

2. Klausur Leistungskurs Physik Sporenberg

Jahrgst. 12/1 – Schuljahr 2010/11

Klau12_1_2_2010_11

Marl, 20. Dezember 2010

1. Aufgabe: a) In einer Kathodenstrahlröhre werden Elektronen durch die Spannung $U_B = 1,2068 \text{ kV}$ auf die Geschwindigkeit v_0 beschleunigt. Sie fliegen dann entsprechend durch einen Ablenkkondensator, an dem die Spannung U_y liegt.

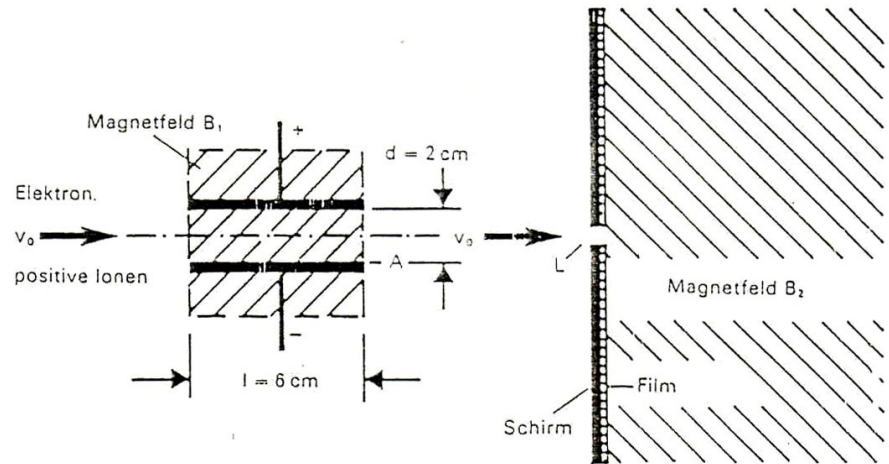
I. Berechnen Sie die Geschwindigkeit v_0 !

II. Die Ablenkspannung U_y soll auf einen Wert $U_{y\max}$ begrenzt werden, für den die Elektronen der Geschwindigkeit v_0 den Rand des Kondensators im Punkt A streifen. Dieser Wert sei $U_{y\max} = 267,8 \text{ V}$.

Dem elektrischen Feld des Kondensators soll ein homogenes Magnetfeld derart überlagert werden, dass die Elektronen den Kondensator

ohne Ablenkung verlassen. Geben Sie in einer Skizze die Richtung des Magnetfeldes an! Begründen Sie diese Angabe! Berechnen Sie den Betrag B_1 der bei $U_{y\max} = 267,8 \text{ V}$ erforderlichen magnetischen Flussdichte.

IV. Der Ablenkkondensator wirkt in Verbindung mit einer Lochblende L in einem Schirm als Geschwindigkeitsfilter bei $U_{y\max} = 267,8 \text{ V}$ und $B_1 = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit der Elektronen, die unabgelenkt den Kondensator verlassen. Diese Anordnung soll entsprechend für einfach positive Ionen der Geschwindigkeit v_0 bei unveränderter Polung der Kondensatorplatten und unveränderter Spannung $U_{y\max}$ verwendet werden. Welche magnetische Flussdichte (Betrag und Richtung) ist erforderlich? Aussagen ohne Rechnung sind zu begründen.



b) Bei einem zweiten Versuch mit dem Geschwindigkeitsfilter fliegen positive Ionen der Geschwindigkeit v_0 durch den Kondensator und die Blende L in ein ausgedehntes Magnetfeld der Flussdichte B_2 , das sich rechts vom Schirm befindet (Feldlinien senkrecht in die Zeichenebene).

I. Skizzieren Sie die Bahn der Ionen in diesem Feld.

II. Der Versuch wird mit positiv geladenen Wasserstoffatomen bei $v_0 = 2,06 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ und $B_2 = 2,0 \text{ T}$ durchgeführt. Berechnen Sie den Abstand des Auftreffpunkts der Ionen auf dem Film an der Rückseite des Schirmes von der Blende L aus gemessen. Wie lange ist ein Ion im Magnetfeld B_2 unterwegs?

III. Zeigen Sie anhand einer Rechnung, dass sich dieser Versuchsaufbau prinzipiell zur Trennung der Isotope des Wasserstoffs eignet (^1_1H , ^2_1H , ^3_1H).

