

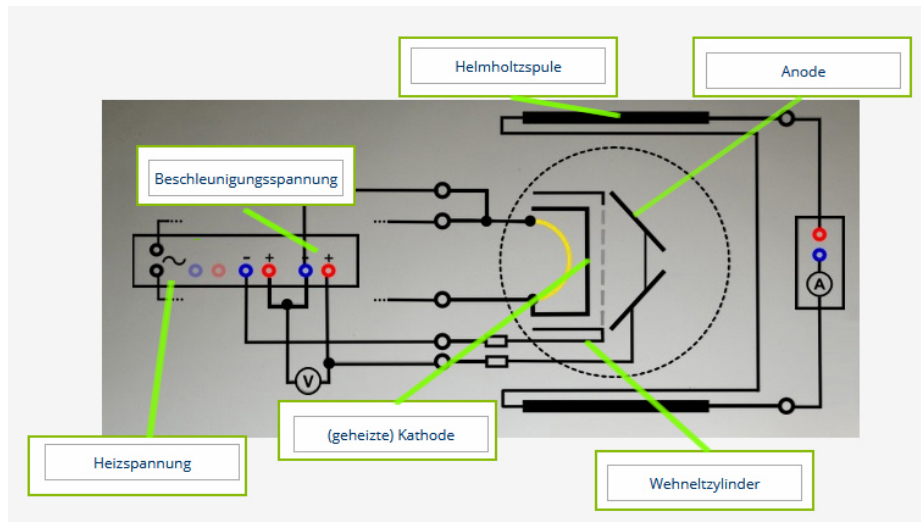
Lösungen zu den tet.folio-Aufgaben e/m-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr

Die nachfolgenden Lösungen richten sich in erster Linie an Lehrkräfte. Es sind daher nicht in allen Fällen ausführliche Lösungen angegeben.

• Das Fadenstrahlrohr zur e/m-Bestimmung

Antwortbox 1: Zuordnung der Bauteile

Hier ein Bildschirmfoto der Eintragungen



• e/m-Bestimmung - qualitative Vorüberlegungen

Antwortbox 1: Zustandekommen der Leuchterscheinung

Der Gasdruck in der Röhre ist vom Hersteller so gewählt, dass in einem kleinen Raumbereich nur relativ wenige Elektronen Stöße mit den Gasatomen ausführen und somit diese dort zum Leuchten anregen. Es könn(t)en also auch Elektronen mehrere Umläufe auf ihren Bahnen (s. später untersuchte Schraubenlinienbahnen) ausführen, ohne dass sie auf ein Gasatom treffen. Hat ein Elektron jedoch ein Atom getroffen, fällt es für die weitere Beobachtung fort, da es zwar dann noch hinreichend viel restliche Energie für weitere Anregungen mit sich bringt, aber in diffuse Richtungen gestreut wird, sodass seine weiteren Anregungen nicht mehr beobachtbar werden.

Antwortbox 2: Größe der Kreisbahnen

a) Wenn die Stärke des Magnetfelds bei konstanter Beschleunigungsspannung vervielfacht wird, erhöht sich die Lorentzkraft auf das k -fache, während die Geschwindigkeit der Elektronen gleich bleibt. Daher verkleinert sich der Radius der Kreisbahnen.

b) Eine größere Beschleunigungsspannung erzeugt eine größere Geschwindigkeit. Da die Zentripetalkraft $F_z = \frac{m \cdot v^2}{r}$ proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit ist, wäre beispielsweise bei einer Verdoppelung der Geschwindigkeit eine viermal so große Zentripetalkraft notwendig, um denselben Kreisbahnradius zu erzeugen.

Die Lorentzkraft $F_L = e \cdot v \cdot B$ ist aber nur proportional zur Geschwindigkeit, also muss der Radius größer werden, damit die Zentripetalkraft zusätzlich verkleinert wird.

Antwortbox 3: Konstanz der Elektronengeschwindigkeit

Die Lorentzkraft wirkt senkrecht zur jeweiligen Bewegungsrichtung der Elektronen, insofern wird ihre kinetische Energie dadurch nicht verändert. Die Elektronen ändern lediglich ihre Richtung.

Antwortbox 4: Entstehung von Kreisbahnen

Die Lorentzkraft bleibt betragsmäßig konstant und steht immer senkrecht zur Bewegung der Elektronen. Daher wirkt sie als Zentralkraft, die eine Kreisbahn erzwingt.

Antwortbox 5: Verschiedene Aussagen

Aussage 1: Richtig.

Aussage 2: Richtig.

Aussage 3: In dieser Allgemeinheit nicht richtig: nur richtig unter der Voraussetzung konstanter Geschwindigkeit der Elektronen.

Aussage 4: Falsch, da die Voraussetzung zu 3 nicht beachtet ist.

