

*Physikalisches Praktikum für  
Naturwissenschaftler  
Blockpraktikum Wintersemester 2022/23*

## Eigenschaften des Elektrons

24.02.2023

[illegible]

## Gruppe 1

# Beim nächsten Anruf: LaFerrari!

## Einleitung

In diesem Praktikumsversuch werden wir die Eigenschaften von Elektronen untersuchen um so unsere Kenntnisse zu ihren Theoretischen Eigenschaften experimentell nachzuvollziehen und zu vertiefen. Schwerpunktmäßig beschäftigen wir uns mit versuche zur spezifischen Elementarladung eines Elektrons.

## Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

### Teil 1: Bestimmung der spezifischen Ladung eines Elektrons

#### Ziel und Versuchsaufbau

Ziel dieses Versuches ist um die experimentell die Elementarladungen [e] und die Maße [m] von Elektronen zu bestimmen. Eine Fadenstrahlröhre mit Helmholtz-Spulenpaar und Steuergerät ermöglichen uns die Bestimmung von den von uns benötigten werte zur Berechnung.

Eine Fadenstrahlröhre ist eine evakuierte Glaskugel mit Neon-Gas gefüllt und besteht aus ein metallisches Draht (Kathode) die ab einer Temperatur von 850°C Elektronen freisetzt, ein Wehneltzylinder die das elektronstrahl bündeln und eine Anode wodurch die Elektronen fliegen. Eine Helmholtzspule erzeugt ein Magnetfeld wodurch die freien Elektronen auf eine Kreisbahn gelenkt werden.

Durch das kollidieren von freien Elektronen mit den Neon-Atomen wird ein Elektronenstrahl erzeugt was sichtbares Licht emittiert.

#### Versuchsdurchführung

Die Fadenstrahlröhre mit Helmholtz-Spulenpaar wird mit dem Steuergerät für Beschleunigungsspannung und Spulenstrom verbunden. Am Messgerät werden Beschleunigungsspannungen [U] von 200V bis 400V in schritten von 25V eingestellt und die zugehörige Spulenströme [I] dokumentiert die benötigt werden um Kreisbahndurchmesser von 6cm, 8cm und 10cm zu erzeugen. Die Durchmesser werden an einem Maßstab innerhalb der Röhre abgelesen.

## Versuchsauswertung

- 1) Die Apparate Konstante  $A_c$  lässt sich mithilfe der Gleichung [EM6] berechnen:

$$A_c = \mu_0 \cdot \frac{k \cdot R^2}{\sqrt{(R^2 + (\frac{R}{2})^2)^3}}$$

Mit  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$   $k=124$  Windungen und  $R=0,1475m$

$$A_c = 7,56 \times 10^{-4} \frac{Vs}{Am^2}$$

Tabelle 1: Messwerte zur Bestimmung der Spezifischen Ladung des Elektrons

|     | d=6cm |                                 | d=8cm |                                 | d=10cm |                                 |
|-----|-------|---------------------------------|-------|---------------------------------|--------|---------------------------------|
| U/V | I / A | I <sup>2</sup> / A <sup>2</sup> | I / A | I <sup>2</sup> / A <sup>2</sup> | I / A  | I <sup>2</sup> / A <sup>2</sup> |
| 200 | 2,125 | 4,515625                        | 1,54  | 2,3716                          | 1,2    | 1,44                            |
| 225 | 2,26  | 5,1076                          | 1,645 | 2,706025                        | 1,29   | 1,6641                          |
| 250 | 2,37  | 5,6169                          | 1,765 | 3,115225                        | 1,375  | 1,890625                        |
| 275 | 2,495 | 6,225025                        | 1,855 | 3,441025                        | 1,46   | 2,1316                          |
| 300 | 2,62  | 6,8644                          | 1,95  | 3,8025                          | 1,505  | 2,265025                        |
| 325 | 2,705 | 7,317025                        | 1,995 | 3,980025                        | 1,575  | 2,480625                        |
| 350 | 2,825 | 7,980625                        | 2,105 | 4,431025                        | 1,635  | 2,673225                        |
| 375 | 2,9   | 8,41                            | 2,16  | 4,6656                          | 1,71   | 2,9241                          |
| 400 | 3,035 | 9,211225                        | 2,245 | 5,040025                        | 1,755  | 3,080025                        |

