

Versuch 22 - Bestimmung der Elementarladung nach Milikan

PAP 1

01.10.2025

Teilnehmender Student: **Paul Saß**

Gruppe: 9

Kurs: Vormittags

Tutor/in : Louis Laschinger

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Messverfahren	1
1.3 Grundlagen aus der Physik	1
1.3.1 Gravitationskraft	1
1.3.2 Auftriebskraft	1
1.3.3 Stokesche Reibung	2
1.3.4 Elektrische Kraft	2
1.3.5 Kräftegleichgewicht	2
1.3.6 Korrektur der Viskosität	2
2 Durchführung	4
2.1 Messprotokoll	4
3 Auswertung	6
3.1 Aufgabe I	6
3.2 Aufgabe II	8
3.3 Aufgabe III	9
3.4 Aufgabe IV	9
3.5 Aufgabe V	9
3.6 Aufgabe VI	10
4 Zusammenfassung und Diskussion	11

1. Einleitung

1.1 Motivation

Das Milikan-Experiment lieferte einen entscheidenden Meilenstein in der Wissenschaft. Ladung liegt quantisiert vor, d.h. sie kann nur ein kleinen „Paketen“ übertragen werden. Der Versuchsaufbau nach Milikan liefert eine ausreichend genaue Annäherung dieser Größe. Diese ist entscheidend in der Atom-

1.2 Messverfahren

Bei dem Messverfahren werden Öltröpfchen in einen Kondensator gesprührt. Daraufhin wird eine Spannung im Kondensator angelegt. Durch ein Mikroskop lässt sich die Bewegung der Tröpfchen beobachten. Jetzt wird gezielt ein Tröpfchen mit langsamer Aufwärtsbewegung gewählt, da das Ziel ist eine einfach geladenes Tröpfchen zu messen. Von diesem mit einer Skala und aus- und einschalten die Steig- und Fallzeiten gemessen. Daraus lässt sich dann die Elementarladung bestimmen.

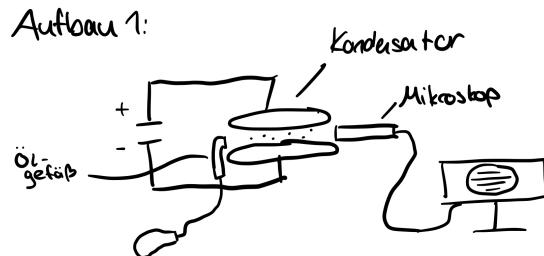


Abbildung 1.1: Aufbau

1.3 Grundlagen aus der Physik

1.3.1 Gravitationskraft

Die Gravitationskraft einer Masse m berechnet sich nach Newton durch:

$$F_g = mg \quad (1.1)$$

Wobei g die Erdbeschleunigung ist. Setzt man nun $m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$ Daras folgt für die Gravitationskraft:

$$F_g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g \quad (1.2)$$

s Mit r als Radius der Tröpfchen, näherungsweise eine Kugel. Und ρ als Dichte des Tröpfchens.

1.3.2 Auftriebskraft

Die Auftriebskraft entwirkt genau der Gewichtskraft der verdrängten Luft. Daraus folgt:

$$F_A = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{Luft} g \quad (1.3)$$

Mit ρ_{Luft} als Dichte der Luft und r als Radius des Tröpfchen.

1.3.3 Stokesche Reibung

Bewegt sich eine Kugel durch ein Ideales Fluid erfährt sie eine Reibung in Abhängigkeit des Radius r , der dynamischen Viskosität η und der Geschwindigkeit v . Für die Reibung gilt folgende Gleichung, da Luft näherungsweise als ideales Gas betrachtet werden kann.

$$F_R = 6\pi r \eta v \quad (1.4)$$

1.3.4 Elektrische Kraft

Da sich das Träpchen in einem elektrischen Feld bewegt, erfährt es eine Spannung durch die angelegte Spannung U . In einem Plattenkondensator ergibt sich diese Kraft als:

$$F_e = q \frac{U}{d} \quad (1.5)$$

Wobei d der Plattenabstand des Kondensators ist.

