Versuch 242 Elektrische & magnetische Kraft einwirkung auf geladenen Leitern 30/11

Einleitung

In diesen Versuch wollen wir die Ladung und Masse des Elektrons bestimmen. Dazu bestimmen wir im ersten Teil die spezifische Masse $e/m$ mit dem Fadenstrahlrohr und im zweiten Versuchsteil die Ladung mit dem Millikanversuch.

Theorie

Für den ersten teil des Versuchs brauchen wir ein Fadenstrahlrohr. Dieses hat eine Glühkathode und am anderen Ende eine Anode. Die beiden sind verbunden durch ein Glaskolben in den Wasserstoff unter einen Druck von ca. 1 Pa ist. Der Weg des Elektronenbündels wird durch leuchtende Gaszone sichtbar, diese entstehen durch den Zusammenstoß von Elektronen & Gasmolekülen welche dadurch ionisiert wurden. Durch des Stoß fliegen Sekundärelektronen aus den Strahl heraus & träge positive Ionen bleiben zurück. Diese sind zu viele mit geringer Geschw. und bilden eine starke positive Raumladung. Dadurch werden die Austretenden Elektronen radial zur Strahlachse Kräfte ausgeübt was zur fokussierung des Elektronenbündels führt.

Auf die Elektronen wirkt eine Kraft $\vec{F} = e(\vec{v} \times \vec{B})$ Lorenzkraft. mag Flussdichte -> $\vec{B}$

Wenn die Elektronenkanone $\perp$ zur Magnetfeldrichtung -> $F = evB$

Wegen der Lorenzkraft wird der Fadenstrahl zum Kreisbogen verformt und bei einem hinreichenden starken Mag. feld zum Vollkreis.

Somit ist Lorenzkraft = Zentripetalkraft $evB = \frac{mv^2}{r}$

Geschw des Elektrons mit hilfe des Energiesatzes $\frac{1}{2}mv^2 = eU$

U -> Gesammte (Beschleunigungs)spannung

$$=> \frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2B^2}$$ => Spezifische Ladung des Elektrons

Die mag flussdichte wird in der Helmholtz-Spulensystem mit den Biot Savartschen Gesetz berechnet: $B = 0{,}716 \, \mu_0 \frac{n I}{R}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

Im Millikanversuch werden einzelne Öltröpfchen, die wenige Elementarladungen tragen, in einen Kondensator gebracht, der parallel zur Gravitationsbeschleunigung ausgerichtet ist.

Auf die Öltropfen wirken folgende Kräfte:

① Auftrieb $\vec{F}_A = -\rho_{Luft} \frac{4\pi}{3} r^3 \vec{g}$

② Gravitationskraft $\vec{F}_g = m\,\vec{g} = \rho_{Öl} \frac{4\pi}{3} r^3 \vec{g}$

③ Stokesche Reibung $F_R = -6\pi v \eta_{Luft} \vec{v}$

④ Elektrostatische Kraft $\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E}$

Für den Radius r der Öltröpfchen erhält man: $r = \sqrt{\frac{9\eta_{eff}(v_\downarrow - v_\uparrow)}{4g(\rho_{Öl} - \rho_{Luft})}}$

Für die Gesamtladung der Tröpfchen gilt:

$$Ne = 3\pi\,\eta_{eff}\, r\, \frac{v_\downarrow + v_\uparrow}{E}$$

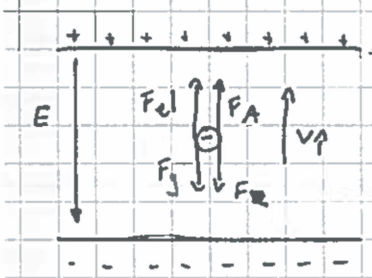
Mit einem Mikroskop können nun die Bewegungen der Öl-Teilchen beobachtet werden.