2a) Diagramme: [U] in Abhängigkeit von [I<sup>2</sup>] für drei Kreisbahndurchmesser

Die Steigung der Ausgleichsgeraden und ihre Messunsicherheiten lassen sich mithilfe dem RGP befehl in Excel bestimmen.

## Kreisbahndurchmesser von 6cm

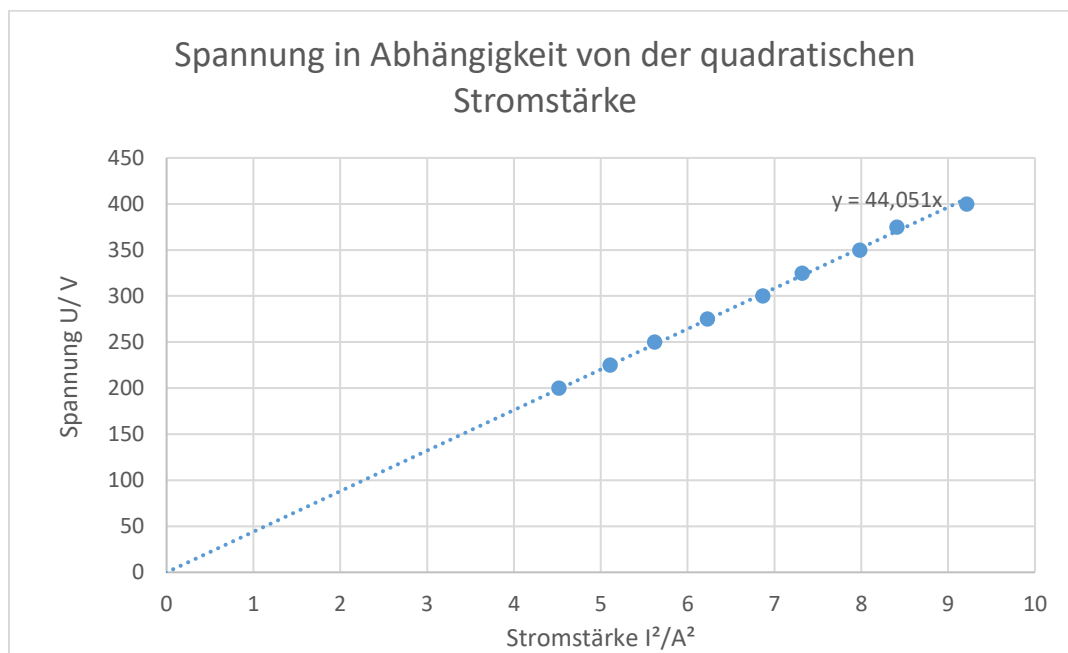


Diagramm 1: Messwerte um einen Kreisbahndurchmesser von 6cm zu erzeugen

Die Steigung [ $a_{6cm}$ ] der Ausgleichsgerade und ihre Messunsicherheit für die obige Abbildung beträgt:

$$\begin{aligned}
 a_{6cm} &= (43,4 \pm 0,8) \frac{V}{A^2} \\
 &= 43,4 (1 \pm 1,8\%) \frac{V}{A^2}
 \end{aligned}$$