2. Aufgabe:

Im Fadenstrahlrohr (siehe Abbildung 1) wird mit Hilfe einer Elektronenkanone ein scharf gebündelter Elektronenstrahl erzeugt. Die Bahnkurve, auf der sich die Elektronen im Fadenstrahlrohr bewegen, ist als blau leuchtende Kurve sichtbar. Mit einem Helmholtzspulenpaar kann ein Magnetfeld zur Ablenkung des Elektronenstrahls erzeugt werden. Bei geeigneter Justierung des Systems bewegen sich die Elektronen auf einer Kreisbahn (siehe Abbildung 2).

I. a) Skizzieren Sie den Aufbau des Fadenstrahlrohres, insbesondere der Elektronenkanone mit der entsprechenden elektrischen Schaltung.

Hinweis: Die Helmholtzspulen sowie deren Stromversorgung sollen nicht skizziert werden.

b) Erläutern Sie, wie der Elektronenstrahl erzeugt wird.

c) Erläutern Sie, warum die Bahnkurve, auf der sich die Elektronen bewegen, sichtbar ist.

II. Die Abbildung 2 zeigt die Fotografie einer Bahnkurve, auf der sich Elektronen im Fadenstrahlrohr durch das homogene magnetische Feld des Helmholtzspulenpaares bewegen.

a) Skizzieren Sie eine kreisförmige Bahnkurve und für ein einzelnes Elektron in einem beliebigen Punkt dieser Bahnkurve den Geschwindigkeitsvektor $\mathbf{v}$, die auf das Elektron wirkende Zentripetalkraft F_z sowie das für die Kreisbahn erforderliche magnetische Feld.

b) Begründen Sie, warum der Betrag der Geschwindigkeit konstant ist.

c) Begründen Sie, warum sich eine kreisförmige Bahnkurve ergibt.

III. Der Radius der kreisförmigen Bahnkurve kann gemäß $r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2 m U_B}{e}}$ Leiten Sie diese Formel her und erläutern Sie Ihren Ansatz.

IV. a) Überprüfen Sie, unter welchen Randbedingungen die sachliche Richtigkeit der folgenden Aussagen zur Bewegung von Elektronen im Fadenstrahlrohr gegeben ist.

(1) „Wird die Beschleunigungsspannung U_B vergrößert, so wird die Geschwindigkeit v_0 , mit der die Elektronen die Elektronenkanone verlassen, größer.“

(2) „Wenn v_0 größer wird, dann wird auch die auf die Elektronen wirkende Lorentzkraft F_L größer.“

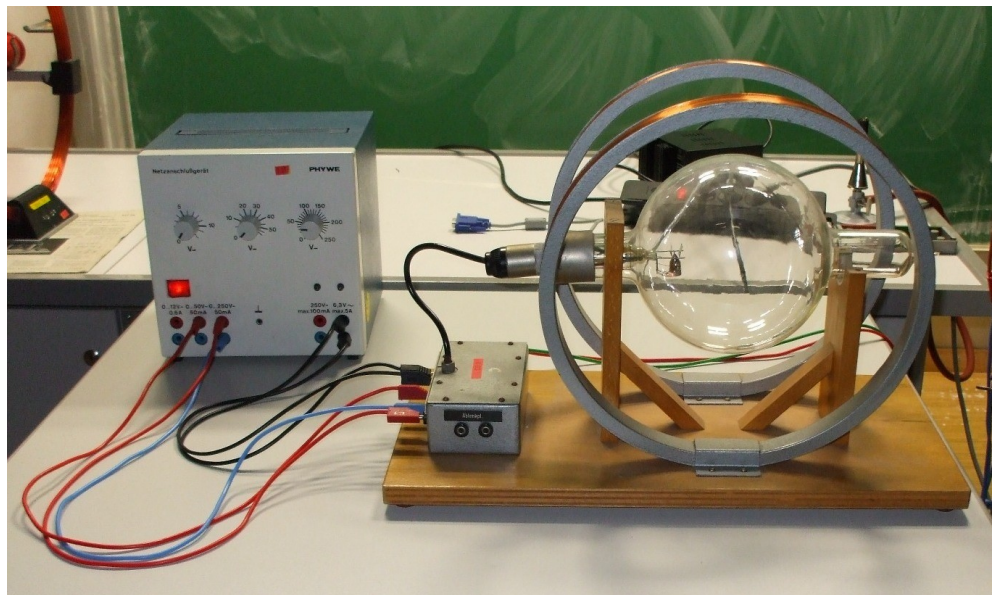
(3) „Wenn die Lorentzkraft F_L größer wird, wird der Kreisbahnradius r kleiner.“

b) Werden die Aussagen (1) bis (3) des Aufgabenteils a) hintereinander gelesen, so legen sie (insgesamt) den folgenden Schluss nahe:

(1) – (3) $\rightarrow$ „Eine Vergrößerung der Beschleunigungsspannung U_B hat eine Verkleinerung des Kreisbahnradius r zur Folge.“

Diskutieren Sie, warum diese Schlussfolgerung falsch ist.