• e/m-Bestimmung – quantitative Messungen

Antwortbox 1: Herleitung

Siehe die als letzten Tipp eingeblendete Lösung:

- Die Beschleunigungsstrecke in der Elektronenkanone liefert:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = e \cdot U_A = E_{\text{el}}$$

- Die Ablenkung aufgrund des Magnetfelds (Lorentzkraft) liefert:

Da immer $\vec{F}_L \perp \vec{v}$, erfolgt keine Zunahme von $|\vec{v}|$, daher bleibt auch $|\vec{F}_L|$ konstant, also ergibt sich eine Kreisbahn. Die Lorentzkraft wirkt also als Zentralkraft, es folgt

$$F_z = \frac{m \cdot v^2}{r} = e \cdot v \cdot B = F_L.$$

- Aus beiden Gleichungen folgt: $\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{B^2 \cdot r^2}$.

Antwortbox 2: Tabelle mit Messwerten

Hier ein Foto der herunter geladenen und vervollständigten Excel-Tabelle:

	A	B	C	D	E	F
1	Spezifische Elektronenladung					
2	tet.folio IBE-Auswertung					
3	<i>Eintragungen sind nur in den grünen Zellen möglich</i>					
4						
5			k = 0,792 mT/A			e/m = 2*U/(r ² *B ²)
6	U in V	I in A	B=k*I in T	d in cm	r in m	e/m in C/kg
7	250	1,00	0,000792	14,0	0,0700	1,63E+11
8	250	1,50	0,001188	9,0	0,0450	1,75E+11
9	250	2,00	0,001584	6,5	0,0325	1,89E+11
10	300	1,25	0,000990	11,8	0,0590	1,76E+11
11	300	1,75	0,001386	8,4	0,0420	1,77E+11
12	300	2,25	0,001782	6,5	0,0325	1,79E+11
13	350	1,25	0,000990	12,8	0,0640	1,74E+11
14	350	2,00	0,001584	7,8	0,0390	1,83E+11
15	350	2,75	0,002178	5,6	0,0280	1,88E+11
16	400	1,25	0,000990	13,8	0,0690	1,71E+11
17	400	2,00	0,001584	8,5	0,0425	1,77E+11
18	400	2,75	0,002178	6,0	0,0300	1,87E+11
19	450	1,25	0,000990	14,6	0,0730	1,72E+11
20	450	2,00	0,001584	8,8	0,0440	1,85E+11
21	450	3,00	0,002376	6,0	0,0300	1,77E+11
22					Mittelwert	1,78E+11
23					Literaturwert	1,76E+11

Antwortbox 3: Mittelwert

Siehe Tabelle.

Antwortbox 4: Proportionalitäten

Mit $\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{B^2 \cdot r^2}$ folgt durch Umstellung

$$a) r = \frac{1}{B} \cdot \sqrt{2 \cdot U_A \cdot \frac{m}{e}}, \text{ also } r \sim \frac{1}{B},$$

$$b) r = \sqrt{U_A} \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot \frac{m}{e}}}{B}, \text{ also } r \sim \sqrt{U_A}.$$

Antwortbox 5: Messung zur Proportionalität 1

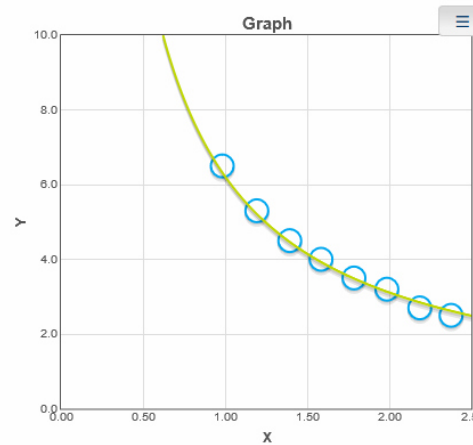
Hier ein Foto der ermittelten Tabelle:

	B in mT	r in cm
1	0.98	6.5
2	1.19	5.3
3	1.39	4.5
4	1.58	4.0
5	1.78	3.5
6	1.98	3.2
7	2.18	2.7
8	2.37	2.5

Tragen Sie den Zusammenhang zwischen B (nachstehend: x) und r (nachstehend: y) in die Zeile "y = ..." ein. Die Daten werden dann im Diagramm rechts dargestellt.

y = a/x

a = 6.2 0 10



Antwortbox 6: Messung zur Proportionalität 2

Hier ein Foto der ermittelten Tabelle:

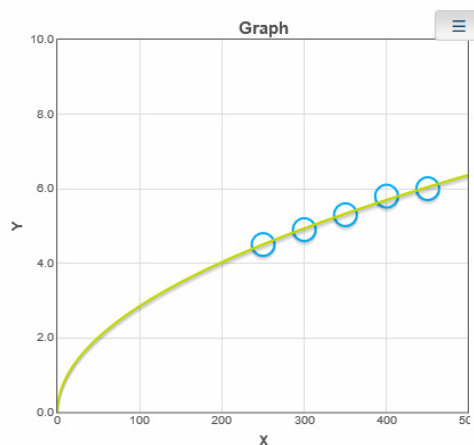
Messung für $I = 1,5A$ bzw. $B = 1,19mT$:

	U_A in V	r in cm
1	250	4.5
2	300	4.9
3	350	5.3
4	400	5.8
5	450	6.0
6		

y = a*sqrt(x)

a = 0.285 0 0.5

Tragen Sie den Zusammenhang zwischen U (nachstehend: x) und r (nachstehend: y) in die Zeile "y = ..." ein. Die Daten werden dann im Diagramm rechts dargestellt. Bitte "sqrt" für die Wurzel eingeben.



Antwortbox 7: Übereinstimmungsprüfung

Für $r \sim \frac{1}{B}$:

Nachrechnen gemäß Gleichungen aus Antwortbox 4.

Für $r \sim \sqrt{U_A}$:

Nachrechnen gemäß Gleichungen aus Antwortbox 4.

- **Experimentelle Bestimmung von $B(I)$ beim Helmholtzspulenpaar**

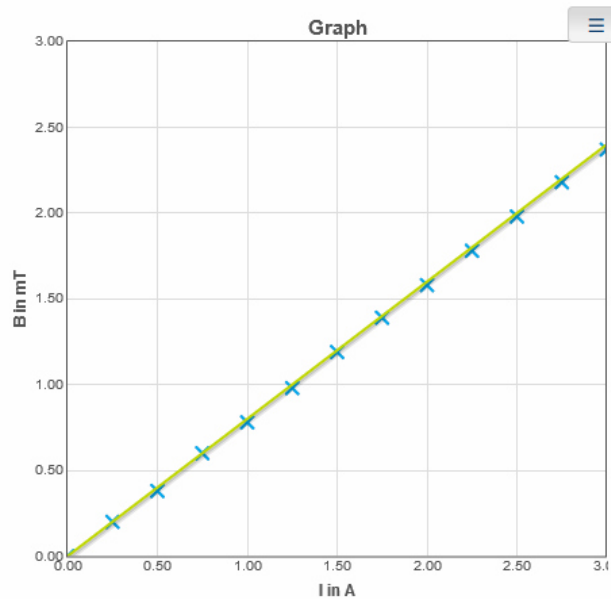
Antwortbox 1: Zusammenhang zwischen I und B

Hier ein Bildschirmfoto mit den ausgefüllten Feldern:

	I in A	B in mT
1	0.00	0.00
2	0.25	0.20
3	0.50	0.38
4	0.75	0.60
5	1.00	0.78
6	1.25	0.98
7	1.50	1.19
8	1.75	1.39
9	2.00	1.58
10	2.25	1.78
11	2.50	1.98
12	2.75	2.18
13	3.00	2.37
14		

y = a*x

a = 0.8 0.00 2.00



Antwortbox 2: Proportionalitätsfaktor

Man liest ab: $a \approx 0.8 \text{ mT/A}$.

Antwortbox 3: Übereinstimmung mit theoretischem Wert

Überprüfung durch Nachrechnen...

- **Theoretisches zum Magnetfeld der Helmholtzspulen**

Antwortbox 1: Begründung

Es handelt sich jeweils um sehr kurze Spulen mit n Windungen, daher der Faktor n .

Die vordere Spule befindet sich bei $z-R/2$, die hintere bei $z+R/2$.

Antwortbox 2: Herleitung der Gleichung

$$\text{Gegeben ist: } B(z) = B_{\text{vorn}}(z) + B_{\text{hinten}}(z) = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot R^2 \cdot n}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\left(z + \frac{R}{2}\right)^2 + R^2}} + \frac{1}{\sqrt{\left(z - \frac{R}{2}\right)^2 + R^2}} \right)$$

Mit $z=0$ erhält man:

$$B(z=0) = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot R^2 \cdot n}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 + R^2}} + \frac{1}{\sqrt{\left(-\frac{R}{2}\right)^2 + R^2}} \right) = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot R^2 \cdot n}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{5}{4}R^2}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{5}{4}R^2}} \right)$$

$$B(z=0) = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot R^2 \cdot n}{2} \cdot \frac{2}{\sqrt{\frac{5}{4}R^2}} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot R^2 \cdot n}{\sqrt{\frac{5}{4}R^2}} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot n}{R} \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}}$$

- **Die Homogenität des Magnetfelds eines Helmholtzspulenpaares**

Antwortbox 1: B im Inneren des Fadenstrahlrohres (Röhre kann eingeblendet werden)

Die magnetische Feldstärke liegt zwischen 0,74mT (am Rand) und 0,78mT (in weiten Teilen des Inneren).