## Kreisbahndurchmesser von 8cm

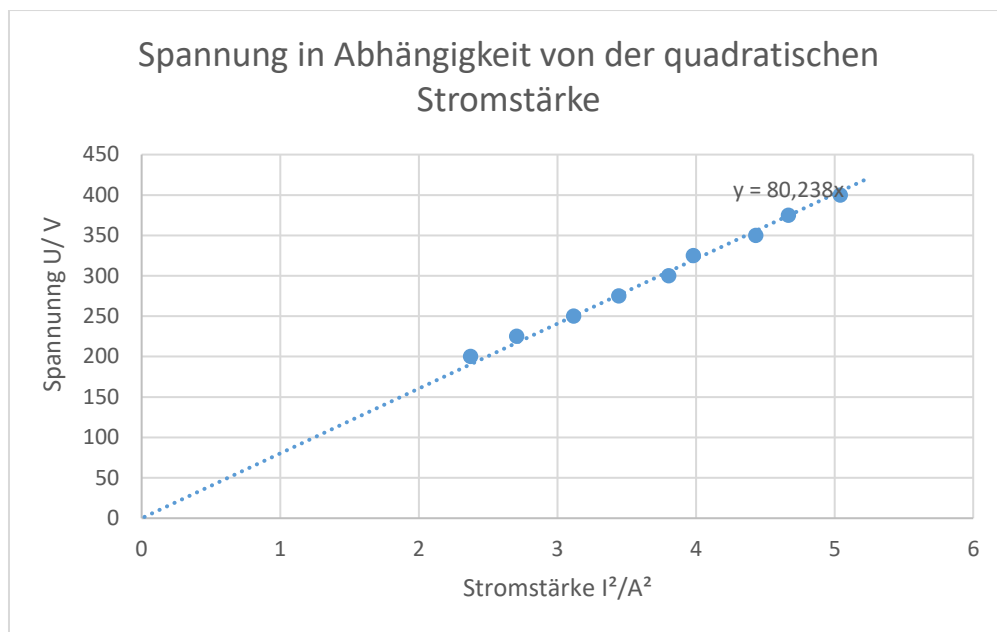


Diagramm 2: Messwerte um einen Kreisbahndurchmesser von 8cm zu erzeugen

Die Steigung  $[a_{8cm}]$  der Ausgleichsgerade und ihre Messunsicherheit für die obige Abbildung beträgt:

$$a_{8cm} = (75,8 \pm 1,7) \frac{V}{A^2}$$

$$= 75,8 (1 \pm 2,2\%) \frac{V}{A^2}$$

## Kreisbahndurchmesser von 10cm

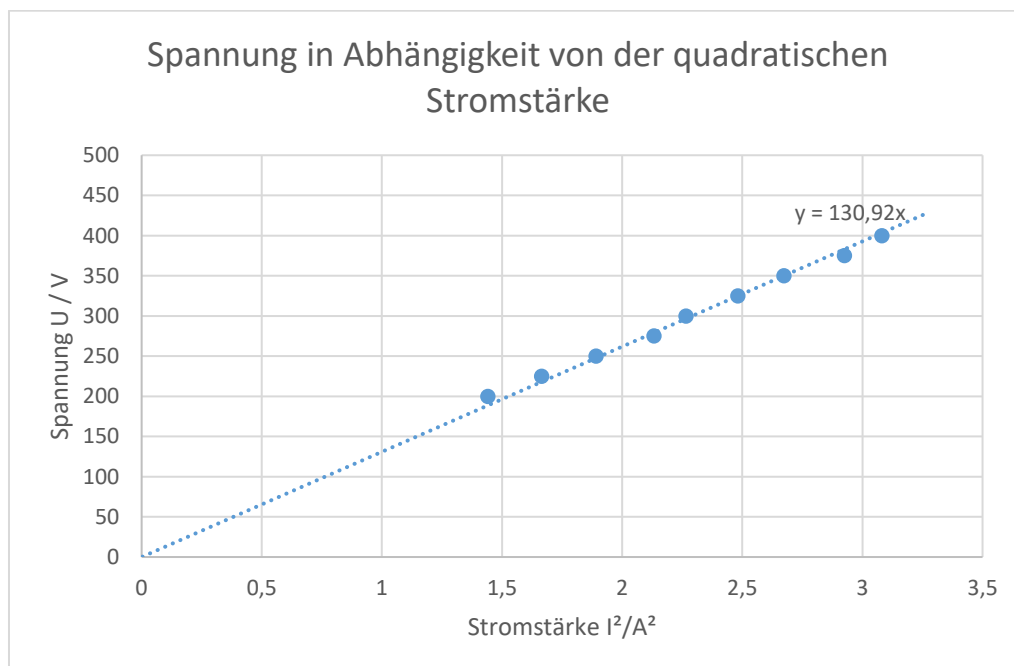


Diagramm 3: Messwerte um einen Kreisbahndurchmesser von 10cm zu erzeugen

Die Steigung  $[a_{10cm}]$  der Ausgleichsgerade und die Messunsicherheit für die obige Abbildung beträgt:

$$a_{10cm} = (122,1 \pm 2,2) \frac{V}{A^2}$$

$$= 122,1 (1 \pm 1,8\%) \frac{V}{A^2}$$

## 2b) Berechnung der Spezifischen Ladung

Die spezifische Ladung eines Elektrons lässt sich durch die folgende Umformung von der Gleichung EM8 berechnen:

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot a}{r^2 \cdot A_c^2}$$

$$d_{6cm} : \frac{e}{m} = 1,6875 \times 10^{11} \frac{m^2}{Vs^2}$$

$$d_{8cm} : \frac{e}{m} = 1,6578 \times 10^{11} \frac{m^2}{Vs^2}$$

$$d_{10cm} : \frac{e}{m} = 1,7091 \times 10^{11} \frac{m^2}{Vs^2}$$

Die Messunsicherheit lässt sich mit der folgenden Gleichung bestimmen:

$$\Delta \frac{e}{m} = \frac{2 \cdot \Delta a}{r^2 \cdot A_c^2}$$

$$d_{6cm} : \Delta \frac{e}{m} = 2,7217 \times 10^9 \frac{m^2}{Vs^2}$$

$$d_{8cm} : \Delta \frac{e}{m} = 3,701 \times 10^9 \frac{m^2}{Vs^2}$$

$$d_{10cm} : \Delta \frac{e}{m} = 3,075 \times 10^9 \frac{m^2}{Vs^2}$$

Für alle der berechneten Messunsicherheiten wird der Studentenfaktor berücksichtigt und folgendermaßen angepasst:  $u_{\frac{e}{m}} = 2 \times \Delta \frac{e}{m}$ , daraus folgt:

$$d_{6cm} : \frac{e}{m} = (1,688 \pm 0,06) \times 10^{11} \frac{m^2}{Vs^2}$$

$$d_{8cm} : \frac{e}{m} = (1,66 \pm 0,08) \times 10^{11} \frac{m^2}{Vs^2}$$

$$d_{10cm} : \frac{e}{m} = (1,71 \pm 0,07) \times 10^{11} \frac{m^2}{Vs^2}$$

## 2c) Mittelwert der spezifischen Elementarladung

Der Mittelwert  $\left[\frac{e}{m_{\langle x \rangle}}\right]$  kann mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$\frac{e}{m_{\langle x \rangle}} = \frac{1}{N} \left( \frac{e}{m_{d_{6cm}}} + \frac{e}{m_{d_{8cm}}} + \frac{e}{m_{d_{10cm}}} \right)$$

Daraus folgt:

$$\begin{aligned} \frac{e}{m_{\langle x \rangle}} &= (1,69 \pm 0,08) \times 10^{11} \frac{m^2}{Vs^2} \\ &= 1,69 \times 10^{11} (1 \pm 4,8\%) \frac{m^2}{Vs^2} \end{aligned}$$

## Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

### Teil 2: Elementarladung eines Elektrons bestimmen mithilfe des Millikan-Versuchs

#### Zielsetzung

Ziel dieses Versuches ist um die Quantisierung elektrischer Ladungen experimentell nach zu weisen, dies wird mittels des Millikan-Versuchs durchgeführt. Aus den erfassten Werten kann ein Elementarladungswert bestimmt werden.

