

Übungsarbeit zur Physikklausur Nr.2 Klasse 11

Aufgabe 1

Ein Strahl von H^+ -Ionen mit der einheitlichen Geschwindigkeit $v_x = 1,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ tritt in das homogene Feld eines Plattenkondensators in der Mitte zwischen den Platten und parallel zu diesen ein. Am Kondensator liegt die Spannung $3,0 \text{ kV}$. Der Plattenabstand beträgt $d = 2,0 \text{ cm}$, die Plattenlänge $l = 4,0 \text{ cm}$.

- a) Berechne die Zeit t_F , welche ein H^+ -Ion für seinen Flug durch den Plattenkondensator benötigt, sowie den Betrag der Zusatzgeschwindigkeit \vec{v}_y , die ihm dabei erteilt wird.

$$t = \frac{s}{v} = \frac{0,04}{1,2 \cdot 10^6} = 33 \text{ ns}$$

[Teilergebnis: $v_y = 4,8 \cdot 10^5 \text{ m/s}$]

$$F = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{e \cdot E}{m} = \frac{e \cdot U}{m \cdot d} = 1,43 \cdot 10^{13} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad v_y = a \cdot t = 4,8 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- b) Berechne mit Hilfe eines geeigneten Diagramms den Winkel α , den die Bahn des Ions nach dem Verlassen des Kondensators mit der ursprünglichen Flugrichtung vor dem Eintritt in den Kondensator einschließt.

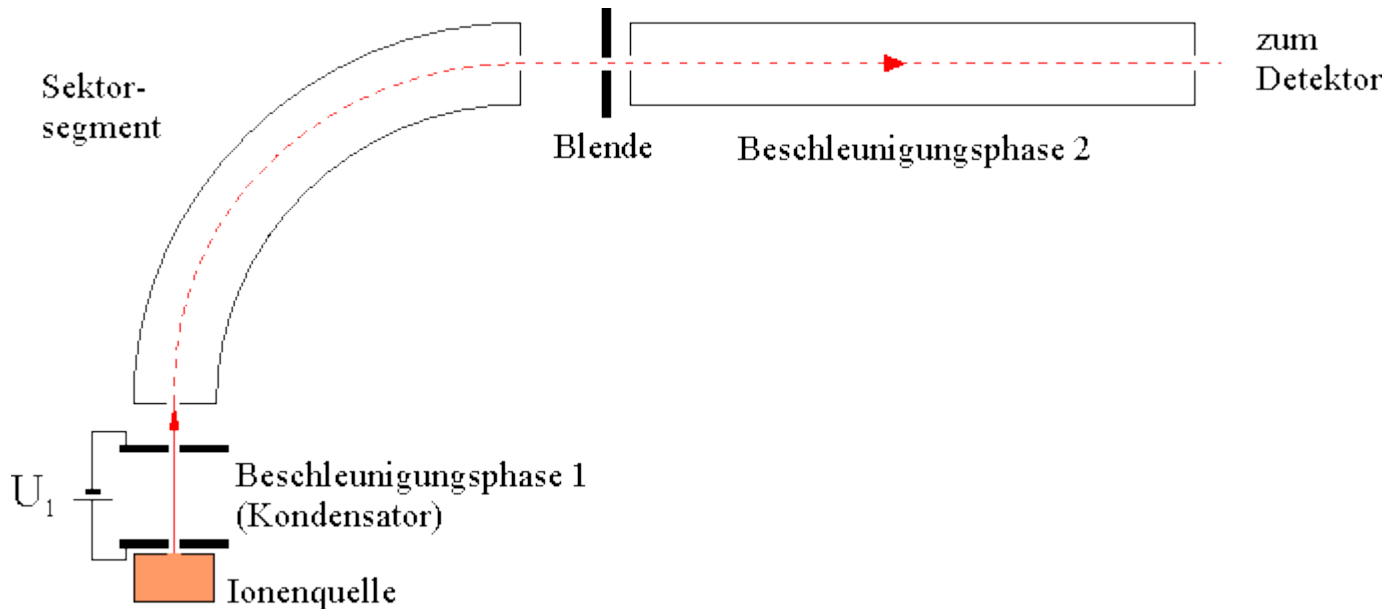
$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{v_y}{v_x} \right) = 21,8^\circ$$

- c) Wie ändert sich der Winkel α , wenn anstelle des H^+ -Ions ein einfach geladenes He^+ -Ion mit der gleichen Geschwindigkeit in das Feld eintritt? Beantworte die Frage nur qualitativ, und begründe deine Antwort.

Das Heliumion ist träger auf Grund der größeren Masse, also wird es weniger stark abgelenkt, der Winkel wird kleiner.

Aufgabe 2

Neue Detektoren müssen vor ihrem Einsatz geeicht werden. Dazu leitet man einen Strahl aus Ionen bekannter Masse, bekannter Ladung und bekannter Energie in den Detektor und untersucht dessen Reaktion. In der Abbildung ist der vereinfachte Aufbau einer Anlage zur Erzeugung eines solchen Strahls dargestellt.



Aus einer Ionenquelle treten O^{6+} -Ionen ($m = 16 \text{ u}$) mit vernachlässigbarer Anfangsenergie in das homogene Feld eines Plattenkondensators. Nach Durchlaufen des Kondensators verlassen die Ionen diesen durch ein kleines Loch in der negativ geladenen Platte. Die beschleunigten Ionen werden im Feld des sogenannten Sektormagneten um 90° abgelenkt. Das als homogen angenommene Feld der Flussdichte $B = 0,30 \text{ T}$ wird von einem Permanentmagneten erzeugt. Ionen, die sich auf einer Kreisbahn mit dem Radius $r = 3,50 \text{ cm}$ bewegen, treten genau durch die Mitte der Blende nach dem Magnetfeld.

