

# Versuch E12

Date: 2023-05-08

Tags: E12

Created by: Laurenz Guentner

## Versuch E12

	Matrikelnummer
Person 1: Laurenz Güntner	621253
Person 2: Matvei Kotenev	620710

**Beachten Sie:** Das Formelzeichen  $k$  wird für zwei verschiedene Größen genutzt.

- Koeffizient  $k$  für  $B(I) = k \cdot I$
- Kantenlänge des Quadrats auf dem Leuchtschirm

**Beachten Sie:** Das Formelzeichen  $e$  wird für zwei verschiedene Größen genutzt.

- Elementarladung
- Auslenkung des Elektronenstrahls auf dem Leuchtschirm

Beachten Sie weiterhin: Der Übersichtlichkeit halber gibt es keine separaten Felder für die Unsicherheiten. Diese müssen aber für alle gemessenen und berechneten Werte angegeben werden.

## 0. Rohdaten und Auswertung

Aufgabe 2 - Koeffizient  $k$  für  $B(I) = k \cdot I$

Tabelle 1 Messwerttabelle zur Magnetfeld-Kalibrierung

physikalische Größe mit Einheit	Werte
magnetische Feldkonstante $\mu_0$ in $NA^{-2}$	$4\pi 10^{-7}$
Windungszahl $N$	320
Spulenradius $R$ in m	$68 \cdot 10^{-3} \pm 0,5$ $\cdot 10^{-3}$
$k$ in $mT \cdot A^{-1}$ (berechnet)	$2,12 \pm 0,02$

$k$ in $\text{mT} \cdot \text{A}^{-1}$ (aus Datenblatt)	$2,19 \pm 0,01$
---	-----------------

#### Aufgabe 4 - versuchsrelevante Größen

Tabelle 2 Versuchsrelevante Größen

physikalische Größe mit Einheit	Werte
Unsicherheit Voltmeter Kondensator	$\pm(0,05 \% + 10 \text{ LSD})$
Unsicherheit Amperemeter	$\pm(1,5 \% + 5 \text{ LSD})$
Unsicherheit Beschleunigungsspannung	$\pm(1,4 \% + 5 \text{ LSD})$
Quadratlänge $k$ in mm	$80 \pm 0,5$
Abstand Kondensatorplatten in mm	$8 \pm 0,5$

#### Aufgabe 5 - Vermessen des Magnetfeldes der Helmholtz-Spule

Tabelle 3 Messwerttabelle zur Magnetfeld-Kalibrierung

Stromstärke / mit dem das Magnetfeld der Spulen betrieben wird in A	gemessene magnetische Flussdichte $B$ im Zentrum der Helmholtz-Spule in mT
$0 \pm 0,020$	$0,01 \pm 0,00$
$0,105 \pm 0,022$	$0,23 \pm 0,00$
$0,179 \pm 0,023$	$0,38 \pm 0,01$
$0,229 \pm 0,023$	$0,5 \pm 0,01$
$0,304 \pm 0,025$	$0,66 \pm 0,01$
$0,452 \pm 0,027$	$0,99 \pm 0,02$
$0,500 \pm 0,028$	$1,09 \pm 0,02$
$0,583 \pm 0,029$	$1,28 \pm 0,03$
$0,767 \pm 0,032$	$1,68 \pm 0,03$
$0,874 \pm 0,033$	$1,91 \pm 0,04$
$0,991 \pm 0,035$	$2,18 \pm 0,04$
$1,131 \pm 0,037$	$2,49 \pm 0,05$

$1,186 \pm 0,038$	$2,61 \pm 0,05$
$1,378 \pm 0,041$	$3,04 \pm 0,06$
$1,412 \pm 0,041$	$3,11 \pm 0,06$
$1,562 \pm 0,043$	$3,44 \pm 0,07$
$1,663 \pm 0,045$	$3,66 \pm 0,07$
$1,792 \pm 0,047$	$3,95 \pm 0,08$
$1,865 \pm 0,048$	$4,11 \pm 0,08$
$1,927 \pm 0,049$	$4,25 \pm 0,09$
$1,968 \pm 0,050$	$4,33 \pm 0,09$

### Aufgabe 6 - Messungen der Elektronenkreisbahn der Thomson-Röhre

Tabelle 4 Messungen der Elektronenkreisbahn der Thomson-Röhre für Anodenspannungen  $U_A=3\text{kV}$ ,  $4\text{kV}$ ,  $5\text{kV}$