#### Versuchsaufbau und Durchführung

Für diesen Versuch wird ein Steuergerät an die Millikan-Apparatur angeschlossen.

Öl-Tröpfchen werden mittels eines Öl-Zerstäubers zwischen zwei Plattenkondensator eingebracht. Durch ein Mikroskop können geladene Öl-Tröpfchen vor Netzlinien beobachtet werden. An dem Steuergerät werden Spannungen zwischen 500V und 750V eingestellt und die Polarität kann mit einem Polaritätsschalter zwischen 0, positiv oder negativ gestellt werden. Bei angelegter Spannung werden geladene Öl-Tröpfchen steigen.

Eine Spannung von 500V wird eingestellt, ein geladener Öl-Tröpfchen fängt an zu steigen. Die gestiegene Strecke wird mithilfe der Netzlinien im Hintergrund bestimmt (2 Linien haben einen Abstand von 0,25mm voneinander), die Strecke und die Zeit, die das Öl-Tröpfchen benötigt hat, um diese Strecke zurückzulegen, werden dokumentiert. Nun wird die Polarität auf 0 gesetzt und dasselbe Öl-Tröpfchen sinkt, die Zeit, die das Tröpfchen benötigt, um denselben Abstand abzulegen, wird notiert. Diesen Ablauf wird für 12 Öl-Tröpfchen unter unterschiedlichen Spannungen wiederholt.

## Versuchsauswertung

### 3a) Bestimmung Radius [r] und die Ladung [Q] der beobachteten Öltröpfchen

Die folgende Tabelle wurde mittels das „Tabellenwerkzeug zur Auswertung des Millikanversuchs“ erstellt

Tabelle 2: Berechnete Radien und Ladungen des Millikan-Versuchs

| Tröpfchennr. | [r]/nm | [Q]/C      |
|--------------|--------|------------|
| 1            | 860.0  | 7.97E-19   |
| 2            | 400,8  | -1.229E-19 |
| 3            | 1020.3 | 7.549E-19  |
| 4            | 1418.8 | -20.12E-19 |
| 5            | 1075.8 | -9.074E-19 |
| 6            | 1438,4 | -17.80E-19 |
| 7            | 743.7  | 3.464E-19  |
| 8            | 1286.1 | 14.22E-19  |
| 9            | 908.6  | 4.126E-19  |
| 10           | 1020.3 | 5.694E-19  |
| 11           | 1381.9 | 10.51E-19  |
| 12           | 1418.8 | 17.46E-19  |