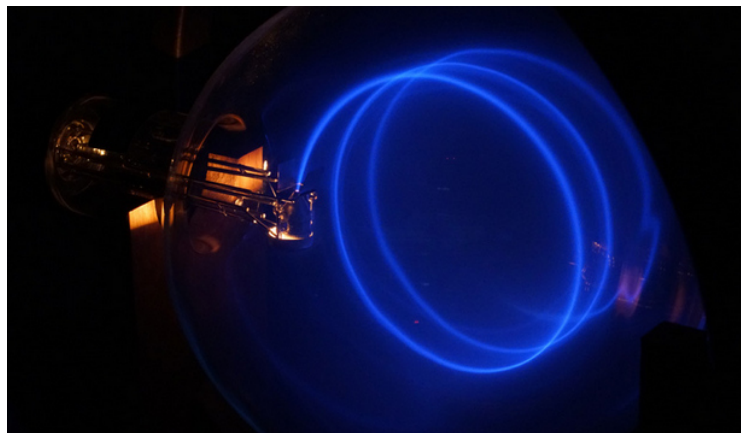
Antwortbox 2 B in der Vertikalen

Aufgrund der Symmetrie braucht keine eigene Messung in der Vertikalen vorgenommen zu werden. (Eine Drehung um 90° liefert wieder das Original.)

Antwortbox 3: Homogenität

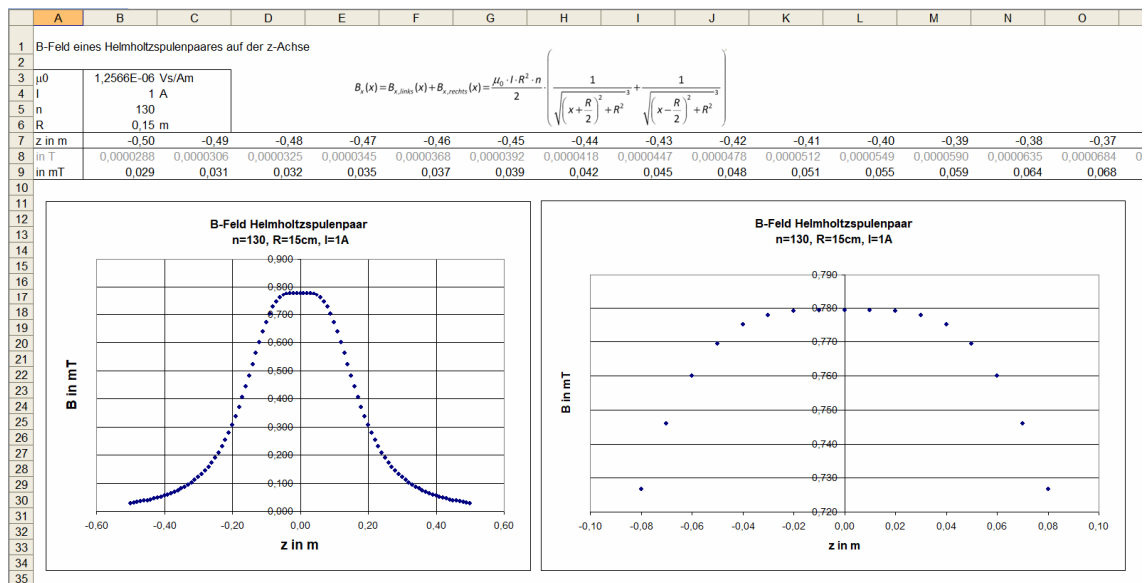
Zur Homogenität gehört neben dem konstanten Betrag auch die Richtungsgleichheit, die aber nicht überprüft wurde. Lediglich der Betrag wurde gemessen, der annähernd konstant ist.

Antwortbox 4:



Antwortbox 5: Darstellung mit Tabellenkalkulationsprogramm

Hier ein Ausdruck aus einer Excel-Datei:



Antwortbox 6:

Entfällt.

• Kreisförmige Elektronenbahnen – genauer hingesehen

Antwortbox 1: Abweichung von der Kreisbahn

Mögliche Vermutung: Bei größeren Magnetfeldstärken wird der Radius der Kreisbahnen kleiner, sodass sich die Elektronen im rechten Bahnteil zentraler durch das Fadenstrahlrohr bewegen und somit dem Einfluss des dort etwas größeren Magnetfelds unterliegen, wodurch ihre Bahn noch ein wenig stärker gekrümmt wird und damit keinen geschlossenen Kreis mehr ergeben kann.

Antwortbox 2: Verschiedene Behauptungen

Beh. 1: „Die Elektronen bewegen sich auf ihren Kreisbahnen beschleunigt.“

Diese Aussage ist richtig, da es sich bei jeder nicht geradlinigen Bewegung bereits um eine beschleunigte Bewegung handelt.

Beh. 2: „Daher strahlen sie Energie in Form elektromagnetischer Wellen ab.“

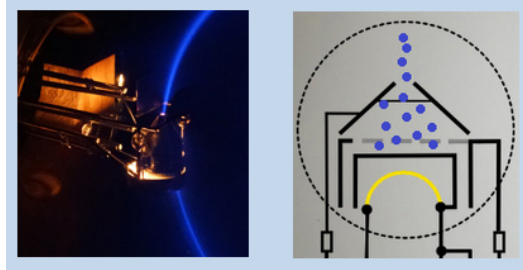
Diese Aussage ist richtig, da beschleunigte Ladungen immer Energie in Form von elektromagnetischen Wellen abgeben.

Beh. 3: „Die kinetische Energie der Elektronen reduziert sich insofern um die Energie dieser Abstrahlung mit der Folge einer kleiner werdenden Geschwindigkeit.“

Beh. 4: „Dies wiederum führt zu einer "enger" werdenden Bahnkurve.“

Diese Aussage ist richtig, da eine geringere Geschwindigkeit eine engere Bahnkurve ergibt.

Antwortbox 3: Dunkle Bahnen

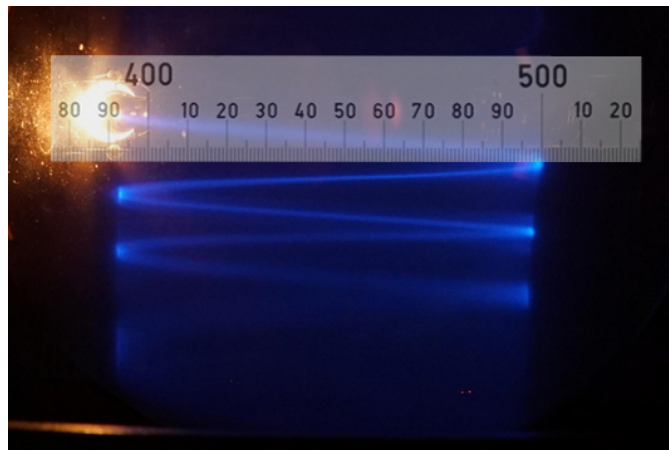


Je stärker das Magnetfeld, desto stärker werden die Elektronen bereits in der Elektronenkanone nach rechts abgelenkt. Ein Teil von ihnen stößt dort dann bereits auf die metallische Wand der Anode.

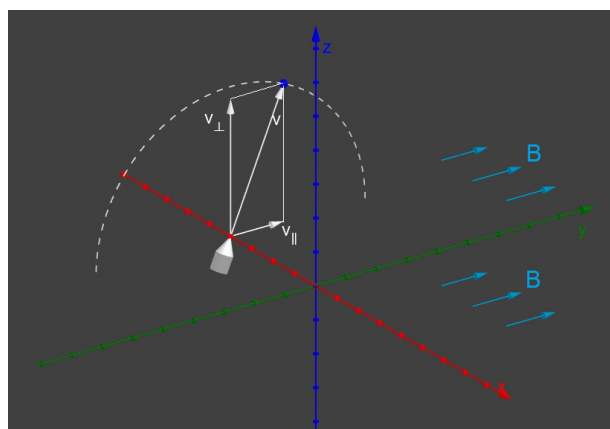
• **Schraubenlinienbahnen**

Antwortbox 1: Veränderung der Radian

Nachmessen beispielsweise in nachstehendem Bild:



Antwortbox 2: Kleinere Radian



Der Grund für kleinere Radien bei schräg gestelltem Fadenstrahlrohr ist die mit größerem Winkel zunehmende Verringerung der Geschwindigkeitskomponente senkrecht zum Magnetfeld bei ansonsten gleich bleibender Gesamtgeschwindigkeit der aus der Elektronenkanone austretenden Elektronen. Sie ist allein maßgeblich für die sich einstellende Lorentzkraft.

Begründung: $F_z = e \cdot v_{\perp} \cdot B = m \cdot \frac{v_{\perp}^2}{r} = F_L$, also $r = \frac{m}{e} \cdot \frac{v_{\perp}}{B}$, also $r \sim v_{\perp}$ bei konstantem B .

Antwortbox 3: $T \sim 1/B$ bei Kreisbahn und

Antwortbox 4: T bei Schraubenlinienbahnen

(1) Es ist: $F_z = e \cdot v_{\perp} \cdot B = m \cdot \frac{v_{\perp}^2}{r} = F_L$, also $r = \frac{m}{e} \cdot \frac{v_{\perp}}{B}$, also $r \sim v_{\perp}$ (s. o.)

(2) Andererseits ist: $v_{\perp} = \omega \cdot r = \frac{2\pi}{T} \cdot r$, also $r = \frac{v_{\perp} \cdot T}{2\pi}$

Aus (1) und (2) folgt: $\frac{v_{\perp} \cdot T}{2\pi} = \frac{m}{e} \cdot \frac{v_{\perp}}{B}$, also $T = 2\pi \cdot \frac{m}{e} \cdot \frac{1}{B}$, also $T \sim \frac{1}{B}$, und somit

T unabhängig von v_{\perp} .

Antwortbox 5: Radius, Ganghöhe

Radius der Kreisbahn: $d_{\text{Kreis}} = 10,8 \text{ cm}$, also $r_{\text{Kreis}} = 5,4 \text{ cm}$

Ganghöhe: $g_{\text{Schraube}} = 2 \cdot 7,5 \text{ cm}$

Radius Schraubenbahn: $d_{\text{Schraube}} = 7,9 \text{ cm}$, also $r_{\text{Schraube}} = 3,9 \text{ cm}$

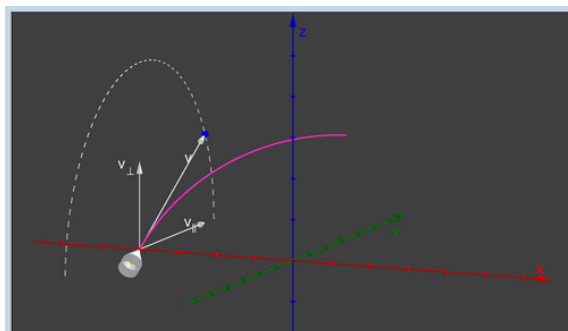
• Polarlichtsimulation mit dem Fadenstrahlrohr

Antwortbox 1: Beschreibung der Elektronenbahnen

Einige Merkmale: Verengung zum Pol hin, Richtungsumkehr, vielfache Umläufe um „Achse“, kleiner werdende Bahnradien ...

Antwortbox 2: Ablenkung nach rechts

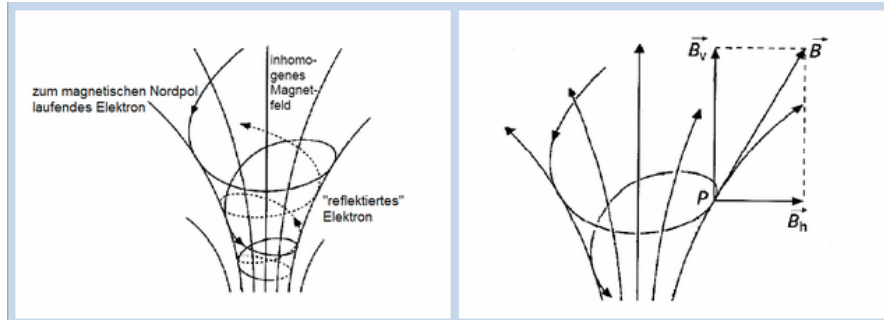
Das Bild zeigt die Komponentenzerlegung der Anfangsgeschwindigkeit:



Lorentzkraft für v_{\perp} ist nach Drei-Finger-Regel ist für ein Elektron nach rechts gerichtet, für v_{\parallel} tritt keine Lorentzkraft auf. Also bewegt sich das Elektron nach oben rechts.

Antwortbox 3: Richtungsumkehr

Mit Bezug auf die Skizze



kann man feststellen:

Im inhomogen werdenden Magnetfeld mit zunehmender Magnetfeldstärke tritt eine Magnetfeldkomponente in radialer Richtung der (infinitesimalen) Kreisbahn auf. Die dadurch hervorgerufene Lorentzkraft auf das Elektron wirkt der Geschwindigkeitskomponente v_{\parallel} parallel zur Schraubenachse entgegen und reduziert diese. Bei $v_{\parallel} = 0$ ist die Gesamtgeschwindigkeit des Elektrons gleich der Bahngeschwindigkeit der Kreisbewegung und die weitere Wechselwirkung mit der radialen Magnetfeldkomponente führt zu einem Anwachsen von v_{\parallel} in die entgegengesetzte Richtung.

Antwortbox 4: Wirkung des Permanentmagneten

Das Hinzufügen des Permanentmagneten lässt aufgrund seiner Polung die Elektronen wiederum umkehren, sodass sich diese zwischen den beiden sich gegenüber stehenden Magnetpolen von Elektro- und Permanentmagnet hin und her bewegen.

• e/m-Bestimmung – Simulation mit dem Sprossen-Fadenstrahlrohr

Antwortbox 1: e/m-Messung mit Sprossenleiter

(1) Für $U = 300 \text{ V}$ ergibt sich ein Bahndurchmesser $d = 5,0 \text{ cm}$ bei einer eingestellten Magnetfeldstärke $B = 2,34 \text{ mT}$.

(2) Für $U = 200 \text{ V}$ ergibt sich ein Bahndurchmesser $d = 6,0 \text{ cm}$ bei einer eingestellten Magnetfeldstärke $B = 1,59 \text{ mT}$.

Mit der Gleichung $\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{B^2 \cdot r^2}$ (s. o.) ergibt sich damit:

U in V	B in T	d in cm	r in m	e/m in C/kg
200	0,00159	6,0	0,0300	1,76E+11
300	0,00234	5,0	0,0250	1,75E+11

Literaturwert 1,76E+11

Antwortbox 2: Abweichendes $B(l)$

Helmholtzspulenpaare können unterschiedliche geometrische Abmessungen und Windungszahlen aufweisen. Daher gehören zu eingestellten Stromstärken i. d. R. auch völlig unterschiedliche Magnetfeldstärken.

Antwortbox 3: Vor- und Nachteile beider Typen

Der Vorteil des Fadenstrahlrohrs des IBE ist gleichzeitig der Nachteil des Fadenstrahlrohr aus der Simulation – und umgekehrt.

Vorteil: Man kann beliebige Bahnkurven zur Auswertung heranziehen.

Nachteil: Die Bestimmung der Bahndurchmesser ist in der Realität schwieriger, weil man selbstverständlich nicht im Inneren des Fadenstrahlrohrs mit dem Lineal messen kann.

• **e/m-Bestimmung mit Schraubenbahnen nach Busch**

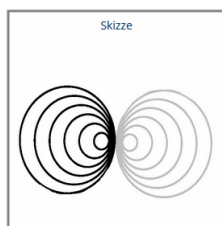
Antwortbox 1: Experimentieren mit dem Simulationsprogramm

...

Antwortbox 2: Gleichspannung an Ablenkplatten (1) mit Variation der Magnetfeldstärke

a) Wenn man die Beschleunigungsspannung vergrößert, ist die Aufenthaltsdauer des Elektrons im Ablenkkondensator kleiner, damit ist seine vertikale Geschwindigkeit beim Verlassen des Kondensators kleiner und eine kleinere Vertikalgeschwindigkeit führt zu kleineren Kreisen. Das würde dann bedeuten, dass bei kontinuierlicher Vergrößerung der Beschleunigungsspannung die Kurvenradien während der Umläufe auf dem Beobachtungsschirm kleiner werden: daher ergibt sich eine spiralähnliche Bahn mit aufeinanderfallenden Bahnpunkten im Mittelpunkt des Beobachtungsschirms.

b) Es gibt nur eine Kurve von zwei möglichen, entweder die linke (schwarz) oder die rechte (grau), wie auf dem überlagerten Bild gezeichnet. Die "Kreise" müssten jedoch kontinuierlich enger werden, daher "spiralähnlich". Beim Umpolen der Ablenkspannung entstünde dann die jeweils andere, gespiegelte Kurve.



c) Es fallen diejenigen Punkte aufeinander, die jeweils den Schirm auf dem Durchstoßpunkt seiner Mittelachse treffen.

Antwortbox 3: Gleichspannung an Ablenkplatten – Variation der Beschleunigungsspannung

Stellungnahme zu den Aussagen: A hat recht.

Entscheidend ist die in Abhängigkeit von der Verweilzeit der Elektronen unterschiedliche Wirkung der Ablenkplatten: Werden die Elektronen durch eine zunehmende Beschleunigungsspannung auf höhere Geschwindigkeiten beschleunigt, dann verbringen sie eine kürzere Zeit im Ablenkkondensator, sodass die Vertikalgeschwindigkeitskomponente kleiner wird, was einen Einfluss auf die Radien der Bahnen hat.

Antwortbox 4: Zuordnung des Kreises „A“

Der linke Kreis „A“ gehört zur Schraubenlinienbahn „1“.

Begründung: Auf die (vereinfacht) im Mittelpunkt des Kondensators befindlichen nach oben abgelenkten Elektronen wirkt die Lorentzkraft aus der Papierebene heraus nach vorn.

Antwortbox 5: sinusförmige Wechselfeldspannung an Ablenkplatten

Es wird auch jeder Punkt auf der Strecke zwischen den beiden vom Programm dargestellten Punkten gezeichnet.

Antwortbox 6: Messung von e/m

Analog zum gegebenen Beispiel von Matthias Borchardt (http://www.mabo-physik.de/exm_bestimmung_nach_busch.html).

Antwortbox 7: Bildbeschreibung

Das Bild des Filaments erscheint um einen gewissen Winkel gedreht.

Antwortbox 8: Vergleich zu optischen Linsen

Gemeinsamkeiten und Unterschiede können nach Größe des Bildes und Orientierung im Vergleich zum Original (auch unter Berücksichtigung der Drehung) gefunden werden.