Beschleunigungsspannung $U_A$ der Elektronen in V	Auslenkung $e$ des Strahls auf dem Leuchtschirm in mm	Radius $r$ des Elektronenstrahls in m	Stromstärke $I$ mit dem das Magnetfeld der Spulen betrieben wird in A	magnetische Flussdichte $B$ der Helmholtz- Spule in T
$3000 \pm 42$	$60 \pm 2$	$0,354 \pm 0,012$	$0,199 \pm 0,003$	$0,00044 \pm 0,00001$
$3000 \pm 42$	$50 \pm 2$	$0,210 \pm 0,007$	$0,357 \pm 0,005$	$0,00078 \pm 0,00001$
$3000 \pm 42$	$45 \pm 2$	$0,170 \pm 0,005$	$0,452 \pm 0,007$	$0,00099 \pm 0,00001$
$3000 \pm 42$	$40 \pm 2$	$0,141 \pm 0,004$	$0,567 \pm 0,009$	$0,00124 \pm 0,00002$
$3000 \pm 42$	$35 \pm 2$	$0,120 \pm 0,004$	$0,683 \pm 0,010$	$0,00150 \pm 0,00002$
$3000 \pm 42$	$30 \pm 2$	$0,103 \pm 0,003$	$0,802 \pm 0,012$	$0,00176 \pm 0,00003$
$3000 \pm 42$	$25 \pm 2$	$0,090 \pm 0,003$	$0,902 \pm 0,014$	$0,00198 \pm 0,00003$
$3000 \pm 42$	$20 \pm 2$	$0,080 \pm 0,002$	$1,010 \pm 0,015$	$0,00221 \pm 0,00003$
$3000 \pm 42$	$15 \pm 2$	$0,072 \pm 0,002$	$1,154 \pm 0,017$	$0,00253 \pm 0,00004$
$3000 \pm 42$	$10 \pm 2$	$0,066 \pm 0,002$	$1,257 \pm 0,019$	$0,00275 \pm 0,00004$
$4000 \pm 56$	$50 \pm 2$	$0,210 \pm 0,007$	$0,462 \pm 0,007$	$0,00101 \pm 0,00002$

4000 ± 56	45 ± 2	0,170 ± 0,005	0,551 ± 0,008	0,00121 ± 0,00002
4000 ± 56	40 ± 2	0,141 ± 0,004	0,678 ± 0,010	0,00148 ± 0,00002
4000 ± 56	35 ± 2	0,120 ± 0,004	0,806 ± 0,012	0,00177 ± 0,00003
4000 ± 56	30 ± 2	0,103 ± 0,003	0,945 ± 0,014	0,00207 ± 0,00003
4000 ± 56	25 ± 2	0,090 ± 0,003	1,066 ± 0,016	0,00233 ± 0,00003
4000 ± 56	20 ± 2	0,080 ± 0,002	1,198 ± 0,018	0,00262 ± 0,00004
4000 ± 56	15 ± 2	0,072 ± 0,002	1,318 ± 0,020	0,00289 ± 0,00004
4000 ± 56	10 ± 2	0,066 ± 0,002	1,450 ± 0,022	0,00318 ± 0,00005
4000 ± 56	5 ± 2	0,061 ± 0,002	1,568 ± 0,024	0,00343 ± 0,00005
5000 ± 70	50 ± 2	0,210 ± 0,007	0,539 ± 0,008	0,00118 ± 0,00002
5000 ± 70	45 ± 2	0,170 ± 0,005	0,646 ± 0,010	0,00141 ± 0,00002
5000 ± 70	40 ± 2	0,141 ± 0,004	0,777 ± 0,012	0,00170 ± 0,00003
5000 ± 70	35 ± 2	0,120 ± 0,004	0,916 ± 0,014	0,00201 ± 0,00003
5000 ± 70	30 ± 2	0,103 ± 0,003	1,051 ± 0,016	0,00230 ± 0,00003
5000 ± 70	25 ± 2	0,090 ± 0,003	1,196 ± 0,018	0,00262 ± 0,00004
5000 ± 70	20 ± 2	0,080 ± 0,002	1,348 ± 0,020	0,00295 ± 0,00004
5000 ± 70	15 ± 2	0,072 ± 0,002	1,479 ± 0,022	0,00324 ± 0,00005
5000 ± 70	10 ± 2	0,066 ± 0,002	1,638 ± 0,025	0,00359 ± 0,00005
5000 ± 70	5 ± 2	0,061 ± 0,002	1,765 ± 0,026	0,00387 ± 0,00006

### Aufgabe 7 - Messungen nach der Kompensationsmethode

Tabelle 5 Messungen nach der Kompensationsmethode mit Anodenspannungen  $U_A=3\text{kV}$ ,  $4\text{kV}$ ,  $5\text{kV}$