1.3.5 Kräftegleichgewicht

Aus den Kräften ergibt sich für die Fallende Bewegung:

$$F_g = F_{R1} + F_A \quad (1.6)$$

und beim steigen:

$$F_G + F_{R2} = F_A + F_e \quad (1.7)$$

Die Reibung wirkt immer entgegen der Bewegung, weshalb sie beim steigen auf die Gewichtskraft addiert wird.

Durch das einsetzen der Kräfte lässt sich die Gleichung für die Fallende Bewegung nach r_0 Auflösen, wobei η_0 die Viskosität ohne Korrekturfaktor ist.

$$r_0 = \sqrt{\frac{9\eta_0}{2(\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}})g} v_f} \quad (1.8)$$

Setzt man nun die Gewichtskraft der fallenden Bewegung in die steigende ein erhält man:

$$\Rightarrow F_e = F_{R2} + F_{R1} \quad (1.9)$$

Setzt man hier erneut die Kräfte ein, lässt sich die Gleichung nach q auflösen.

$$q = (v_f + v_s) \sqrt{\frac{9v_f (f\eta_0)^3}{2(\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}})g} \frac{6\pi d}{U}} \quad (1.10)$$

$$(1.11)$$

1.3.6 Korrektur der Viskosität

Unterschreitet der Radius der Tröpfchen die Weglänge der Luftmoleküle, kann die Abhängigkeit der Viskosität vom Radius nicht mehr als linear betrachtet werden. Bei kleinen Wegängen entstehen

nicht mehr ausreichen viele Kollisionen mit den Luftmolekülen, weshalb hier die Viskosität nach unten korrigiert werden muss. Anschaulich betrachten können die Tröpfchen ohne Kollision zwischen zwei Luftmolekülen hndurch "rutschen".

$$f(r) = \frac{1}{1 + \frac{b}{rp}} \quad (1.12)$$

Hierbei gibt p den Luftdruck an, r den Radius und b eine Konstante für den Korrekturfaktor.

2. Durchführung

2.1 Messprotokoll

Messprotokoll

Paul Säß,
Marc Müller

Versuch 22 - Milikanversuch

01. 10. 25

9:30 - 12:30 Uhr

Geräte:

- Milikan - Gerät (Plattenkondensator, Ölzerstäuber und Beleuchtung)
- Mikroskop - Kamera mit Monitor
- Milikan - Steuergesäß (Hochspannungsquelle, Triggerung der Stoppuhren)
- Zwei elektronische Stoppuhren
- PC - Drucker, Datenauswertung mit Excel

Durchführung

Durch den Ölzerstäuber werden kleine Öltröpfchen zwischen die Kondensatorplatten eingebracht. Auf dem Bildschirm kann das Fallverhalten der Tröpfchen bei nicht angelegter Spannung bzw. das Steigverhalten der Tröpfchen bei angelegter Spannung nach Schärfestellung des Mikroskops beobachtet werden. Ziel ist es, die Fall- und Steiggeschwindigkeiten der Tröpfchen zu bestimmen, was durch eine Zeitmessung, die mit dem Spannungsschalter synchronisiert ist, erreicht werden soll. Dabei gibt es je eine Uhr für unangelegte und für angelegte Spannung, die nach dem jeweiligen Betätigen des Spannungsschalters zu laufen beginnt. Die Geschwindigkeiten können dann über die Skalenteile des Milikan - Geräts, welche auf dem Bildschirm angezeigt werden, bestimmt werden.