• e/m -Bestimmung in gekreuztem E- und B-Feld nach Thomson

Antwortbox 1: Position der Messgrößen

x ist am Ende des Kondensators zu messen; diese Größe kennt man, da die Länge des Kondensators seitens des Herstellers gegeben ist.

y ist ebenfalls am Ende des Kondensators zu messen; dies geschieht über die proportionale Vergrößerung durch Ausmessung der Ablenkung am Schirm und mit der Kenntnis der Tubenlänge.

Antwortbox 2: Elektrisches Feld nach Abschalten des Magnetfelds

Die Geschwindigkeit der Elektronen in x -Richtung darf nicht mehr geändert werden, da $v = E/B$ ausgenutzt wurde. Die Kombination von E und B wurde im ersten Teil des

Experiments so eingestellt, dass die Elektronen sich geradlinig durch den Kondensator bewegen.

Antwortbox 3: Überprüfung Lorentzkraft

Die Richtung der elektrischen Kraft ist richtig wiedergegeben.

Die Richtung der Lorentzkraft ist genau entgegengesetzt zur angegebenen Richtung, also falsch dargestellt.

• Ausblick: Wien-Filter, Massenspektrometer und Zyklotron

Antwortbox 1: Nachbildung der Bahnen

Hier die Einstellungen:

Try These ▼

Start

Position

$x_0 = 0$

$y_0 = 0$

Velocity

$v_{x0} < 0$

$v_{y0} = 0$

$v_{z0} = 0$

Electric Field

$E_x = 0$

$E_y = 0$

$E_z = 0$

Magnetic Field

$B_x = 0$

$B_y = 0$

$B_z > 0$

Try These ▼

Start

Position

$x_0 = 0$

$y_0 = 0$

Velocity

$v_{x0} < 0$

$v_{y0} = 0$

$v_{z0} > 0$

Electric Field

$E_x = 0$

$E_y = 0$

$E_z = 0$

Magnetic Field

$B_x = 0$

$B_y = 0$

$B_z > 0$

Antwortbox 2: Wien-Filter-Formel

Elektrisches und magnetisches Feld mit entgegen gesetzter, sich aufhebender

Wirkung: $F_{el} = e \cdot E = e \cdot v \cdot B = F_L$, also $E = v \cdot B$ bzw. $v = \frac{E}{B}$.

Antwortbox 3: Massenspektrometer

Siehe Literatur.

Antwortbox 4: Zyklotron: Fachsprache

Fachsprache 1: (03:03) „Das Elektron nimmt erneut an Fahrt auf“

Fachsprache 2: (03:20) „Die Frequenz interessiert das herzlich wenig.“

Antwortbox 5: Zyklotron: Zyklotronfrequenz

Für den (Halb-) Umlauf im linken Duanten benötigt das zu beschleunigende Teilchen

mit der Ladung q die Zeit $T_{li} = \frac{\pi \cdot r_{li}}{v_{li}}$, für den (Halb-) Umlauf im rechten Duanten

$$T_{re} = \frac{\pi \cdot r_{re}}{v_{re}}.$$

Da in beiden Duanten die Lorentzkraft die Zentralkraft darstellt, gilt:

$$F_{z,li} = \frac{m \cdot v_{li}^2}{r_{li}} = q \cdot v_{li} \cdot B = F_{L,li} \quad \text{und} \quad F_{z,re} = \frac{m \cdot v_{re}^2}{r_{re}} = q \cdot v_{re} \cdot B = F_{L,re}.$$

Damit folgt für die o. g. Zeiten:

$$T_{li} = \frac{\pi \cdot m}{q \cdot B} \quad \text{sowie} \quad T_{re} = \frac{\pi \cdot m}{q \cdot B}, \quad \text{es ist also } T_{li} = T_{re} !$$

Damit ist die Verweildauer in den beiden Duanten nicht von v abhängig! Die

Gesamtverweildauer bei einem vollständigen Umlauf beträgt daher: $T_{ges} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot m}{q \cdot B}$.

Das Zyklotron kann also mit einer konstanten Hochspannungsfrequenz $f = \frac{1}{T_{ges}}$

betrieben werden.

Damit folgt auch sofort: $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot \frac{1}{T_{ges}} = 2\pi \cdot \frac{1}{2 \cdot \frac{\pi \cdot m}{q \cdot B}} = \frac{q}{m} \cdot B$, also $\omega = \frac{q}{m} \cdot B$.

Eine Bitte:

Für hilfreiche Rückmeldungen zu den Seiten der tet.folio-Fadenstrahlröhre und zu den vorstehenden Lösungen wäre ich dankbar. Vielen Dank, Peter Goldkuhle, Detmold, phf.g@web.de).