

Aufgaben zum Thema Zyklotron

Zyklotron_26_11_2012.pdf

1.Aufgabe: Welche Kräfte wirken zwischen den Duanden und in den Duanden auf die Ladungen? Was bewirken diese Kräfte jeweils? Welchen Energiezuwachs erfahren die Ladungen pro Umlauf?

2.Aufgabe: Begründen Sie, dass bei passender Frequenz der Wechselspannung Ladungen, die zum richtigen Zeitpunkt starten, immer wieder durch das elektrische Feld beschleunigt werden. Zeigen Sie dazu, dass sich die Teilchen unabhängig von ihrer Geschwindigkeit stets gleich lang in einem Duanden aufhalten.

3.Aufgabe: Man will Protonen durch ein Zyklotron beschleunigen. Die magnetische Flussdichte beträgt dabei 0,65 T, der Maximalwert der Wechselspannung beträgt dabei 2,0 kV. Welche Frequenz benötigt man für die Wechselspannung? Gilt diese Frequenz auch für Alphateilchen?

4.Aufgabe: Die maximale Spannung der angelegten Wechselspannung betrage weiterhin 2,0 kV. Wie viele Kreisbahnen müssen Protonen durchlaufen, bis sie 10% der Lichtgeschwindigkeit erreicht haben? Welchen Durchmesser muss damit das Zyklotron aufweisen?

5.Aufgabe: Wie ändern sich die Antworten zu Aufgabe 3 und 4, wenn die maximale Spannung der angelegten Wechselspannung nur 1,0 kV beträgt?

6.Aufgabe: In einem Zyklotron mit einem Magnetfeld der Flussdichte $B = 0,5 \text{ T}$ werden α -Teilchen mit einer Masse von $m_\alpha = 6,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ beschleunigt.

a) Berechnen Sie die Zyklotronfrequenz f und die Umlaufzeit der α -Teilchen.

b) Nach der Beschleunigung werden die α -Teilchen ausgekoppelt und fliegen geradlinig weiter. Der Radius der äußersten Teilchenbahn beträgt 1,2 m. Mit welcher Geschwindigkeit verlassen die α -Teilchen das Zyklotron?

7.Aufgabe: Ein Zyklotron gibt α -Teilchen mit einer Energie von $2,5 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ ab. Die magnetische Flussdichte beträgt 2 T. Berechnen Sie den größten Krümmungsradius der Bahnkurve dieser Teilchen.

8.Aufgabe: a) Wie groß ist die Zyklotronfrequenz für Elektronen mit der Energie 1 eV bei einer magnetischen Flussdichte von $B = 1 \text{ T}$.

b) Der maximale Radius des Zyklotrons ist $r = 0,5 \text{ m}$. Wie groß ist die maximale Geschwindigkeit der Elektronen?

9.Aufgabe: Zeigen Sie, dass die Umlaufdauer im Zyklotron unabhängig vom Radius der Kreisbahn ist.

10.Aufgabe: Welcher Zusammenhang muss bei klassischen Teilchen zwischen der Frequenz der Beschleunigung und der magnetischen Flussdichte B und der spezifischen Ladung q/m bestehen, damit die Teilchen immer beim Maximum der Beschleunigungsspannung im Spalt zwischen den Duanden beschleunigt werden?

11.Aufgabe: Warum wird das klassische Zyklotron für Elektronen kaum verwendet?

12. Aufgabe: Low-Cost-Zyklotron

Ein Zyklotron (siehe Skizze) dient zur Beschleunigung geladener Teilchen auf nichtrelativistische Geschwindigkeiten. Es wird mit einem homogenen Magnetfeld B und einer Wechselspannung konstanter Frequenz betrieben.

a) Leiten Sie an Hand einer geeigneten Kräftebetrachtung den Zusammenhang zwischen dem Bahnradius und der Geschwindigkeit der Teilchen (Ladung q ; Masse m) her und zeigen Sie, dass

$$f = \frac{q \cdot B}{2\pi \cdot m} \quad \text{für die Frequenz gilt:}$$

Erläutern Sie damit, dass mit diesem Zyklotron Teilchen nicht auf relativistische Geschwindigkeiten beschleunigt werden können.