Beschleunigungsspannung $U_A$ der Elektronen in V	Kompensationsspannung $U_K$ am Plattenkondensator in V	Stromstärke / mit dem das Magnetfeld der Spulen betrieben wird in A	magnetische Flussdichte $B$ der Helmholtz-Spule im T
3000 ± 42	89,27 ± 1,25	0,194 ± 0,003	0,00042 ± 0,00001
3000 ± 42	152,96 ± 2,14	0,296 ± 0,004	0,00065 ± 0,00001
3000 ± 42	182,99 ± 2,56	0,363 ± 0,005	0,00080 ± 0,00001
3000 ± 42	204,68 ± 2,87	0,397 ± 0,006	0,00087 ± 0,00001
3000 ± 42	256,45 ± 3,59	0,499 ± 0,007	0,00109 ± 0,00002
3000 ± 42	317,95 ± 4,45	0,602 ± 0,009	0,00132 ± 0,00002
3000 ± 42	347,77 ± 4,87	0,692 ± 0,010	0,00152 ± 0,00002
3000 ± 42	415,80 ± 5,82	0,804 ± 0,012	0,00177 ± 0,00003
3000 ± 42	465,30 ± 6,51	0,898 ± 0,013	0,00197 ± 0,00003
3000 ± 42	511,60 ± 7,16	0,990 ± 0,015	0,00217 ± 0,00003
4000 ± 56	123,72 ± 1,73	0,204 ± 0,003	0,00045 ± 0,00001
4000 ± 56	183,67 ± 2,57	0,295 ± 0,004	0,00065 ± 0,00001
4000 ± 56	219,09 ± 3,07	0,353 ± 0,005	0,00077 ± 0,00001
4000 ± 56	242,43 ± 3,39	0,399 ± 0,006	0,00087 ± 0,00001
4000 ± 56	300,00 ± 4,20	0,492 ± 0,007	0,00108 ± 0,00002
4000 ± 56	341,88 ± 4,79	0,548 ± 0,008	0,00120 ± 0,00002
4000 ± 56	372,96 ± 5,22	0,601 ± 0,009	0,00132 ± 0,00002
4000 ± 56	400,70 ± 5,61	0,649 ± 0,010	0,00142 ± 0,00002
4000 ± 56	433,20 ± 6,06	0,697 ± 0,010	0,00153 ± 0,00002
4000 ± 56	500,70 ± 7,01	0,796 ± 0,012	0,00174 ± 0,00003
5000 ± 70	216,04 ± 3,02	0,294 ± 0,004	0,00064 ± 0,00001
5000 ± 70	255,01 ± 3,57	0,357 ± 0,005	0,00078 ± 0,00001
5000 ± 70	287,42 ± 4,02	0,397 ± 0,006	0,00087 ± 0,00001
5000 ± 70	321,86 ± 4,51	0,448 ± 0,007	0,00098 ± 0,00002
5000 ± 70	351,98 ± 4,93	0,491 ± 0,007	0,00108 ± 0,00002
5000 ± 70	395,58 ± 5,54	0,553 ± 0,008	0,00121 ± 0,00002
5000 ± 70	435,70 ± 6,10	0,602 ± 0,009	0,00132 ± 0,00002
5000 ± 70	465,60 ± 6,52	0,653 ± 0,010	0,00143 ± 0,00002
5000 ± 70	491,80 ± 6,89	0,695 ± 0,010	0,00152 ± 0,00002
5000 ± 70	527,10 ± 7,38	0,746 ± 0,011	0,00163 ± 0,00003

## Aufgabe 8 - Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektronen

Tabelle 6 Aus Aufgabe 7 berechnete Geschwindigkeit der Elektronen für verschiedene  $U_A$  mit Vergleich zur Vakuumlichtgeschwindigkeit

Beschleunigungsspannung $U_A$ der Elektronen in V	Geschwindigkeit $v$ der Elektronen nach durchlaufen der Beschleunigungsspannung in $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	Verhältnis der Geschwindigkeit $v$ der Elektronen zu Vakuumlichtgeschwindigkeit $c$ (einheitenlos)
$3000 \pm 42$	$2,935 \cdot 10^7 \pm 0,382 \cdot 10^7$	$0,098 \pm 0,013$
$4000 \pm 56$	$3,067 \cdot 10^7 \pm 0,448 \cdot 10^7$	$0,102 \pm 0,015$
$5000 \pm 70$	$3,161 \cdot 10^7 \pm 0,523 \cdot 10^7$	$0,105 \pm 0,017$

## 1. Theorie

Elektrische Ladungen werden in elektrischen und magnetischen Feldern Kräften ausgesetzt. Dabei wirkt auf eine elektrische Ladung im elektrischen Feld die Kraft

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (1)$$

und auf eine bewegte Ladung im magnetischen Feld die Lorentz-Kraft

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (2),$$

wobei  $\vec{B}$  dem magnetischen Fluss und  $\vec{v}$  der Geschwindigkeit der Elektronen entsprechen.

Wird nun die Bewegung eines Elektrons im magnetischen Feld bzw. in gekreuzten elektrischen und magnetischen Feld beobachtet, lässt sich die spezifische Ladung

$$\frac{e}{m}$$

des Elektrons bestimmen. Dabei ist  $e$  die Elementarladung und  $m$  die Masse des Elektrons.

Hier werden nun ein homogenes elektrisches Feld und ein homogenes magnetische Feld genutzt. Ein homogenes elektrisches Feld

$$\vec{E}$$

wird näherungsweise in einem Plattenkondensator erzeugt. Damit vereinfacht sich die in Gleichung (1) angegebene Kraft dem Betrage nach bei Benutzung der am Plattenkondensator angelegten Spannung  $U$  auf

$$\vec{F} = q \frac{U}{d} \quad (3).$$

wobei  $d$  dem Plattenabstand der Kondensatorplatten entspricht.