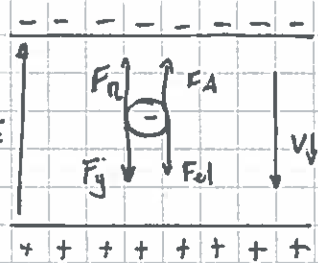
Viskosität: bezeichnet die Zähflüssigkeit oder Zähigkeit von Flüssigkeiten und Gasen. Je höher die Viskosität desto dickflüssiger

Stokesche Reibung: Abhängigkeit der Reibungskraft sphärischer Körper von verschieden Größen

Cunningham-Korrektur: Bei Ableitung des Stokes'schen Gesetzes wird ein kontinuierliches homogenes Umgebungsmedium vorausgesetzt.

Aufgabe 242A




Aufsteigendes Tröpfchen

Sinkendes Tröpfchen

Aufgabe 242B

Mit $\frac{4\pi}{3} r^3 (\rho_{Öl} - \rho_{Luft}) g - 6\pi \eta_{eff} r v_\downarrow = -NeE$ (242.6)

& $\frac{4\pi}{3} r^3 (\rho_{Öl} - \rho_{Luft}) g + 6\pi \eta_{eff} r v_\uparrow = +NeE$ (242.7)

Kräftegleichgewicht für ein fehlendes e-Feld aufstellen: $\frac{4\pi}{3} r^3 (\rho_{Öl} - \rho_{Luft}) g + 6\pi \eta_{eff} r v_0 = 0$ ①

Damit mache ich nun $2 \cdot$ ① $-$ (242.6) $-$ (242.7) somit hebt sich der Teil der Schwerkraft und das e-Feld auf $12\pi \eta_{eff} r v_0 - 6\pi \eta_{eff} r v_\downarrow - 6\pi \eta_{eff} r v_\uparrow = 0$

$$\Leftrightarrow 2v_0 - v_\downarrow + v_\uparrow = 0$$

$$\Rightarrow 2v_0 = v_\downarrow - v_\uparrow$$

Aufgabe 242 a)

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $U_B$ | 250 | 250 | 249 | 241 | 236 | 230 | 227 | 209 | 190 | 169 | $\Delta U = \pm 1$ |
| $I_1$ | 0,97 | 1,08 | 1,27 | 1,42 | 1,64 | 1,94 | 1,17 | 0,86 | 1,14 | 1,33 | $\Delta I_1 = 0,1$ |
| r | 10 | ~~10~~ 9 | 7 | 6 | 5 | 4 | 7,5 | 10,5 | 6,5 | 5,5 | $\Delta = 0,5$ |
| $I_2$ | 1,07 | 1,10 | 1,37 | 1,60 | 1,78 | 2,03 | 1,23 | 0,92 | 1,26 | 1,40 | $\Delta I_2 = 0,1$ |

Aufgabe 242 f) alles mit $\cdot 10^2$ berechnen dann hat man [s]

| | |
|---|---|
| $t_0$ | 0,28 |
| $t_\uparrow$ | 0,028 |
| $t_\downarrow$ | 0,027 |

| | | |
|---|---|---|
| $t_0$ | 0,1525 | 0,1222 |
| $t_\uparrow$ | 0,0369 | 0,0194 |
| $t_\downarrow$ | 0,0290 | 0,0198 |

| | |
|---|---|
| $t_0$ | 0,1728 |
| $t_\uparrow$ | 0,0293 |
| $t_\downarrow$ | 0,0212 |

| | |
|---|---|
| $t_0$ | 0,2249 |
| $t_\uparrow$ | 0,0213 |
| $t_\downarrow$ | 0,0127 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $t_0$ | 0,2767 | 0,2227 | 0,3575 |
| $t_\uparrow$ | 0,0334 | 0,0200 | 0,0189 |
| $t_\downarrow$ | 0,0215 | 0,0200 | 0,0192 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $t_0$ | 0,1941 | 0,2144 | 0,2416 |
| $t_\uparrow$ | 0,0500 | 0,0799 | 0,0489 |
| $t_\downarrow$ | 0,0322 | 0,0463 | 0,0349 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $t_0$ | 0,1451 | 0,1753 | 0,1768 |
| $t_\uparrow$ | 0,0340 | 0,0256 | 0,0238 |
| $t_\downarrow$ | 0,0418 | 0,0147 | 0,0173 |

| | | |
|---|---|---|
| $t_0$ | 0,1215 | 0,1395 |
| $t_\uparrow$ | 0,0344 | 0,0223 |
| $t_\downarrow$ | 0,0216 | 0,0206 |

| | | |
|---|---|---|
| $t_0$ | 0,1922 | 0,1876 |
| $t_\uparrow$ | 0,0227 | 0,0275 |
| $t_\downarrow$ | 0,0166 | 0,0159 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $t_0$ | 0,1301 | 0,1189 | 0,1267 | 0,1358 |
| $t_\uparrow$ | 0,0332 | 0,0365 | 0,0274 | 0,0298 |
| $t_\downarrow$ | 0,0174 | 0,0205 | 0,0170 | 0,0175 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $t_0$ | 0,2000 | 0,1849 | 0,1902 |
| $t_\uparrow$ | 0,0782 | 0,0407 | 0,0439 |
| $t_\downarrow$ | 0,0403 | 0,0319 | 0,0329 |

U = 299V

[redacted]

242 b)

1. $\vec{B} = \vec{B_S} + \vec{B_E}$ | $\vec{B_S}$ -> durch Spule erzeugtes Feld & $\vec{B_E}$ -> Komponente des Erdmagnetfeld alles in B-Richt

Damit ergibt sich für (242 1)

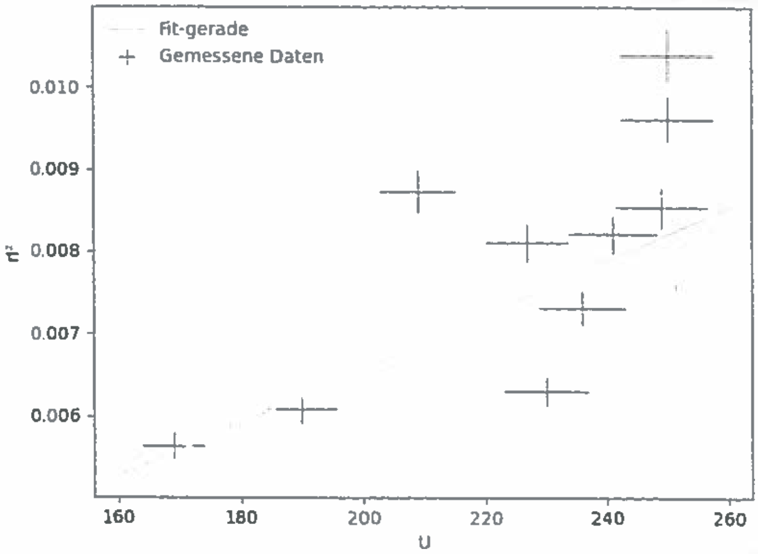
$$\vec{F_L} = q \cdot (\vec{v} \times (B_S + B_E))$$

2. Deswegen haben wir I bei 180° jeweils gemessen, damit bekommen wir $I = (I_1 + I_2) : 2$

| I[A] | 1,02 | 1,09 | 1,32 | 1,51 | 1,71 | 1,99 | 1,20 | 0,89 | 1,20 | 1,37 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

3.

| I[A] | (Ir)2 [Am]^2 | UB[V] |
|---|---|---|
| 1,02 | 0,01040 | 250 |
| 1,09 | 0,00962 | 250 |
| 1,32 | 0,00854 | 249 |
| 1,51 | 0,00821 | 241 |
| 1,71 | 0,00731 | 236 |
| 1,985 | 0,00630 | 230 |
| 1,2 | 0,00810 | 227 |
| 0,89 | 0,00873 | 209 |
| 1,2 | 0,00608 | 190 |
| 1,365 | 0,00564 | 169 |




Steigung $m = 3,275 \cdot 10^{-5} \pm 1.65 \cdot 10^{-6}$

y-Abschnitt $b = 1.285 \cdot 10^{-5} \pm 0,002029$

4. $\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 B^2}$ $\quad B = (4/5)^{3/2} \mu_0 \, n I / R$

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2} \cdot \frac{R^2}{0,512 \, \mu_0^2 \cdot n^2 I^2} = \frac{U}{\underbrace{(rI)^2}_{m}} \cdot \frac{2R^2}{0,512 \, \mu_0^2 n^2}$$

$$= \frac{1}{3,275 \cdot 10^{-5}} \cdot \frac{2 \cdot 0,15^2 \, m}{0,512 \cdot (1,256 \cdot 10^{-6} \, Vs/Am)^2 \cdot 130^2}$$

$$= 9,969 \cdot 10^{10} \, C/kg \pm 1,35 \cdot 10^{3} \, C/kg$$

5. $B_E = 1/2 \, (B_{180°} - B_{0°}) = (4/5)^{3/2} \cdot 1/2 \, \mu_0 \frac{n (I_2 - I_1)}{R}$

Mittelwert: $B_E = 4,44 \cdot 10^{-8} \, T$

Literaturwert (Wikipedia) $B_E = 48 \cdot 10^{-6} \, T$

Der gemessene Wert ist 10 × größer als Literaturwert

↳ Fazit

242 g)

Für Gesamtladung gilt: $r = \sqrt{\frac{9 \eta_{Luft} (v_\downarrow - v_\uparrow)}{4 g (\rho_{Öl} - \rho_{Luft})}}$

$\eta = 18{,}19 \, \mu Pas$

$\rho_{Öl} = 886 \, \frac{kg}{m^3}$

$\rho_L = 1{,}225 \, \frac{kg}{m^3}$

$q = Ne = 3\pi \eta_{Luft} \cdot r \cdot \frac{v_\downarrow - v_\uparrow}{E} \quad \Big| \; E = \frac{U}{d}$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | v0 [m/s] | 3,64E-04 | 2 | v0 | 3,83E-04 |
| | vup | 1,78E-04 | | vup | 1,76E-04 |
| | vdown | 2,05E-04 | | vdown | 2,37E-04 |
| 3 | v0 | 2,00E-04 | 4 | v0 | 2,63E-04 |
| | vup | 1,87E-04 | | vup | 1,99E-04 |
| | vdown | 2,41E-04 | | vdown | 3,08E-04 |
| 5 | v0 | 2,45E-04 | 6 | v0 | 4,02E-04 |
| | vup | 7,70E-05 | | vup | 1,43E-04 |
| | vdown | 1,27E-04 | | vdown | 2,64E-04 |
| 7 | v0 | 3,12E-04 | 8 | v0 | 2,60E-04 |
| | vup | 1,68E-04 | | vup | 8,41E-05 |
| | vdown | 1,77E-04 | | vdown | 1,39E-04 |
| 9 | v0 | 3,05E-05 | 10 | v0 | 2,74E-05 |
| | vup | 1,66E-04 | | vup | 2,19E-04 |
| | vdown | 2,13E-04 | | vdown | 3,25E-04 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | r | 3,59E-07 | 2 | 5,35E-07 |
| | q | 4,35E-19 | | 1,44E-18 |
| 3 | r | 5,03E-07 | 4 | 7,15E-07 |
| | q | 1,20E-18 | | 3,45E-18 |
| 5 | r | 4,88E-07 | 6 | 7,53E-07 |
| | q | 1,09E-18 | | 4,03E-18 |
| 7 | r | 2,08E-07 | 8 | 5,06E-07 |
| | q | 8,52E-20 | | 1,22E-18 |
| 9 | r | 4,67E-07 | 10 | 7,06E-07 |
| | q | 9,61E-19 | | 3,32E-18 |

Werte von 9 & 10 sind von einer anderen Gruppe

242 h)

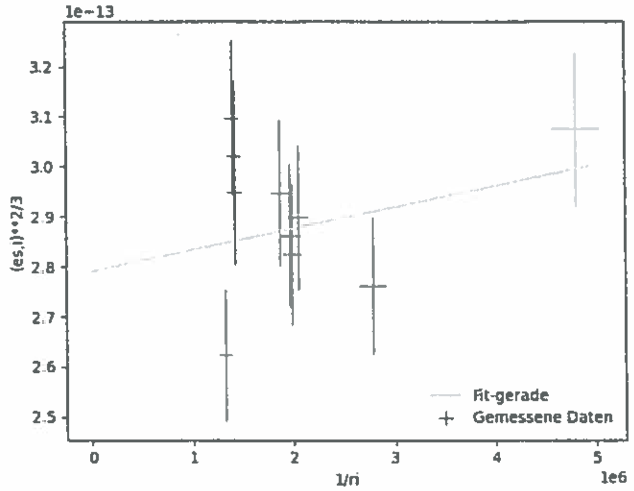
| | Wert1 | Wert2 | Wert3 | Wert4 | Wert5 | Wert6 | Wert7 | Wert8 | Wert9 | Wert10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4,3520E-19 | 1,4395E-18 | 1,2007E-18 | 3,4480E-18 | 1,0920E-18 | 4,0302E-18 | 8,5230E-19 | 1,2243E-18 | 9,6087E-19 | 3,3207E-18 |
| 2 | 2,1760E-19 | 7,1973E-19 | 6,0034E-19 | 1,7240E-19 | 5,4599E-19 | 2,0151E-18 | 4,2615E-19 | 6,1215E-19 | 4,8043E-19 | 1,6604E-19 |
| 3 | 1,4507E-19 | 4,7982E-19 | 4,0023E-19 | 1,1493E-19 | 3,6400E-19 | 1,3434E-19 | 2,8410E-19 | 4,0810E-19 | 3,2029E-19 | 1,1069E-19 |
| 4 | 1,0880E-19 | 3,5987E-19 | 3,0017E-19 | 8,6201E-19 | 2,7300E-19 | 1,0075E-19 | 2,1307E-19 | 3,0607E-19 | 2,4022E-19 | 8,3018E-19 |
| 5 | 8,7040E-20 | 2,8789E-19 | 2,4014E-19 | 6,8960E-19 | 2,1840E-19 | 8,0603E-19 | 1,7046E-19 | 2,4486E-19 | 1,9217E-19 | 6,6415E-19 |
| 6 | 7,2534E-20 | 2,3991E-19 | 2,0011E-19 | 5,7467E-19 | 1,8200E-19 | 6,7170E-19 | 1,4205E-19 | 2,0405E-19 | 1,6014E-19 | 5,5346E-19 |
| 7 | 6,2172E-20 | 2,0564E-19 | 1,7153E-19 | 4,9257E-19 | 1,5600E-19 | 5,7574E-19 | 1,2176E-19 | 1,7490E-19 | 1,3727E-19 | 4,7439E-19 |
| 8 | 5,4400E-20 | 1,7993E-19 | 1,5009E-19 | 4,3100E-19 | 1,3650E-19 | 5,0377E-19 | 1,0654E-19 | 1,5304E-19 | 1,2011E-19 | 4,1509E-19 |
| 9 | 4,8356E-20 | 1,5994E-19 | 1,3341E-19 | 3,8311E-19 | 1,2133E-19 | 4,4780E-19 | 9,4700E-20 | 1,3603E-19 | 1,0676E-19 | 3,6897E-19 |
| 10 | 4,3520E-20 | 1,4395E-19 | 1,2007E-19 | 3,4480E-19 | 1,0920E-19 | 4,0302E-19 | 8,5230E-20 | 1,2243E-19 | 9,6087E-20 | 3,3207E-19 |

Zu beachten: Werte von 9 & 10 sind von einer anderen Gruppe!

Die blau markierten Werte sind die Näherung an die elementar Ladung

242i)

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e^2/3 | 2,7609E-13 | 2,9465E-13 | 2,8242E-13 | 3,0976E-13 | 2,8979E-13 | 2,6230E-13 | 3,0743E-13 | 2,8611E-13 | 2,9490E-13 | 3,0209E-13 |
| 1/r | 2,79E+06 | 1,87E+06 | 1,99E+06 | 1,40E+06 | 2,05E+06 | 1,33E+06 | 4,80E+06 | 1,97E+06 | 1,42E+06 | 1,42E+06 |




Steigung $m = 4,2552 \cdot 10^{-21} \pm 5,3732 \cdot 10^{-21}$

Achsenabschnitt:

$b = 2,7900 \cdot 10^{-13} \pm 1,2090 \cdot 10^{-14}$

$\Rightarrow e_0^{2/3} = (2,79 \pm 0,12) \cdot 10^{-13}$ C

$\Rightarrow e_0 = 1,88 \pm 0,24 \quad 10^{-19}$ C

Passt genau in den Fehlerwert.

Literatur Wert: $e = 1,6021766 \cdot 10^{-19}$ C

=> Fazit

242j

$$\eta_{eff} = \frac{\eta_{Luft}}{(1+ b/r_i)}$$

$$q = 3\pi \eta_{eff} r \cdot \frac{V\uparrow + V\downarrow}{E} = 3\pi \frac{V\uparrow + V\downarrow}{E} \sqrt{\frac{9 \eta_{eff} (V\downarrow + V\uparrow)}{4g(\rho_{Öl} - \rho_{Luft})}}$$

$$= \frac{9}{2} \pi \sqrt{\frac{V\downarrow + V\uparrow}{g(\rho_{Öl} - \rho_{Luft})}} \eta_{eff}^{3/2}$$

$$= \frac{9}{2} \frac{(V\downarrow + V\uparrow)}{E} \sqrt{\frac{(V\downarrow - V\uparrow)}{g(\rho_{Öl} - \rho_{Luft})}} \eta_{Luft}^{3/2} \cdot \left(1 + \frac{A}{r_i}\right)^{-3/2}$$

$$= q_{s,i} \left(1 + \frac{A}{r_i}\right)^{-3/2}$$

Mit $q = e_i$: $\quad e_0 = e_{s,i} \left(1 + A/r_i\right)^{3/2}$

L4LE

$m = e/(e/m)$

$e/m = 7{,}2\ 10^{10} \pm 1{,}35 \cdot 10^{3}\ e/kg$

$e = (1{,}88 \pm 0{,}24)\ 10^{-19}\,C$ $\Rightarrow m = 2{,}611 \cdot 10^{-30} \pm 0{,}33\ 10^{-30}\ kg$

Literatur Wert: $m_e = 9{,}109 \cdot 10^{-31}\ kg = 0{,}91\ 10^{-30}\ kg$

Der gemessene Wert ist $\approx 2\times$ größer als der Literaturwert. Das scheint groß zusein.

Fazit:

Die Messung für die a) verlief eigentlich gut, nur dass unser Lineal an der Apparatur sehr wackelig war und wir somit einen großen Fehler für r genommen haben. Beim Graphen b sieht man dass unsere Werte nicht sehr gut sind und deswegen 5. auch so stark abweicht. Die wenigsten Punkte liegen auf der Geraden :. Bei der f sind die letzten Werte 9 & 10 von einer anderen Gruppe. Es gab einige Komplikationen beim Messen dennoch haben wir es hinbekommen wenigstens für ein Paar Öltropfen 2-3-4 mal zu messen. Das sieht man auch wieder im Graphen von i). Trotz der vielen Abweichungen im Graphen ist unser Wert von $e_0$ sinvoll.

Ok [redacted]