### 3b) Diagramm der berechneten Werte für Ladung [Q]

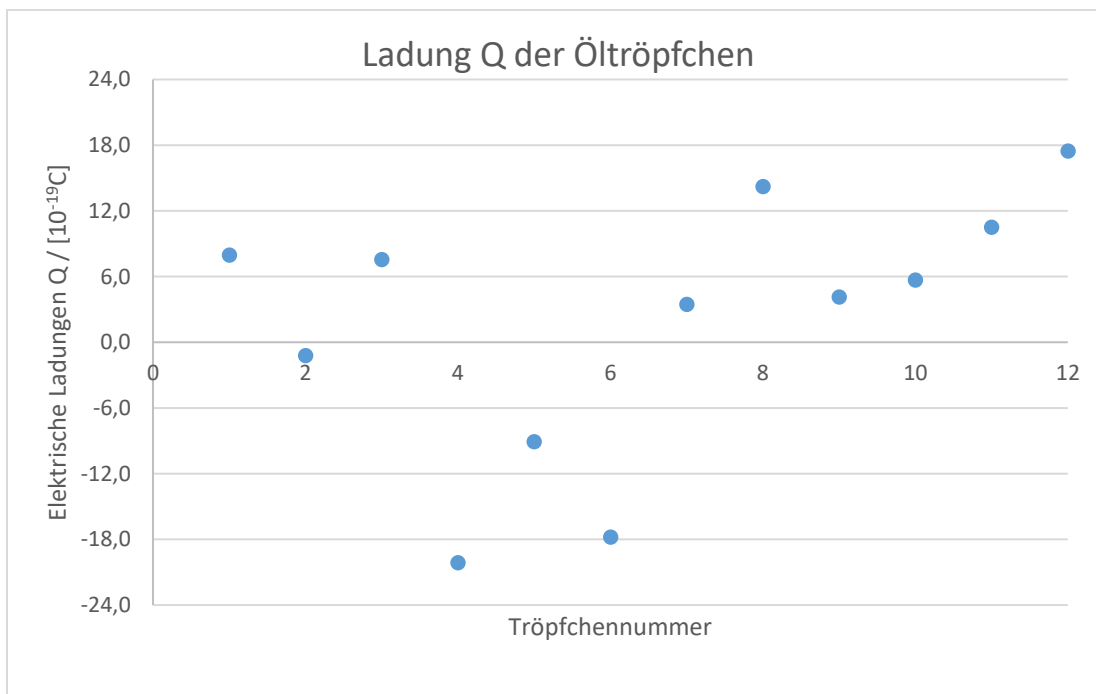


Abbildung 4: Ladungen von verschiedenen Öltröpfchen

Tabelle 3: Berechnung der Elementarladung von 12 unterschiedlichen Öltröpfchen

| Tröpfchennr. | Ladung [Q] / C | n                | $e = \frac{Q}{n} / C [\times 10^{-19}]$ |
|--------------|----------------|------------------|-----------------------------------------|
| 1            | 7.97E-19       | 2                | 3,98                                    |
| 2            | -1.229E-19     | Nicht auswertbar | Nicht auswertbar                        |
| 3            | 7.549E-19      | 2                | 3,7745                                  |
| 4            | -20.12E-19     | -3               | 6,7066                                  |
| 5            | -9.074E-19     | -2               | 4,537                                   |
| 6            | -17.80E-19     | -3               | 5,933                                   |
| 7            | 3.464E-19      | 1                | 3,464                                   |
| 8            | 14.22E-19      | 2                | 7,11                                    |
| 9            | 4.126E-19      | 1                | 4,126                                   |
| 10           | 5.694E-19      | 1                | 5,694                                   |
| 11           | 10.51E-19      | 2                | 5,255                                   |
| 12           | 17.46E-19      | 3                | 5,82                                    |

## 3c) Berechnung der Elementarladung aus obigen Ladungen [Q]

Mittelwertsberechnung:

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n e_i$$

$$\bar{e} = 5,12773... \times 10^{-19} C$$

Berechnung der Standardabweichung

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n - 1}}$$

$$s = 1,23107 ... \times 10^{-19} C$$

Berechnung der Standardabweichung des Mittelwerts

$$s_m = \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot 2$$

$$s_m = 0,38929 \times 10^{-19} C$$

Als Endergebnis der Elementarladung ergibt sich:

$$e = (5,1 \pm 0,8) \times 10^{-19} C$$

$$= 5,1 \times 10^{-19} (1 \pm 16\%) C$$

## 4) Bestimmen der Masse eines Elektrons

$$m = \frac{\bar{e}}{e}$$

$$m = 3,0341597 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

Zu berücksichtigen ist die Messunsicherheit die sich mithilfe dem Gauß'schen Fortpflanzungsgesetz berechnen lässt:

$$\Delta m \left( \bar{e}; \frac{e}{m} \right) = \sqrt{\left( -\frac{\bar{e}}{e^2} \cdot \Delta \frac{e}{m} \right)^2 + \left( -\frac{1}{\bar{e}} \cdot \Delta e \right)^2}$$

$$\Delta m = 4,733727 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

Daraus folgt:

$$\begin{aligned} m &= (4,7 \pm 0,5) \times 10^{-30} \text{ kg} \\ &= 4,7 \times 10^{-30} (1 \pm 11\%) \text{ kg} \end{aligned}$$