Für ein homogenes Magnetfeld kann eine Helmholtz-Spule genutzt werden. Die magnetische Flussdichte

$$\vec{B}$$

ist in einem engen Bereich homogen und lässt sich aus der Stromstärke  $I$  berechnen zu

$$B(I) = \mu_0 \frac{NI}{2R} \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (4).$$

Dabei ist  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$  die magnetische Feldkonstante,  $N$  die Windungszahl der Spule und  $R$  der Spulenradius.

Werden Elektronen nach dem Durchlaufen einer Beschleunigungsspannung  $U_A$  in ein homogenes Feld senkrecht zu der Richtung der magnetischen Flussdichte mit Betrag  $B$  geleitet, werden diese durch die Lorentz-Kraft auf eine Kreisbahn mit dem Radius  $r$  abgelenkt. Der Radius ergibt sich zu

$$r(B) = \sqrt{\frac{2U_A}{\frac{e}{m}}} \frac{1}{B} \quad (5).$$

Dabei hängt die Geschwindigkeit wie folgt von der Beschleunigungsspannung ab:

$$v(U_A) = \sqrt{\frac{2e \cdot U_A}{m}} \quad (6).$$

In dem hier verwendeten Aufbau wird nur ein Teil des Kreises der Elektronenbahn sichtbar. Daher wird der Radius über die Auslenkung des Elektronenstrahls  $e$  auf einen Leuchtschirm der Kantenlänge  $k$  (siehe Skizze in Abb. 1) bestimmt durch

$$r = \frac{k^2 + e^2}{\sqrt{2}(k - e)} \quad (7).$$

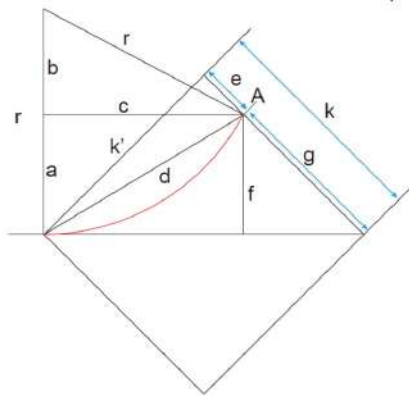


Abb.1: Geometrische Beziehungen für den Leuchtschirm zur Bestimmung des Radius

Werden Elektronen nach dem Durchlaufen einer Beschleunigungsspannung  $U_A$  nun in ein homogenes Feld senkrecht zu der Richtung der magnetischen Flussdichte mit Betrag  $B$  und einem elektrischen Feld eines Plattenkondensators mit senkrecht dazu gerichtetem elektrischen Feld geleitet, so wird die Auslenkung durch das Magnetfeld kompensiert und der Wert der Kompensationsspannung  $U_K$ , welche am Plattenkondensator anliegt, ist bestimmt durch

$$U_K(B) = \sqrt{2 \frac{e}{m} \cdot U_A} \cdot d \cdot B \quad (7).$$

## 2. Aufbau

Abbildung 2 zeigt ein Foto des Aufbaus, auf dem die Messplatznummer zu sehen ist und die einzelnen Teile beschriftet sind.

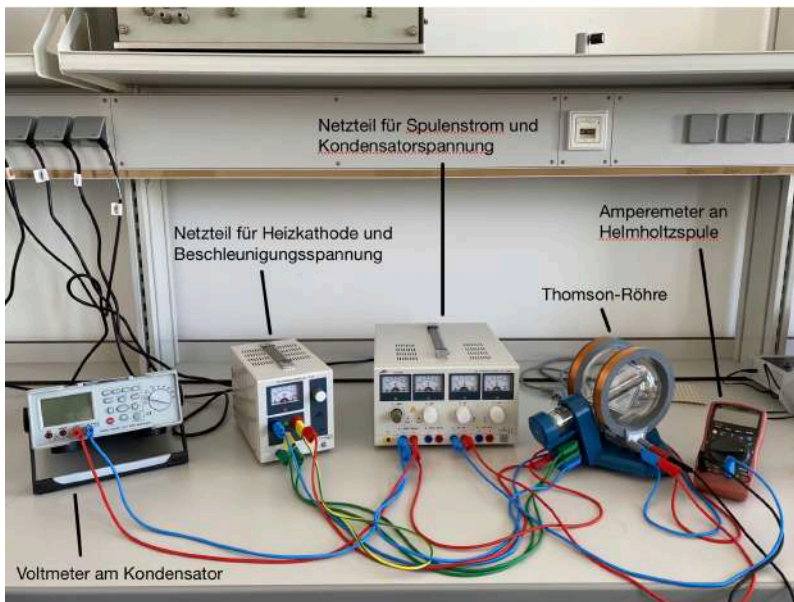


Abb.2: Versuchsaufbau mit beschrifteten Einzelteilen

### 3. Auswertung

#### Aufgabe 1

Wie im Theorieteil erörtert, berechnet sich der Kreisbahnradius nach Formel (5). Es gehen also die Größen  $k$  und  $e$  in die Berechnung des Selbigen mit ein, weshalb die Betrachtung der entsprechenden Fehler auf den Fehler des Kreisbahnradius führt. Aus Tabelle 1 geht der Fehler in  $k$  als  $u_k = 0,5 \text{ mm}$  hervor, während wir den Ablesefehler von  $e$ , aufgrund der leichten Streuung des Elektronenstrahls, auf  $u_e = 2 \text{ mm}$  abschätzen.

Durch Fehlerfortpflanzung nach Gauß ergibt sich für die Unsicherheiten von  $r$ :

$$u_r = \sqrt{\left(\frac{\partial r}{\partial k} u_k\right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial e} u_e\right)^2}$$

(Die konkreten Unsicherheiten wurden, wie auch im Folgenden, in der Messwerttabelle 4 vermerkt.)

Die relativen Unsicherheiten berechnen sich dann durch  $u_{r,relat.} = \frac{u_r}{r}$ , wobei wir für unsere Versuchsreihe im Mittel eine relative Unsicherheit  $u_{r,relat.} = 3,16$  erhalten haben, was plausibel erscheint.

#### Aufgabe 2

Für den Koeffizienten  $k = \mu_0 \frac{N}{2R} \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}}$  ergibt sich mit den in Tabelle 1 vermerkten Daten ein Wert von  $(k = 2,12 \pm 0,02) \text{ mT} \cdot \text{A}^{-1}$ , wobei ein geschätzter Fehler des Spulenradius von 0,5 mm verwendet wurde.

#### Aufgabe 5

Entsprechend des Datenblattes ergibt sich nach experimenteller Bestimmung ein Proportionalitätsfaktor  $k = (2,19 \pm 0,01) \text{ mT} \cdot \text{A}^{-1}$ . Dieser stimmt im Rahmen der Unsicherheit nicht mit dem in Aufgabe 2 berechneten Wert überein, was möglicherweise auf die nicht ideale Homogenität des Spulenmagnetfeldes zurückzuführen ist.

#### Aufgabe 6



In Abbildung 3 wird der Zusammenhang zwischen dem Bahnradius der Elektronen und dem reziproken Wert der Stromstärke bzw. der magnetischen Flussdichte für drei verschiedene Beschleunigungsspannungen zusammen mit einer Anpassung durch jeweils einer Ursprungsgeraden gezeigt.

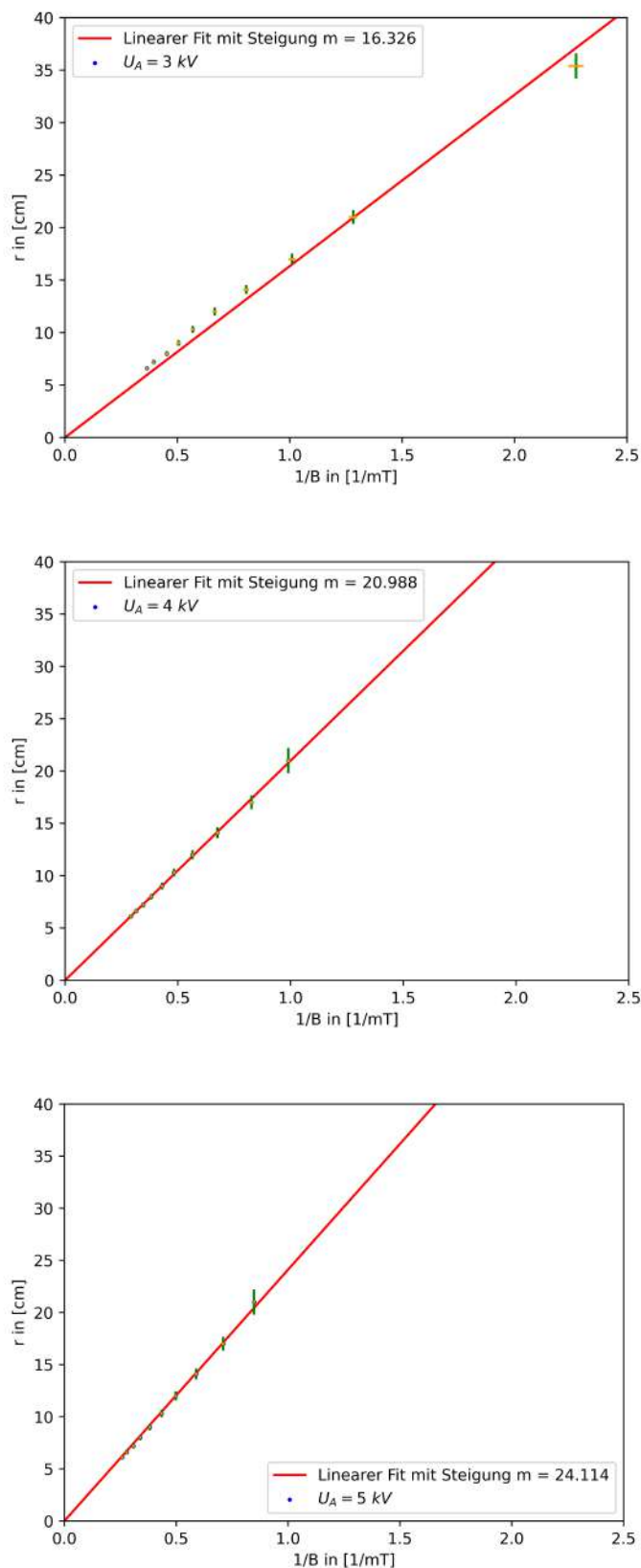


Abb.3: Reziproke magnetische Flussdichte gegen Bahnradius der Elektronen aufgetragen mit

## Fehlerbalken und linearem Fit $f=mx$ für Beschleunigungsspannungen 3kV, 4kV, 5kV

Als Steigung der Fit-Kurve erhalten wir für die unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen  $U_A = 3kV, 4kV, 5kV$  respektiv  $m_1 = (16,326 \pm 0,303)[cm \cdot mT]$ ,  $m_2 = (20,988 \pm 0,087)[cm \cdot mT]$  und  $m_3 = (24,114 \pm 0,154)[cm \cdot mT]$ . Es ist festzustellen, dass sich die ermittelten Koeffizienten jeweils auch innerhalb ihrer Unsicherheiten voneinander unterscheiden und somit nicht als vollständig miteinander konsistent angesehen werden können.

Zwischen Bahnradius der Elektronen und Kehrwert der magnetischen Flussdichte besteht nun der

Zusammenhang  $r = \sqrt{\frac{2U_A}{\frac{e}{m}}} \cdot \frac{1}{B}$ . Entsprechend muss für unsere Proportionalitätsfaktoren gelten:  $m_i = \sqrt{\frac{2U_A}{\frac{e}{m}}}$

, bzw. umgestellt nach der spezifischen Ladung  $\frac{e}{m} = \frac{2U_A}{m_i^2}$ . Unter Anwendung dieser Formel erhalten wir für die

aus den jeweiligen Versuchsreihen experimentell ermittelte spezifische Ladung der Elektronen

$(\frac{e}{m})_1 = (2,251 \cdot 10^{11} \pm 0,089 \cdot 10^{11})C \cdot kg^{-1}$ ,  $(\frac{e}{m})_2 = (1,816 \cdot 10^{11} \pm 0,030 \cdot 10^{11})C \cdot kg^{-1}$  und

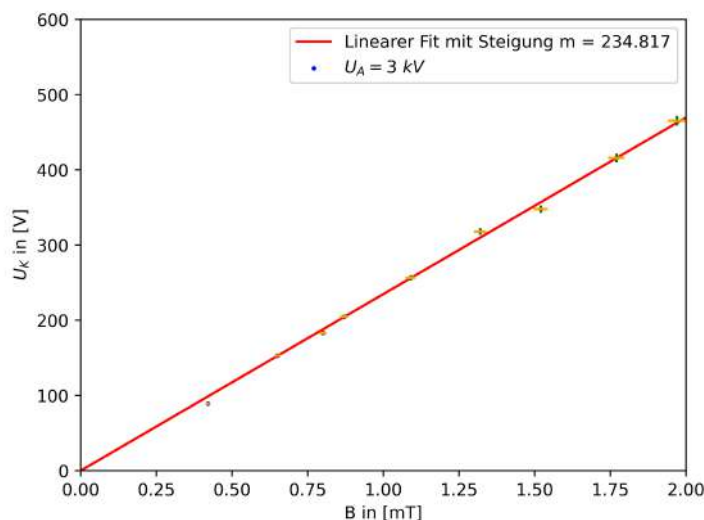
$(\frac{e}{m})_3 = (1,720 \cdot 10^{11} \pm 0,039 \cdot 10^{11})C \cdot kg^{-1}$ . Dabei haben wir den den jeweiligen Fehler durch Gaußsche Fehlerfortpflanzung berechnet.

Während das dritte Ergebnis innerhalb der Messunsicherheit mit dem Literaturwert

$\frac{e}{m} = 1,759 \cdot 10^{11}C \cdot kg^{-1}$  übereinstimmt und das zweite Ergebnis nur umsignifikant von Selbigem abweicht, d.h. der Literaturwert liegt im  $2\sigma$ -Bereich, erhalten wir für das erste Ergebnis eine deutlich größere Diskrepanz. Für dieses liegt der Literaturwert außerhalb des  $4\sigma$ -Bereichs, was gegebenenfalls durch systematische Fehler erklärt werden muss.

### Aufgabe 7

In Abbildung 4 wird der Zusammenhang zwischen der Kompensationsspannung und dem Wert der Stromstärke bzw. der magnetischen Flussdichte für drei verschiedene Beschleunigungsspannungen zusammen mit eine Anpassung durch jeweils einer Ursprungsgeraden gezeigt.