- a) Berechne die Geschwindigkeit v der O^{6+} -Ionen, die die Blende durch deren Mitte passieren. [zur Kontrolle: $v = 3,8 \cdot 10^5 \text{ m/s}$]

$$\frac{16 \cdot m_p \cdot v^2}{r} = 6 \cdot e \cdot v \cdot B \Rightarrow v = \frac{6 \cdot e \cdot r \cdot B}{16 \cdot m_p} = 3,8 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- b) Welche Beschleunigungsspannung U_1 liegt am Kondensator an? [zur Kontrolle: $U_1 = 2,0 \text{ kV}$]

$$6 \cdot e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot (16 \cdot m_p) \cdot v^2$$

- c) Aus der Ionenquelle treten auch Ionen anderer Sauerstoff-Isotope aus. Durch die Blende können alle Ionen treten, die sich auf Kreisbahnen mit $3,45 \text{ cm} < r < 3,55 \text{ cm}$ bewegen. Begründe rechnerisch, dass die Sauerstoff-Ionen der Masse 18 u und der Ladung $+6 e$ die Blende nach dem Sektormagneten nicht passieren können, wenn die Beschleunigungsspannung U_1 gleich bleibt.

$r = \frac{18}{16} r_{alt} = 3,9375 \text{ cm}$ Der Radius der schwereren Sauerstoffionen ist zu groß, sie passen nicht durch die Blende.

Nach der Blende werden die Ionen durch ein weiteres elektrisches Feld auf die gewünschte Energie beschleunigt. Bei dem hier beschriebenen Aufbau werden dafür Spannungen zwischen wenigen Kilovolt und 450 kV angelegt.

- d) Warum wird die Beschleunigung der Ionen in zwei Phasen aufgeteilt? Überlege dazu, welche Auswirkungen es hätte, wenn die Ionen bereits vor dem Sektormagneten die volle Beschleunigungsspannung von bis zu 450 kV durchlaufen würden.

Der Radius der Ionen ist proportional zur Geschwindigkeit, diese wiederum proportional zu \sqrt{U} . Hätte man die Ionen sofort mit 450kV beschleunigt, wäre der Radius 15Mal so groß gewesen, also etwa 0,5m. Die Anlage hätte unnötig viel größer gebaut werden müssen.

Aufgabe 3

Ein Zyklotron enthält nahe des Zentrums eine Glühkathode, aus der Elektronen emittiert werden (Flugrichtung durch den Pfeil angedeutet). Der Abstand zwischen den halbkreisförmigen Beschleunigerelementen (Duanden) beträgt nur wenige mm.

- a.) Die Elektronen durchlaufen zunächst die Strecke zwischen den beiden Duanden. Bestimme deren Geschwindigkeit bevor sie erstmalig in den Magnetfeldbereich einfliegen. (zur Kontrolle: $v = 1,03 \times 10^7 \frac{m}{s}$)

$$e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m}}$$

- b.) Gebe die Orientierung des Feldes $B = 4 \text{ mT}$ an, so dass der Elektronenstrahl eine Ablenkung im Uhrzeigersinn erfährt. Nach der linken Hand-Regel geht das Magnetfeld in die Zeichenebene, damit die Elektronen im Uhrzeigersinn beschleunigt werden.
- c.) Skizziere in der Graphik die Bahnform des Strahls bis zum Verlassen an der angegebenen Stelle (Anzahl Umdrehungen unwichtig). Siehe unten
- d.) Welchen Radius hat die Bahn des Strahls beim ersten Durchgang durch das Magnetfeld?

$$r = \frac{m \cdot v}{e \cdot B} = 1,46 \text{ cm}$$

- e.) Welche Zeit benötigt der Strahl zum Durchqueren des ersten Bahnstückes im Magnetfeld?

$$t = \frac{\pi \cdot r}{v} = 4,43 \text{ ns}$$

- f.) Gebe einen Wert für die Frequenz f der Wechselspannung U , bei der die Elektronen im Takt beschleunigt werden.

Die Wechselspannung muss während der Zeit t die Richtung ändern,

also ist die Frequenz $f = \frac{1}{2 \cdot t} = 113 \text{ MHz}$

- g.) Leite die Formel $r_n = \sqrt{\frac{2nUm}{eB^2}}$ für den Radius der Strahlbahn nach n-facher Beschleunigung her.

$$e \cdot n \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot n \cdot U}{m}} \quad \text{Eingsetzt in die Formel für } r = \frac{m \cdot v}{e \cdot B} \text{ ergibt}$$

das Ergebnis.

- h.) Wie viele komplette Umdrehungen macht der Strahl bis zum Verlassen des Zyklotrons an der äußersten Kante?

Der Ansatz ist, dass der Radius 25cm wird bevor der Strahl ausgekoppelt wird. Also aus $0,25 = \sqrt{\frac{2 \cdot n \cdot m \cdot U}{e \cdot B^2}}$ wird $n=295$, also wird das Elektron etwa 148 gesamte Bahnen im Zyklotron machen.

- i.) Welche Gesamtaufenthaltszeit hat ein Elektron nach der Emission im Zyklotron? Begründen Sie ihre dabei gemachten Annahmen! Das Elektron wird sich $t = 4,4 \text{ ns} \cdot 295 = 1,3 \mu\text{s}$ im Zyklotron aufhalten.
- j.) Mit welchem prozentualen Anteil der Lichtgeschwindigkeit verlassen die Elektronen das Zyklotron (zur Kontrolle: $v=0,59c$)? Man berechne die Geschwindigkeit nach 295 facher Beschleunigung und stelle sie mit $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ins Verhältnis.