Es sollen nun 60 Wertepaare aus den Fall- und Steigzeiten für langsam steigende Öltröpfchen (ca. 8 Sek. pro 10 sek.) gemessen werden. Die Zeiten beziehen sich dabei auf die Bewegung von 10 Skalenteilen. Diese Werte werden in Excel aufgezogen

- eingest. Spannung: $U = (495 \pm 10) \text{ V}$
- Luftdruck: $p = (1014,50 \pm 0,10) \text{ hPa}$
- Zimmertemperatur: $T = (230 \pm 10)^\circ\text{C}$

Abbildung 2.1: Messprotokoll Versuch 15 Seite 1

Praktikumsversuch "Bestimmung der elektrischen Elementarladung nach Millikan"															
1.10.25	V	Datum der Messung			Namen der StudentInnen:	Saß, Müller									
495	Spannung des Kondensators U	pm 5													
1.01E+05	Pa	Luftdruck p	pm 1	Versuchsaufbau:											
23,0	oC	Zimmertemperatur T	pm 1												
6,00E-03	m	Abstand der Kondensatorplatten d													
5,00E-05	m	1 Skt		C1 =	1.9987E-10	VAs (s/m)**1.5									
3,14159	Zahl π			C2 =	9,5334E-09	ms									
1,00E-19	As	Benutzte Ladungseinheit q0		$\rho = p_1 - p_2$	8,7091E+02	kg/m³									
1,81E-05	Ns/m²	Viskosität der Luft η_0 (unkorrektiert)		b =	7,7800E-03	Pa m									
8,722E+02	kg/m³	Dichte des Öls p_1													
1,29E+00	kg/m³	Dichte der Luft p_2													
9,81	m/s²	Erdbeschleunigung g													
2,400		Oberere Grenze der Ladung für einfach geladene Tröpfchen		f	Kontrukturfaktor für n										
1,642		Mittelwert Q1m der einfach mit Q1 geladenen Tröpfchen		Q	Ladung der gemessenen Tröpfchen										
1,630		Mittelwert Q/n für Tröpfchen mit n<6		Q1	Ladung der einfach geladenen Tröpfchen										
60		Zahl der Tröpfchen mit n<6		n	nächste ganze Zahl von Q/Q1										
0,097		Standardabweichung einer Einzelmessung													
0,013		Standardabweichung des Mittelwertes													
0,8818		Mittelwert von f 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	10	18,93	10	5,770	2,641E-05	8,666E-05	1,131E-04	5,018E-07	0,867	1,896	1,896	1,154	1	1,896	0,867
2	10	20,660	10	5,970	2,420E-05	8,375E-05	1,080E-04	4,803E-07	0,862	1,717	1,717	1,046	1	1,717	0,862
3	10	20,100	10	5,950	2,488E-05	8,403E-05	1,089E-04	4,870E-07	0,864	1,761	1,761	1,072	1	1,761	0,864
4	10	20,500	10	6,120	2,439E-05	8,170E-05	1,061E-04	4,822E-07	0,863	1,695	1,695	1,032	1	1,695	0,863
5	10	20,030	10	6,100	2,496E-05	8,197E-05	1,069E-04	4,878E-07	0,864	1,733	1,733	1,055	1	1,733	0,864
6	10	21,620	10	6,040	2,313E-05	8,278E-05	1,059E-04	4,695E-07	0,860	1,639	1,639	0,998	1	1,639	0,860
7	10	6,860	10	6,270	7,289E-06	7,974E-05	1,526E-04	8,338E-07	0,916	4,611		2,807	3	1,537	0,916
8	10	6,620	10	6,340	7,553E-06	7,886E-05	1,544E-04	8,486E-07	0,917	4,759		2,897	3	1,566	0,917
9	10	6,800	10	6,720	7,353E-06	7,440E-05	1,479E-04	8,372E-07	0,916	4,491		2,734	3	1,497	0,916
10	10	6,760	10	6,270	7,396E-06	7,974E-05	1,537E-04	8,397E-07	0,916	4,682		2,851	3	1,561	0,916
11	10	10,760	10	18,590	4,647E-05	2,690E-05	7,336E-05	6,656E-07	0,897	1,715	1,715	1,044	1	1,715	0,897
12	10	11,040	10	20,560	4,529E-05	2,432E-05	6,961E-05	6,571E-07	0,895	1,603	1,603	0,976	1	1,603	0,895
13	10	10,930	10	21,860	4,575E-05	2,287E-05	6,862E-05	6,604E-07	0,896	1,589	1,589	0,968	1	1,589	0,896
14	10	11,740	10	18,270	4,259E-05	2,737E-05	6,996E-05	6,372E-07	0,893	1,555	1,555	0,946	1	1,555	0,893
15	10	12,290	10	20,650	4,068E-05	2,421E-05	6,490E-05	6,228E-07	0,890	1,404	1,404	0,855	1	1,404	0,890
16	10	17,790	10	8,430	2,811E-05	5,931E-05	8,742E-05	5,176E-07	0,871	1,521	1,521	0,926	1	1,521	0,871
17	10	16,680	10	9,130	2,998E-05	5,476E-05	8,474E-05	5,346E-07	0,875	1,532	1,532	0,933	1	1,532	0,875
18	10	14,950	10	9,170	3,344E-05	5,453E-05	8,797E-05	5,647E-07	0,880	1,697	1,697	1,033	1	1,697	0,880
19	10	3,400	10	6,890	1,471E-04	7,257E-05	2,196E-04	1,184E-06	0,939	9,788		5,960	6		
20	10	3,220	10	7,360	1,553E-04	6,793E-05	2,232E-04	1,217E-06	0,941	10,247		6,239	6		
21	10	3,470	10	7,090	1,441E-04	7,052E-05	2,146E-04	1,172E-06	0,939	9,459		5,759	6		
22	10	3,430	10	7,080	1,458E-04	7,062E-05	2,164E-04	1,179E-06	0,939	9,598		5,844	6		
23	10	3,320	10	7,310	1,506E-04	6,840E-05	2,190E-04	1,198E-06	0,940	9,888		6,020	6		
24	10	3,560	10	7,240	1,404E-04	6,906E-05	2,095E-04	1,157E-06	0,938	9,106		5,544	6		
25	10	17,780	10	7,020	2,812E-06	7,123E-05	9,935E-05	5,178E-07	0,871	1,729	1,729	1,053	1	1,729	0,871
26	10	20,820	10	6,860	2,402E-05	7,622E-05	1,002E-04	4,785E-07	0,862	1,587	1,587	0,966	1	1,587	0,862
27	10	20,640	10	7,020	2,422E-05	7,123E-05	9,545E-05	4,806E-07	0,862	1,519	1,519	0,925	1	1,519	0,862
28	10	21,210	10	6,830	2,357E-05	7,321E-05	9,678E-05	4,741E-07	0,861	1,515	1,515	0,923	1	1,515	0,861
29	10	19,420	10	6,280	2,575E-05	7,962E-05	1,054E-04	4,954E-07	0,866	1,740	1,740	1,059	1	1,740	0,866
30	10	19,080	10	6,580	2,621E-05	7,599E-05	1,022E-04	4,998E-07	0,867	1,705	1,705	1,038	1	1,705	0,867
31	10	20,540	10	6,010	2,434E-05	8,319E-05	1,075E-04	4,817E-07	0,863	1,717	1,717	1,045	1	1,717	0,863
32	10	19,420	10	6,260	2,575E-05	7,987E-05	1,056E-04	4,954E-07	0,866	1,744	1,744	1,062	1	1,744	0,866
33	10	14,180	10	10,940	3,526E-05	4,570E-05	8,096E-05	5,798E-07	0,883	1,611	1,611	0,981	1	1,611	0,883
34	10	13,600	10	11,880	3,676E-05	4,209E-05	7,885E-05	5,920E-07	0,885	1,608	1,608	0,979	1	1,608	0,885
35	10	14,620	10	10,140	3,420E-05	4,931E-05	8,351E-05	5,710E-07	0,882	1,632	1,632	0,994	1	1,632	0,882
36	10	14,160	10	10,670	3,531E-05	4,686E-05	8,217E-05	5,802E-07	0,883	1,637	1,637	0,996	1	1,637	0,883
37	10	13,030	10	11,720	3,837E-05	4,266E-05	8,104E-05	6,048E-07	0,887	1,695	1,695	1,032	1	1,695	0,887
38	10	10,200	10	6,200	4,902E-05	8,065E-05	1,297E-04	6,836E-07	0,899	3,125		1,903	2	1,563	0,889
39	10	9,560	10	6,210	5,230E-05	8,052E-05	1,328E-04	7,061E-07	0,902	3,223		2,023	2	1,661	0,902
40	10	23,750	10	5,950	2,105E-05	8,403E-05	1,051E-04	4,480E-07	0,854	1,536	1,536	0,935	1	1,536	0,854
41	10	22,900	10	6,180	2,183E-05	8,091E-05	1,027E-04	4,562E-07	0,856	1,535	1,535	0,935	1	1,535	0,856
42	10	20,060	10	5,750	2,493E-05	8,696E-05	1,119E-04	4,875E-07	0,864	1,812	1,812	1,103	1	1,812	0,864
43	10	21,280	10	5,810	2,350E-05	9,074E-05	1,142E-04	4,733E-07	0,861	1,785	1,785	1,087	1	1,785	0,861
44	10	22,960	10	6,070	2,178E-05	8,237E-05	1,041E-04	4,556E-07	0,856	1,554	1,554	0,946	1	1,554	0,856
45	10	9,800	10	5,760	5,102E-05	8,681E-05	6,974E-04	6,974E-07	0,901	3,399		2,070	2	1,700	0,901
46	10	10,370	10	5,690	4,822E-05	8,787E-05	1,361E-04	6,780E-07	0,898	3,249		1,978	2	1,625	0,898
47	10	10,790	10	5,780	4,634E-05	8,651E-05	1,328E-04	6,647E-07	0,897	3,100		1,887	2	1,550	0,897
48	10	9,840	10	5,650	5,081E-05	8,850E-05	1,393E-04	6,960E-07	0,901	3,428		2,087	2	1,714	0,901
49	10	10,390	10	5,430	4,812E-05	9,208E-05	1,402E-04	6,773E-07	0,898	3,344		2,036	2	1,672	0,898
50	10	19,030	10	6,650	2,627E-05	7,519E-05	1,015E-04	5,005E-07	0,867	1,696	1,696	1,032	1	1,696	0,867
51	10	20,740	10	6,930	2,411E-05	7,215E-05	9,626E-05	4,794E-07	0,862	1,528	1,528	0,930	1	1,528	0,862
52	10	19,100	10	7,240	2,618E-05	6,906E-05	9,524E-05	4,996E-07	0,867	1,588	1,588	0,967	1	1,588	0,86

3. Auswertung

3.1 Aufgabe I

In diesem Versuch gilt für ein Skalenteil $1Sk t = 5,00 \cdot 10^{-5} \text{ m}$.

Ausgewählt wird das Öltröpfchen mit folgenden Messwerten: Es gilt für die Reaktionszeit $\Delta t = 0,3 \text{ s}$ und für den Fehler der Skala gilt $\Delta s = 1 Sk t$

Messung	Steigzeit $t_s[\text{s}]$	Fallzeit $t_f[\text{s}]$
1	10,760	18,590
2	11,040	20,560
3	10,930	21,860
4	11,740	18,270
5	12,290	20,650
$\bar{t}_s = (11,4 \pm 0,6) \text{ s}$		$\bar{t}_f = (20,0 \pm 0,8) \text{ s}$

Die Messtrecke beträgt hier immer $s = 10Sk t$ also $s = 5,00 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 50 \text{ mm}$ Daraus ergibt sich mit:

$$v = \frac{s}{t} \quad (3.1)$$

Für die Geschwindigkeiten:

$$v_s = (2,50 \pm 0,10) \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_f = (4,41 \pm 0,27) \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Es gilt für den Fehler:

$$\Delta v = \sqrt{\left(\frac{s}{t^2} \Delta t\right)^2 + \left(\frac{1}{t} \Delta s\right)^2} \quad (3.2)$$

Daraus kann der Radius r_0 bestimmt werden nach Gleichung 1.8 berechnet werden. Mit:

- $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- $\rho_{\text{Öl}} = 872,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{Luft}} = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\eta_0 = 1,81 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$

$$r_0 = (6,49 \pm 0,10) \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Für den Fehler gilt:

$$\Delta r_0 = \sqrt{\frac{9\eta_0}{2(\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}})g}} \frac{1}{2\sqrt{v_f}} \Delta v_f \quad (3.3)$$

Zuerst wird der Korrekturfaktor $f(r_0)$ bestimmt durch Gleichung ??:

$$f(r_0) = 0,8943 \pm 0,0012$$

Mit der Fehlerrechnung:

Daraus kann die Ladung q des Tröpfchens berechnet werden nach Gleichung 1.11:

$$q = (1,56 \pm 0,12) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Für den Fehler gilt:

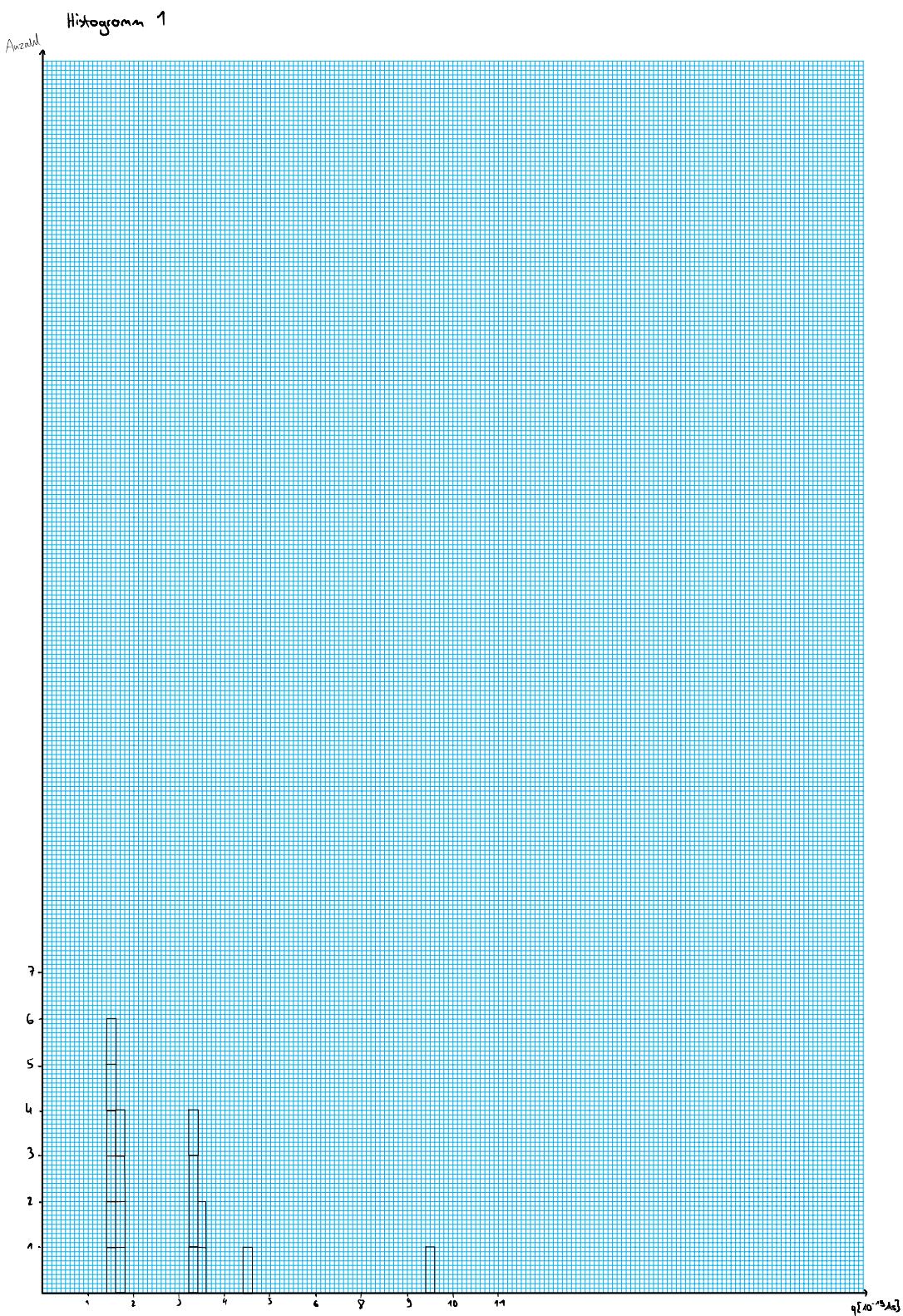
$$\begin{aligned}
 \Delta q^2 = & \left(\left(\frac{9\sqrt{2}\pi df \sqrt{\frac{\eta^3 v_f}{g\rho}}}{U} + \frac{9\sqrt{2}\pi df \sqrt{\frac{\eta^3 v_f}{g\rho}} (v_f + v_s)}{2U v_f} \right) \Delta v_f \right)^2 \\
 & + \left(\frac{9\sqrt{2}\pi df \sqrt{\frac{\eta^3 v_f}{g\rho}}}{U} \Delta v_s \right)^2 \\
 & + \left(\frac{9\sqrt{2}\pi f \sqrt{\frac{\eta^3 v_f}{g\rho}} (v_f + v_s)}{U} \Delta d \right)^2 \\
 & + \left(\frac{-9\sqrt{2}\pi df \sqrt{\frac{\eta^3 v_f}{g\rho}} (v_f + v_s)}{U^2} \Delta U \right)^2 \\
 & + \left(\frac{9\sqrt{2}\pi d \sqrt{\frac{\eta^3 v_f}{g\rho}} (v_f + v_s)}{U} \Delta f \right)^2
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Der Mittelwert aus Excel für die 5 Ladungen ergibt:

$$q = (1,57 \pm 0,05) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Das entspricht einer Abweichung von $0,08\sigma$. Daher kann der Wert von Excel als genau betrachtet werden. Durch die berücksichtigung von Fehlern und dem Runten von Zwischenergebnissen, entstehen leichte Abweichungen. Diese sind aber nicht signifikant.

3.2 Aufgabe II



3.3 Aufgabe III

Die Obergrenze für das Excel-Dokument wurde bei $2,4 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ gesetzt. Ohne die Elementarladung zu kennen ist eine Abschätzung schwierig, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass nur gerade Anzahlen an Ladungen gemessen wurden. Da die Messung jedoch quantitativ ist, kann ausgeschlossen werden, dass ausschließlich gerade Vielfache der Elementarladung gemessen wurden. Da der Literaturwert bekannt ist, ist der Schwellenwert Sinnvoll. Dieser liegt genau zwischen e und $2e$ es ist daher die einzige Grenze die gezogen werden kann, da die Werte einer Einzelladung gleichermaßen nach oben abweichen, wie die von zwei nach unten.

3.4 Aufgabe IV

Der Fehler wird abgeschätzt mit folgender Formel:

$$\frac{\Delta q}{q} = \sqrt{\left(\frac{3\Delta s}{2s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{2p}\right)^2 + \left(\frac{3\Delta \eta}{2\eta}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2} \quad (3.5)$$

Die Vorfaktoren für p und η ergeben sich direkt als Faktor aus der Ableitung nach der jeweiligen Variable.

Bei s ist das ganze nicht so offensichtlich. Zuerst müssen $v_f = \frac{s}{t_f}$ und $v_s = \frac{s}{t_s}$ so eingesetzt werden. Nun lässt sich das § s aus der Summe ausklammern und mit dem s -Faktor aus der Wurzel ergibt sich dann $\frac{3}{2}$ als Exponent für s .

