L}} \quad (9)$$

$$f(r_0) = 0,8726$$

Zuletzt können wir die Ladung q mit Gleichung 3 bestimmen, wobei gilt $U = (500 \pm 1) \text{V}$, $d = 6,00 \pm 0,05 \text{mm}$ und $\eta = \eta_0 * f(r)$:

$$q = (v_f + v_s) \sqrt{\frac{9v_f \eta^3}{2\rho g} \frac{6\pi d}{U}} \quad (10)$$

$$q = 1,5251 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

Somit lässt sich feststellen, dass alle händisch berechneten Werte praktisch 1:1 mit den Werten der Tabelle übereinstimmen, nur der bestimmte Wert für q weicht ab der dritten Nachkommastelle um 1 ab, was wohl auf Rundungsfehler zurückzuführen ist.

3.2 Histogramm der gemessenen Ladungen

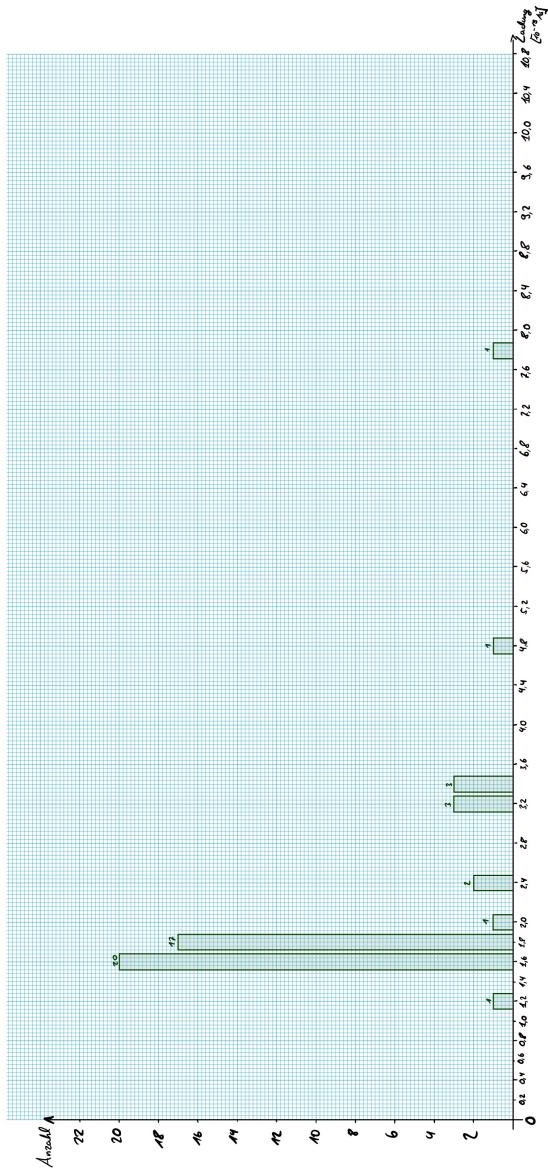


Abbildung 1: Histogramm der gemessenen Ladungen

3.3 Beurteilung der Excel-Werte

Anhand des Histogramms kann man beurteilen, ob die von der Excel-Tabelle gewählte Begrenzung der Werte, die noch mit der Ladung $1e$ bezeichnet werden. In der Tabelle ist angegeben, dass der obere Grenzwert bei $2,4 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ liegt. Dies entspricht im Vergleich mit dem Literaturwert $e_l = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ (Wikipedia, Stand 28.09.23) etwas weniger als $1,5e_l$, was somit durchaus wie eine vernünftige Grenze wirkt. Allerdings gibt es zwei Werte, die direkt auf der Grenze bei 2,4 im Histogramm liegen, wovon einer von der Tabelle noch als eine Ladung gewertet wurde. Inwiefern sich dieser Wert negativ auf das Endergebnis auswirkt bleibt noch abzusehen, allgemein scheint die Grenze in Anbetracht der anderen Werte aber sinnvoll gewählt.

3.4 Systematischer Fehler

Zur Abschätzung der systematischen Fehler verwenden wir folgende Formel:

$$\frac{\Delta q}{q} = \sqrt{\left(\frac{3\Delta s}{2s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \rho}{2\rho}\right)^2 + \left(\frac{3\Delta \eta}{2\eta}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2} \quad (11)$$

Hierbei stammen die Vorfaktoren $\frac{3}{2}$ von den gleichwertigen Potenzen von s und η und die $\frac{1}{2}$ von der Potenz von ρ . Wir verwenden die folgenden Fehler:

$$\begin{aligned} \Delta s &= 0,13 \cdot 10^{-5} \text{ m} \\ \Delta d &= 0,05 \text{ mm} \\ \Delta \rho &= 0,5\% \cdot \rho_o = 4,36 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ \Delta U &= 0,5\% \cdot U = 2,5 \text{ V} \\ \Delta \eta &= 2,0\% \cdot \eta = 0,03 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \end{aligned} \quad (12)$$

Damit kommen wir auf folgenden relativen Fehler:

$$\frac{\Delta q}{q} = 0,05 \quad (13)$$

Wir kommen also auf einen systematischen Fehler von 5%.

3.5 Statistischer Fehler

Wir nehmen an, dass der statistische Fehler hauptsächlich vom Messfehler der Geschwindigkeitsmessungen abhängt und schätzen diesen mit unseren Messwerten aus Tabelle 1 ab. Dazu berechnen wir die Ladungen mit den gemachten Messungen und bestimmen den Fehler einer Einzelmessung σ_q .

Tabelle 3: Bestimmung der Ladung & Fehler der Einzelmessung

t_f [s]	t_s [s]	v_f [m/s]	v_s [m/s]	r_0 [m]	$f(r_0)$	q [As]	σ_q [As]
23,55	10,87	$4,46 \cdot 10^{-5}$	$9,66 \cdot 10^{-5}$	$6,52 \cdot 10^{-7}$	0,8943	$3,189 \cdot 10^{-19}$	
21,19	10,31	$4,96 \cdot 10^{-5}$	$10,18 \cdot 10^{-5}$	$6,88 \cdot 10^{-7}$	0,8992	$3,634 \cdot 10^{-19}$	
22,52	10,91	$4,66 \cdot 10^{-5}$	$9,62 \cdot 10^{-5}$	$6,67 \cdot 10^{-7}$	0,8964	$3,312 \cdot 10^{-19}$	$0,166 \cdot 10^{-19}$
22,09	11,06	$4,75 \cdot 10^{-5}$	$9,49 \cdot 10^{-5}$	$6,74 \cdot 10^{-7}$	0,8973	$3,340 \cdot 10^{-19}$	
22,45	10,98	$4,68 \cdot 10^{-5}$	$9,56 \cdot 10^{-5}$	$6,68 \cdot 10^{-7}$	0,8965	$3,307 \cdot 10^{-19}$	

Nun kann man noch mit der Anzahl der gemittelten Werte $n = 5$ den Fehler des Mittelwerts $\Delta\bar{q}$ berechnen:

$$\Delta\bar{q} = \frac{\sigma_q}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

$$\Delta\bar{q} = 0,07 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

In der Excel Tabelle wurde als Standardabweichung einer Einzelmessung $0,191 \cdot 10^{-19}$ angegeben. Wie man erkennen kann, ist der Wert aus Tabelle 3 etwas kleiner. Dies mag daran liegen, dass bei den fünf Messungen genau das gleiche Teilchen fünf mal gemessen wurde, während die Werte in Excel von vielen verschiedenen Teilchen stammen. Jedoch ist beim Fehler des Mittelwerts der Excel-Wert mit $0,027 \cdot 10^{-19}$ viel genauer als unser Wert, da in der Excel Tabelle nicht nur fünf, sondern fünfzig Werte gemittelt wurden.