V. In einem Experiment ermittelt man bei einer Beschleunigungsspannung von $U_B = 200 \text{ V}$ den Radius r der kreisförmigen Bahnkurve der Elektronen in Abhängigkeit von der Stärke B des magnetischen Feldes. Es ergeben sich folgende Messwerte:



B in mT	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
r in cm	4,8	4,0	3,4	3,0	2,6	2,4

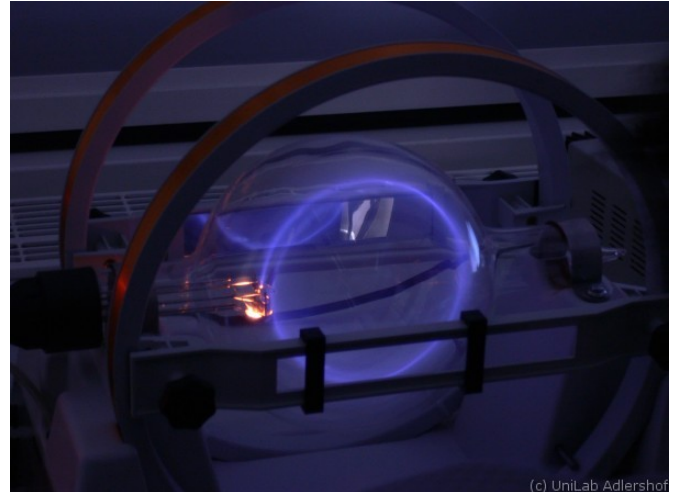
a) Ermitteln Sie anhand der Messwerte den Zusammenhang zwischen dem Kreisbahnradius r und der Stärke B des magnetischen Feldes, indem Sie diese in ein geeignetes Diagramm eintragen und auswerten.

b) Bestimmen Sie anhand der Auswertung der Messwerte und der in Teilaufgabe III angegebenen Beziehung einen Wert für die spezifische Ladung e/m des Elektrons.

VI. Zeigen Sie, dass die Umlaufzeit T der Elektronen im Fadenstrahlrohr gemäß

$$T = \frac{2\pi m}{eB}$$

berechnet werden kann und somit unabhängig von der Geschwindigkeit v der Elektronen ist.



3.Aufgabe: a) Stellen Sie den Zusammenhang zwischen der Arbeit, dem Potential und der Spannung im radialsymmetrischen Feld einer Punktladung dar.

b) In der Beschreibung des Wasserstoffatoms nach dem Bohrschen-Atommodell bewegt sich das Elektron im Grundzustand auf einer Kreisbahn mit dem Atomkern (Proton) als Mittelpunkt. Der Radius der Kreisbahn ist $r = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$, die Bahngeschwindigkeit des Elektrons auf der Kreisbahn ist $v = 2,19 \cdot 10^6 \text{ m/s}$. Das Elektron trägt eine negative, das Proton eine positive Elementarladung.

1. Berechnen Sie das elektrische Potential des Protons am Ort des Elektrons im Grundzustand.

2. Welche Energie muss dem Elektron zugeführt werden, damit es aus dem Wasserstoffatom entfernt wird und im Unendlichen die Geschwindigkeit Null hat?

c) Welche Arbeit wird verrichtet, wenn ein Körper mit der Ladung $Q = -4 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ von einem Punkt, an dem ein Potential von $\varphi = +420 \text{ V}$ herrscht, langsam zu einem Punkt gebracht wird, an dem ein Potential von $\varphi = -780 \text{ V}$ herrscht?