Setzt man in diese Formel die gegebenen Werte ein erhält man: Daraus ergibt sich mit dem Ablesefehler von 1 Skt der Relative Fehler von:

$$\boxed{\frac{\Delta q}{q} = 15\%}$$

3.5 Aufgabe V

Messung	$t_s [\text{s}]$	$t_f [\text{s}]$	$v_s [10^{-5} \text{ m/s}]$	$v_f [10^{-5} \text{ m/s}]$	$r_0 [10^{-7} \text{ m}]$	f	$q [10^{-19} \text{ C}]$
1	10,760	18,590	2,690	4,467	6,656	0,897	1,715
2	11,040	20,560	2,432	4,529	6,571	0,895	1,603
3	10,930	21,860	2,287	4,575	6,604	0,896	1,589
4	11,740	18,270	2,737	4,259	6,372	0,893	1,555
5	12,290	20,650	2,241	4,068	6,228	0,890	1,404

Fehler der Einzelmessung:

$$\sigma = 0,11$$

Die Abweichung von Excel ergibt:

$$\sigma_X = 0,097 \approx 0,10$$

Die Abweichungen stimmen in etwa überein. Die Differenz beträgt 0,01, weshalb das Ergebnis als in etwa übereinstimmend mit dem von Excel zu werten ist. Das Excel Dokument berücksichtigt deutlich mehr Teilchen als diese Rechnung.

3.6 Aufgabe VI

$$q = (1,56 \pm 0,12) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Verglichen mit dem Literaturwert $e = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ergibt sich eine Abweichung von: $0,35 \sigma$.

Für den Wert, errechnet mit Excel ergibt sich:

$$q_X = (1,630 \pm 0,013) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Also eine Abweichung von 2σ zum Literaturwert.

4. Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Versuch konnten mithilfe von Stoppuhren die Fall und Steigzeiten der Öltröpfchen im Spannungsfeld bestimmt werden. Aus der Fallgeschwindigkeit konnte der Radius des jeweiligen Teilchens bestimmt werden. Mit diesem wurden anschließend der Korrekturfaktor der Viskosität und zum Schluss die Ladung des Teilchens berechnet werden.

Für den errechneten Wert der Ladung eines einfach geladenen Teilchens ergibt sich:

$$q = (1,56 \pm 0,12) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Dieser weist eine Abweichung von $0,35\sigma$ zum Literaturwert auf. Durch die ausreichende Abschätzung der Fehler ist diese Abweichung nicht signifikant. Der errechnete Wert des Excel-Dokuments ist der Mittelwert aller Einzelladungen von Teilchen mit einer Gesamtladung $\leq 6e$. Dieser ergibt mit der statistischen Abweichung:

$$qx = (1,630 \pm 0,013) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Das entspricht einer Abweichung von 2σ zum Literaturwert. Diese Abweichung ist zwar nicht mehr vernachlässigbar, aber immer noch innerhalb des 3σ Bereichs des Literaturwerts. Daher kann auch diese Messung als erfolgreich betrachtet werden.

Was hier auffällt ist die Abweichung nach oben, eigentlich sollte die Messung von Excel genauer sein. Dort wurde allerdings nicht der Fehler der Spannung berücksichtigt, welche in unserer Durchführung stark abgefallen ist. Die Messungen des ersten Wertes wurden etwa bei der Hälfte der Messung gemacht, weshalb dort der Mittelwert der Spannung sehr genau zutrifft. Ist die Spannung weiter abgefallen steigt die errechnete Ladung. Deshalb ist der Wert von Excel zu groß.

Zusammenfassend war die Messung erfolgreich. Jedoch gäbe es zu verbessern, dass Excel signifikante Abweichungen der Messgeräte berücksichtigt. Dadurch können schlechte Messgeräte nicht kompensiert werden und es werden falsche Ergebnisse berechnet. Ebenfalls wäre ein Netzteil hilfreich, welches die Spannung besser konstant halten kann, damit diese Fehlerquelle reduziert werden kann.