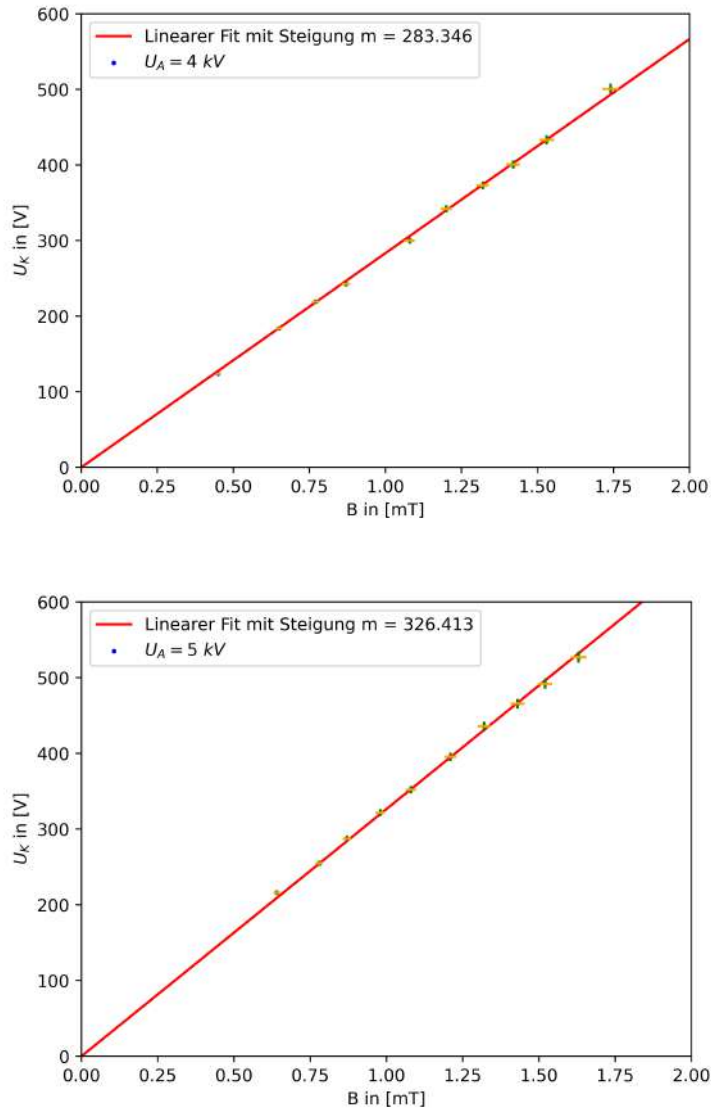


Abb.4: Magnetische Flussdichte  $B$  aufgetragen gegen Kompensationsspannung am Kondensator  $U_K$  mit Fehlerbalken und linearem Fit  $f=mx$  für Beschleunigungsspannungen  $U_A = 3\text{kV}$ ,  $4\text{kV}$  und  $5\text{kV}$

Als Steigung der Fit-Kurve erhalten wir für die unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen  $U_A = 3\text{kV}$ ,  $4\text{kV}$ ,  $5\text{kV}$  respektiv  $m_1 = (234,817 \pm 1,260)\text{V} \cdot \text{mT}^{-1}$ ,  $m_2 = (283,346 \pm 1,045)\text{V} \cdot \text{mT}^{-1}$  und  $m_3 = (326,413 \pm 1,033)\text{V} \cdot \text{mT}^{-1}$ . Es ist festzustellen, dass sich die ermittelten Koeffizienten jeweils auch innerhalb ihrer Unsicherheiten voneinander unterscheiden und somit nicht als vollständig miteinander konsistent angesehen werden können.

Zwischen Kompensationsspannung und magnetischer Flussdichte besteht nach Formel (7) der Zusammenhang  $\frac{e}{m} = \frac{(m_i)^2}{2U_A \cdot d^2}$ . Mithilfe des Plattenabstandes der Kondensatorplatten  $d$  aus Tabelle 2 berechnen wir damit die aus unseren Messreihen experimentell bestimmte spezifische Ladung der Elektronen:  $(\frac{e}{m})_1 = (1,436 \cdot 10^{11} \pm 0,186 \cdot 10^{11})\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $(\frac{e}{m})_2 = (1,568 \cdot 10^{11} \pm 0,197 \cdot 10^{11})\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$  und  $(\frac{e}{m})_3 = (1,665 \cdot 10^{11} \pm 0,212 \cdot 10^{11})\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Dabei haben wir den den jeweiligen Fehler durch Gaußsche Fehlerfortpflanzung berechnet.

Es ist festzustellen, dass der Literaturwert  $\frac{e}{m} = 1,759 \cdot 10^{11}\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$  innerhalb der Messunsicherheit mit dem zweiten und dritten Messergebnis übereinstimmt. Lediglich das erste Ergebnis weicht innerhalb der Messunsicherheit vom Literaturwert ab, was jedoch als unsignifikant erscheint, da Selbiger im  $2\sigma$ -Bereich liegt.

## Aufgabe 8

Unter Berücksichtigung der speziellen Relativitätstheorie ergibt sich anstatt der klassischen Formel

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m_0 v^2 \text{ für die kinetische Energie der korrigierte Zusammenhang } E_{kin,relat.} = \left( \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - m_0 \right) \cdot c^2.$$

Der Ausdruck für  $E_{kin,relat.}$  reduziert sich für  $\left(\frac{v}{c}\right)^2 \ll 1$  durch die Taylorentwicklung  $\frac{1}{\sqrt{1-x}} \approx 1 + \frac{1}{2}x$  auf die klassische Formel. Wie in Tabelle 6 berechnet bewegen sich die Elektronen in unserem Experiment mit ca. einem Zehntel der Lichtgeschwindigkeit, d.h.  $\left(\frac{v}{c}\right)^2 \approx 0,01$ . Entsprechend befindet sich das Geschwindigkeitsspektrum der Elektronen in einem Bereich, in dem die relativistische Korrektur anfängt relevant zu werden, wenn auch noch in eher kleinem Ausmaß.

## Aufgabe 9

Vergleichen wir die Ergebnisse beider Messmethoden miteinander, so fällt auf, dass die Kompensationsmethode tendenziell mit dem Literaturwert besser verträgliche Ergebnisse liefert, als die Methode nach Schuster. Während bei Letzterer die spezifische Ladung aus  $U_A$  und den Proportionalitätskonstanten  $m_i$  berechnet wird, wobei  $m_i$  wiederum von  $k$  (Proportionalitätsfaktor zwischen  $I$  und  $B$ ),  $l$ ,  $e$  (Auslenkung des Elektronenstrahls) sowie  $k$  (Kantenlänge) abhängt, ergibt sich die spezifische Ladung bei der Kompensationsmethode aus  $U_A$ ,  $U_K$ ,  $I$ ,  $d$  und  $k$  (Proportionalitätsfaktor). Entsprechend hängen beide Ergebnisse von fünf fehlerbehafteten Größen ab und sind somit unter diesem Gesichtspunkt gleichwertig. Kritisch ist jedoch der Unterschied zwischen den einfließenden Größen. So sind unter Vernachlässigung der Größen, die in beide Ergebnisse eingehen,  $e$  und  $k$  (Kantenlänge) die definierenden Größen für das Ergebnis nach Schuster, wohingegen  $U_K$  und  $d$  für das Ergebnis nach der Kompensationsmethode entscheidend sind. Obwohl die Unsicherheiten der letzten drei Größen als relativ gleichwertig einzuschätzen ist, dominiert die durchschnittliche relative Unsicherheit für  $e$  mit ca. 10% die Unsicherheit des Versuchs für den Elektronenradius. Die im Vergleich zu den digitalen Multimetern sehr große Ungenauigkeit des analogen Ablesens der Elektronenauslenkung, lässt die Kompensationsmethode deutlich attraktiver für die Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons erscheinen. Insgesamt lässt sich jedoch festhalten, dass beide Experimente durch einen besser gebündelten Elektronenstrahl, der weniger streut und somit Ableseprozesse optimiert, deutlich verbessert werden könnten.

Zudem könnte in der Auswertung, wie in Aufgabe 8 erörtert, die relativistische Formel der kinetischen Energie der Elektronen zur Berechnung der spezifischen Ladung berücksichtigt werden, um noch präzisere Ergebnisse zu erhalten, wenn auch in Frage steht, ob eine solche Korrektur zu signifikanten Unterschieden führen würde.

## 4. Fazit

Im Rahmen dieses Versuches wurde entsprechend der wissenschaftlichen Methode der gegenwärtige Literaturwert der spezifischen Ladung des Elektrons reproduziert und dabei die Relevanz diverser experimenteller Methodik festgestellt. Darüber hinaus wurde der Einfluss, den relativistische Effekte auf hochenergetische Versuche haben, hervorgehoben.

## Attached files

20230508152859-timestamped.zip (Timestamp archive by Grigory Kornilov)

sha256: 4a8f1cb593f6b81659b750d39f4e6660332a463475f61a4903f77e22ca53879f

unknown.png

sha256: c05aa34df19af01a35bc52af36d755863255e16d00804f82068a338a6cf71a4a



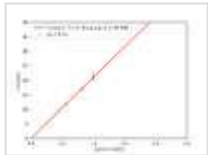
unknown.png

sha256: fddfa5501de8cc729ac22f5ad5847be43d4d01b9945ee1e42b4b497aa709f353



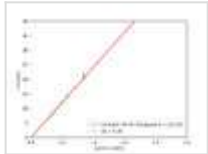
unknown.png

sha256: 4db92599d5a5fcf1b0d97182f99adc32e791d9de01617c8eb8d8d00f26390ccc



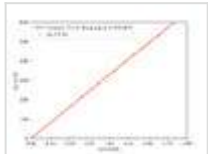
unknown.png

sha256: bd8e53c2523f8ebe6920c16d395db691bc596db4f0a5906ec163dfb0c7c5d986



unknown.png

sha256: 341b8f0dd0fc921ea47781c58c5fa64be75233ea677ceb7b2e6e3deb46caa3fd



Unique eLabID: 20230508-8853f28aace5adc14321333d3bf112320e4db4d7  
Link: <https://elabftw.physik.hu-berlin.de/experiments.php?mode=view&id=934>