Physikalische Konstante

$g = 9,81$ Protonenmasse: $m_p = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Elektronenmasse: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

$|\text{Elektronenladung}| = |\text{Protonenladung}| : |e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Atommassen: ${}_1^1\text{H} = 1,0078250 \cdot u$, ${}_1^2\text{H} = 2,0141018 \cdot u$, ${}_1^3\text{H} = 3,0160493 \cdot u$

mit $u = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Lösung

1.Aufgabe:

a) I. Es gilt: $\frac{1}{2} m_e v_0^2 = e U_B \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2 e U_B}{m_e}} = 2,06 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$

II. Es gilt: $F_e = F_L \Rightarrow e \cdot E = e \cdot v_0 \cdot B_1 \Rightarrow B_1 = \frac{E}{v_0} = \frac{U_{v \max}}{d v_0} = \frac{267,8 V}{0,02 m \cdot 2,06 \cdot 10^7 \frac{m}{s}} \approx 6,5 \cdot 10^{-4} \frac{Vs}{m^2}$

$$v = \frac{E}{B_1} = 2,06 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$$

b) II. Es gilt: $r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} = \frac{1,007825 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} kg \cdot 2,06 \cdot 10^7 \frac{m}{s}}{1,6 \cdot 10^{-19} C \cdot 2 T} = 0,108 m$

Also: $r=0,108 m$ und das mal 2 (wegen des Durchmessers)

$T = \frac{2 \pi m}{q B} = 3,286 \cdot 10^{-8} s$ Da es sich um einen Halbkreis handelt, muss diese Zeit noch durch 2 geteilt werden, also: $t^* = 1,64 \cdot 10^{-8} s$.

III.

Man berechnet für die drei verschiedenen Massen der Wasserstoffisotope den Radius nach der Gleichung:

$$r = \frac{m v}{q B}$$

$$r_1 = 0,108 m$$

$$r_2 = 0,215 m$$

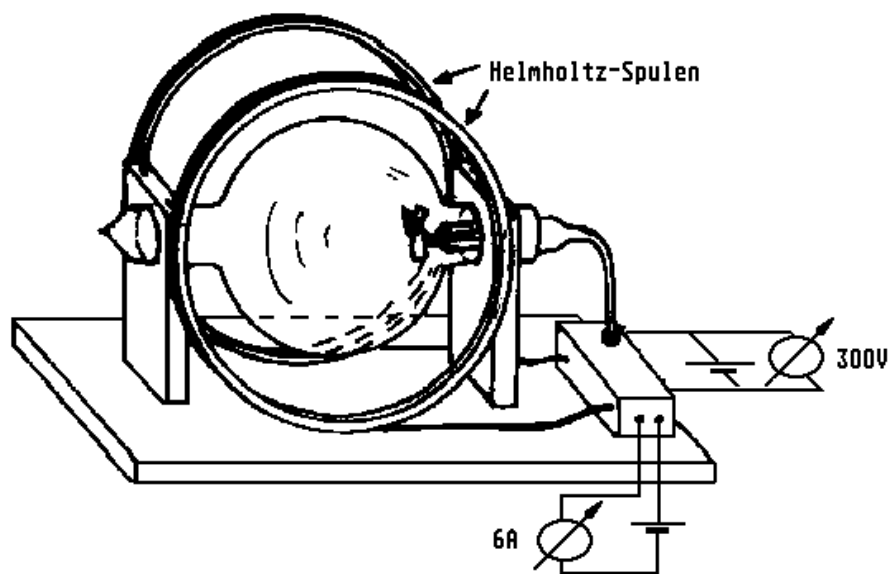
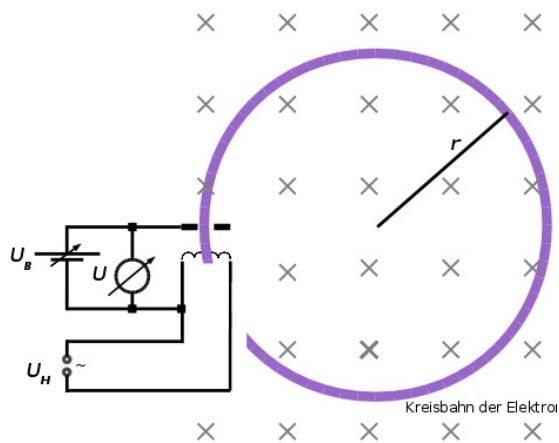
$$r_3 = 0,323 m$$

Die Auftreffpunkte liegen weit genug auseinander.

2.Aufgabe:

Ein Netzgerät liefert die Heizspannung, die Spannung für den Fokus und die Anodenspannung für die Beschleunigung der Elektronen.

Durch die Heizung wird die (Metall-)Kathode zum Glühen gebracht, dadurch treten Elektronen aus dieser aus (glühelektrischer Effekt). Die aus der Kathode ausgetretenen Elektronen haben (zunächst) eine vernachlässigbar kleine Geschwindigkeit $v_{\text{Kathode}} = 0$. Im elektrischen Feld zwischen (negativer) Kathode und (positiver) Anode werden die Elektronen beschleunigt, sie fliegen also mit zunehmender Geschwindigkeit auf die Anode zu. Auf dem Weg von der Kathode zur Anode werden die Elektronen durch einen negativen Fokushohlzylinder auf der Mittelachse der Anordnung konzentriert. Wegen dieser Richtungs-fokussierung sowie ihrer hohen Geschwindigkeit „fliegen“ die Elektronen durch die Anodenbohrung hindurch und verlassen somit (als eng gebündelter Elektronenstrahl) die Elektronenkanone.



In dem evakuierten Glaskolben befindet sich Wasserstoffgas unter geringem Druck. Die Gasmoleküle werden durch die Elektronen des Elektronenstrahls durch Stoßanregung zum Leuchten gebracht. Dadurch wird die Bahn der Elektronen sichtbar.

Auf Elektronen, die sich in einem Magnetfeld bewegen, wirkt die Lorentzkraft. Nach der „Drei-Finger-Regel“ (oder gemäß $F_L = e \, v \, B$ gilt stets $F_L \perp v$) Damit ist $v = \text{const.}$

Da auch $B = \text{const}$ ist, muss gemäß $F_L = e \, v \, B$ auch $F_L = \text{const}$ sein. Wirkt eine dem Betrage nach konstante Kraft auf ein Teilchen und steht diese Kraft stets senkrecht zum Geschwindigkeitsvektor, so bewegt sich das Teilchen auf einer Kreisbahn, und zwar mit konstantem Geschwindigkeitsbetrag.

Da sich das Elektron auf einer Kreisbahn bewegt, muss eine Zentripetalkraft F_z mit $F_z = m \frac{v^2}{r}$ wirken. Diese wird hier durch die Lorentzkraft gestellt.

Damit gilt: $F_L = F_z$

Somit folgt: $m \frac{v^2}{r} = e v B \Rightarrow m \frac{v}{r} = e B$ (1)

Da sich die Geschwindigkeit v des Elektrons auf der Kreisbahn nicht mehr ändert, ist v gleich der Geschwindigkeit v_0 , mit der ein Elektron die Elektronenkanone verlässt. Diese Geschwindigkeit kann mit Hilfe einer Energiebetrachtung ermittelt werden:

$$e U = \frac{1}{2} m v_0^2 \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2 e U}{m}} \quad (2)$$

Setzt man (2) in (1) ein, so erhält man:

$$m \frac{\sqrt{\frac{2 e U_B}{m}}}{r} = e B \Rightarrow r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2 e U_B}{e}}$$

Diese Aussage ist gemäß $v_0 = \sqrt{\frac{2 e U}{m}}$ m (ohne Einschränkung) richtig.

Diese Aussage ist gemäß $F_L = e v B$ richtig, wenn die Stärke B des magnetischen Feldes der Helmholtzspulen nicht verändert wird.

Da F_L hier die Zentripetalkraft stellt, ist diese Aussage gemäß

$$F_L = m \frac{v^2}{r}$$

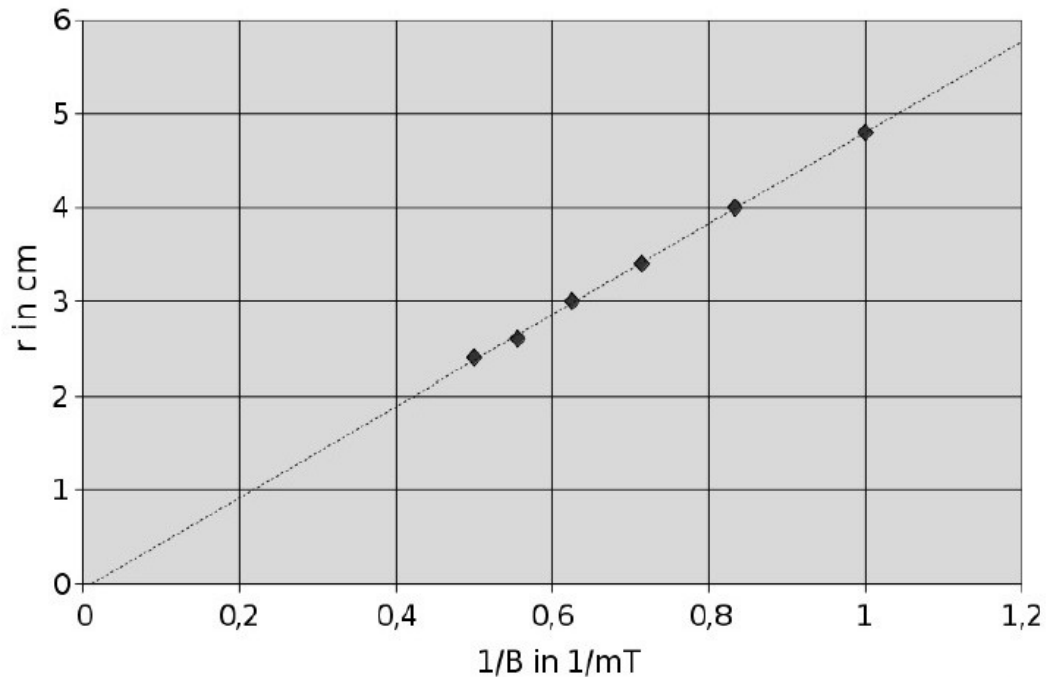
richtig, solange m und v sich **nicht** ändern (bzw. solange das Produkt $m v^2$ nicht „stärker“ wächst als die Lorentzkraft F_L).

Die Schlussfolgerung ist falsch, denn gemäß $r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2 e U_B}{e}}$ wird r mit wachsendem U_B größer.

Mit der Vergrößerung von U_B wird zwar tatsächlich v_0 und damit auch F_L größer, es ist aber gemäß $F_Z = m \frac{v^2}{r}$ auch eine größere Zentripetalkraft erforderlich, um das Elektron mit der erhöhten Geschwindigkeit auf die (gleiche) Kreisbahn zu zwingen. Da F_Z quadratisch mit v wächst, F_L aber nur linear zu v anwächst, kann die schneller anwachsende erforderliche Zentripetalkraft nicht mehr von der weniger stark gewachsenen Lorentzkraft gestellt werden; der Kreisbahnradius wird also größer.

V. Die Anfertigung eines $1/B$ - r -Diagramms ergibt die nachfolgende Grafik:

Die Anfertigung eines $1/B$ - r -Diagramms ergibt die nachfolgende Grafik:



Es ergibt sich (näherungsweise) eine Ursprungsgerade. Somit ist $r \sim 1/B$.

Für die Steigung a ergibt sich aus der Zeichnung:

$$a = \frac{4,8 \text{ cm}}{1 \frac{1}{mT}} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot m \Rightarrow r = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot m \frac{1}{B}$$

Gemäß $r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2 e U_B}{e}}$ ist die Steigung $a = \sqrt{\frac{2 m U_B}{e}}$

Also folgt $a = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot m$, somit gilt: $\frac{2 m U_B}{e} = (4,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot m)^2 \Rightarrow$

$$\frac{e}{m} = \frac{2 U_B}{(4,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot m)^2} = \frac{2 \cdot 200 \text{ V}}{(4,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot m)^2} = 1,74 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

VI. Da das Elektron eine Kreisbewegung durchläuft, kann die Umlaufdauer T gemäß

$T = \frac{2 \pi r}{v}$ (1) berechnet werden. Ersetzt man v durch $F_L = F_Z \Rightarrow v = \frac{r e B}{m}$ in Gleichung (1), so

erhält man
$$T = \frac{2 \pi r}{v} = \frac{2 \pi r}{\frac{r e B}{m}} = \frac{2 \pi m}{e B}$$

3.Aufgabe:

a) Siehe PowerPoint-Einführung Einfuehrung_E_lehre.ppt

b)Das Potenzial der Ladung des Protons ist am Ort des Elektrons:

$$\varphi = \frac{1}{4 \pi \varepsilon_0} \cdot \frac{e}{r} = \frac{1}{4 \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{1,60 \cdot 10^{-19}}{5,29 \cdot 10^{-11}} = 27,2 \text{ V}$$

Die Energie ist $W_{r \rightarrow \infty} = \varphi \cdot e = 27,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,352 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 27,2 \text{ eV}$

c) $W = q (V_2 - V_1) = -4 \cdot 10^{-9} \text{ C} (-780 \text{ V} - 420 \text{ V}) = 4,8 \cdot 10^{-6} \text{ J}$