3.6 Vergleich mit dem Literaturwert

Zum Abschluss vergleichen wir den von Excel bestimmten Mittelwert sowie Fehler des Mittelwerts mit dem Literaturwert. Dazu addieren wir zunächst den von statistischen Fehler des Mittelwerts mit unserem systematischen Fehler, den wir aus dem relativen Fehler mit dem Mittelwert bestimmen, quadratisch, um den endgültigen Ladungsfehler Δe zu erhalten:

$$\begin{aligned}\Delta q_{sys} &= e \cdot \left(\frac{\Delta q}{q} \right) = 0,08 \cdot 10^{-19} \text{ As} \\ \Delta e &= \sqrt{(\Delta q_{sys})^2 + (\Delta \bar{q})^2} = 0,11 \cdot 10^{-19} \text{ As}\end{aligned}\tag{15}$$

Somit kommen wir auf folgendes Endergebnis:

$$e = (1,653 \pm 0,11) \cdot 10^{-19} \text{ As}\tag{16}$$

Der Vergleich läuft über einen Signifikanztest:

$$\sigma = \frac{|e - e_{Lit}|}{\Delta e} = 0,46\tag{17}$$

Diese Abweichung ist innerhalb des 3σ -Intervalls und somit nicht signifikant.

4 Präsentation der Endergebnisse

In diesem Versuch wurde die Elementarladung bestimmt als

$$e = (1,653 \pm 0,11) \cdot 10^{-19} \text{ As.} \quad (18)$$

Dieses Ergebnis hat eine Sigmaabweichung von $\sigma = 0,46$ zum Literaturwert.

5 Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Versuch wurde mithilfe des von Millikan veröffentlichten Verfahrens die Elementarladung bestimmt. Wir betrachteten fünfzig Öltröpfchen im Plattenkondensator und bestimmten deren Fall- sowie Steiggeschwindigkeiten, um in Endeffekt daraus deren Ladung zu bestimmen. Durch die Fokussierung auf langsam fallende und steigende Tröpfchen konnten so vorüberwiegend Teilchen mit einer Elementarladung untersucht werden.

Zunächst lässt sich zum Ergebnis positiv vermerken, dass es mit einer Abweichung von $\sigma = 0,46$ sehr nah am Literaturwert liegt, dies trotz dem prozentual recht kleinen Fehler von 6,65%. Da die Auswertung praktisch komplett über die gestellte Excel-Tabelle lief und sich unsere manuelle Auswertung nur auf die Überprüfung eines zufälligen Wertes, die Beurteilung der Abschätzungen der Tabelle sowie die Berechnung der Fehler beschränkte, lassen sich hier auch keine wirklichen potenziellen Fehlerquellen in der Auswertung selbst finden. Dafür gibt es noch ein paar nennenswerte Punkte zur Versuchsdurchführung.

Zunächst lässt sich vermerken, dass die Messung der Zeit, die ein Tröpfchen beim Steigen oder Fallen brauchte, komplizierter war, als es schien. Häufig waren die ausgewählten Tröpfchen durch die teilweise unzureichende Auflösung des Bildes auf dem Bildschirm nach halber Strecke nicht mehr erkennbar oder verschwammen mit anderen Tröpfchen und das trotz vorheriger Scharfstellung des Bildes. Auch war es schwierig abzuschätzen, welche Strecke man überprüfen sollte, da sich die horizontalen Linien auf dem Bildschirm bis auf den Nullwert praktisch nicht mit Markierungen der Skala überschnitten.

Verbesserungen bei der Durchführung hätten erzielt werden können, indem man beispielsweise längere Strecken nimmt um die Zeit zu messen, da so der Zeitfehler minimiert werden würde, oder eine stärkere Vergrößerung der Tröpfchen mit einem stärkeren Mikroskop erzielt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass trotz der genannten potenziellen Fehlerquellen ein gutes Ergebnis erzielt werden konnte, das nicht signifikant vom Literaturwert abweicht. Somit wird sehr gut klar, wie beeindruckend gut der von Millikan eingeführte Versuch sogar im Rahmen dieses Praktikums funktioniert, was seine Relevanz in der Physik und die Verleihung des Nobelpreises begründet.