Im Folgenden soll ein "low-cost-Zyklotron" für Protonen betrachtet werden, das mit der Haushaltwechselspannung (Frequenz: 50,0 Hz) betrieben wird. Die Energiezufuhr findet dabei für ein Proton immer dann statt, wenn die Spannung ihren Scheitelwert 325 V annimmt.

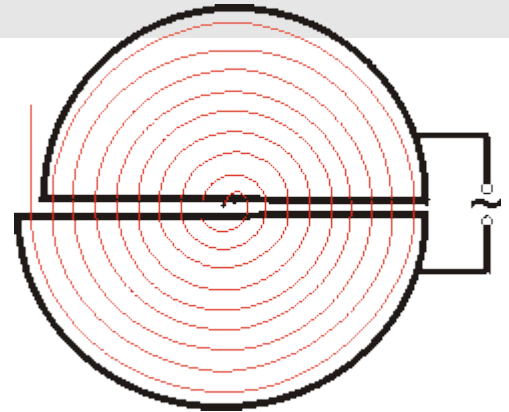
b) Welchen Zuwachs an kinetischer Energie erhalten die Protonen bei einem Umlauf?

c) Berechnen Sie die magnetische Flussdichte B , mit der dieses Zyklotron betrieben werden muss. [Zur Kontrolle: $B = 3,28 \text{ mT}$]

d) Wie lange dauert es, bis dieses Zyklotron ein anfangs ruhendes Proton auf 1,0% der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt hat?

Berechnen Sie den Radius r der Kreisbahn, die auf 1,0% der Lichtgeschwindigkeit beschleunigte Protonen durchlaufen.

e) Halten Sie ein solches "low-cost-Zyklotron" für realisierbar? Begründen Sie Ihre Antwort.



Hypothetischer Protonenbeschleuniger

13. Aufgabe:

In der Quelle Q werden ruhende Protonen mit Hilfe der Spannung U_0 auf die Geschwindigkeit $v_0 = 1,4 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ beschleunigt.

Anschließend treten sie bei A in den Protonenbeschleuniger ein. Dort werden sie durch ein homogenes Magnetfeld der Stärke $B = 5,0 \text{ mT}$ auf die abgebildete Bahn gezwungen. Dabei sind die beiden Strecken $[AB]$ und $[CD]$ magnetfeldfrei. Auf diesen beiden Strecken werden sie durch die Spannungen U_{AB} bzw. U_{CD} so beschleunigt, dass sich ihre Geschwindigkeiten jeweils verdoppeln.

Die Bahnabschnitte BC und DA werden als Kreisbogen mit den Radien r bzw. R angesehen. Relativistische Effekte sollen bei den Berechnungen unberücksichtigt bleiben.

a) Bestimmen Sie die Beschleunigungsspannung U_0 .

Zunächst soll die Bewegung der Protonen im ersten Umlauf betrachtet werden.

b) Ermitteln Sie die Spannung U_{AB} , den Radius r und die Zeit, die ein Proton für den Kreisabschnitt BC benötigt. Wie ist das Magnetfeld orientiert?

c) Zeigen Sie, dass $R = 2 \cdot r$ gelten muss, damit sich die Protonen auf der vorgegebenen Bahn bewegen. Nach jeweils einem Umlauf der Protonen muss die magnetische Flussdichte B des Magnetfeldes nachreguliert werden, damit sich die Protonen weiter auf der Sollbahn bewegen.

d) Ermitteln Sie den Faktor, um den die magnetische Flussdichte B von Umlauf zu Umlauf verändert werden muss.

Abschließend soll diskutiert werden, ob dieser Beschleuniger realisierbar ist. Dazu wird der vierte Umlauf betrachtet.

e) Ermitteln Sie die Geschwindigkeiten der Protonen in den Punkten C und D . Berechnen Sie die dafür notwendige Beschleunigungsspannung U_{CD} . Interpretieren Sie diese Ergebnisse im Hinblick auf die Realisierbarkeit dieses Beschleunigers.