## 5) Vergleich zwischen Versuch Ergebnisse und Literatur

$$\frac{e}{m_{\text{theorie}}} = (1,75882001076 \pm 0,00000000053) \times 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

$$e_{\text{theorie}} = 1,602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_{\text{theorie}} = (9,1093837015 \pm 0,0000000028) \times 10^{-31} \text{ kg}$$

Die aus dem Versuch erzeugten Ergebnisse weichen deutlich von den Literaturwerten ab. Ursachen hierfür ist zu hoher Wahrscheinlichkeit ein Messfehler während unseres Versuches zum Beispiel während dem fokussieren auf einzelne Öltröpfchen, oder das gleichzeitige bedienen eines „Timers“ und das Polaritätsschalter.

## Fazit

In diesem Praktikumsversuchs hatten wir die Möglichkeit die Eigenschaften von Elektronen zu untersuchen und haben unsere Kenntnisse zu ihren Theoretischen Eigenschaften experimentell vertiefen können. Obwohl unsere Messergebnisse von den Literatur Werten abweichen, wie bereits in den einzelnen Abschnitten besprochen, ist das Ziel uns gelungen. Wiederholte Durchführung vom Versuch würde zu einer Minimierung der Fehler führen.

## Messwerttabelle für den EM-Versuch

Name Betreuer/Betreuerin: Antonius F...

Namen Praktikanten/Praktikantinnen: ...

Datum des Versuchstags: 24.02.23

### Teil 1: Messwerte zur Bestimmung der Spezifische Ladung des Elektrons

|                | $d = 6 \text{ cm}$ | $d = 8 \text{ cm}$ | $d = 10 \text{ cm}$ |
|----------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| $U / \text{V}$ | $I / \text{A}$     | $I / \text{A}$     | $I / \text{A}$      |
| 200            | 2,125              | 1,540              | 1,200               |
| 225            | 2,260              | 1,645              | 1,290               |
| 250            | 2,370              | 1,765              | 1,375               |
| 275            | 2,495              | 1,885              | 1,460               |
| 300            | 2,620              | 1,950              | 1,505               |
| 325            | 2,705              | 1,995              | 1,575               |
| 350            | 2,825              | 2,105              | 1,635               |
| 375            | 2,900              | 2,160              | 1,710               |
| 400            | 3,035              | 2,245              | 1,755               |

### Teil 2: Messwerte zur Bestimmung der Ladung der Öltröpfchen (Millikan-Versuch)

| Tröpfchennr. | $s_{\text{sink}} / \text{mm}$ | $t_{\text{sink}} / \text{s}$ | $s_{\text{steig}} / \text{mm}$ | $t_{\text{steig}} / \text{s}$ | $U / \text{V}$ |
|--------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 1            | 0,5                           | 5                            | 0,75                           | 5,1                           | 500            |
| 2            | 1                             | 4,2                          | 1                              | 15,2                          | -500           |
| 3            | 1                             | 4,6                          | 1                              | 7,9                           | 600            |
| 4            | 1                             | 13,2                         | 1                              | 13,3                          | 600            |
| 5            | 1                             | 3,7                          | 1                              | 8,9                           | -600           |
| 6            | 1                             | 6,5                          | 1                              | 11,2                          | -550           |
| 7            | 1                             | 7,2                          | 1                              | 13,3                          | 550            |
| 8            | 1                             | 3,8                          | 1                              | 7,2                           | -550           |
| 9            | 1                             | 9,0                          | 1                              | 22,8                          | 643            |
| 10           | 1                             | 7,2                          | 1                              | 20,4                          | 640            |
| 11           | 1                             | 4                            | 1                              | 32                            | 716            |
| 12           | 1                             | 3,8                          | 1                              | 47                            | 750            |

Raum für Notizen:

---



---



---



---

Unterschrift des Betreuers/der Betreuerin: