

**Allgemeine Hinweise:**

- Kommentieren Sie Ihre Lösungen! (Erläuterungen, Begründungen, Folgerungen)
- Rechnen Sie in SI-Einheiten (kg, m, s etc.)!
- Überprüfen Sie die physikalischen Einheiten in Ihren Rechenschritten und Lösungen! (Vor allem bei längeren Rechenwegen!)
- Wenn Sie einen Graphen mit dem GTR anfertigen, skizzieren Sie ihn bitte in der Klausur!

**Erlaubte Hilfsmittel:** Taschenrechner, Formelsammlung, Schreibutensilien

**Magnetfelder und Lorentzkraft**

- Ein Elektronenstrahl tritt mit einer Geschwindigkeit von  $v_0 = 1,96 \cdot 10^6 \text{ m/s}$  senkrecht zu den Feldlinien in ein homogenes Magnetfeld mit der magnetischen Flussdichte  $B = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ T}$  ein.
  - Erklären Sie, warum sich der Elektronenstrahl auf einer Kreisbahn weiterbewegt.
  - Berechnen Sie den Radius der Kreisbahn.
  - Beschreiben Sie mit Hilfe der in b) hergeleiteten Gleichung, wie sich der Radius ändern würde, wenn an Stelle der Elektronen Protonen in das Magnetfeld fliegen?
- Zwei geradlinige lange Leiter verlaufen in einem Abstand von 10 cm parallel zueinander. Sie werden in gleicher Richtung von den Strömen  $I_1 = 15 \text{ A}$  und  $I_2 = 25 \text{ A}$  durchflossen. Berechnen Sie die magnetische Feldstärke in einem Punkt in der von den Leitern aufgespannten Ebene, der
  - von beiden Leitern gleich weit entfernt ist;
  - 2 cm von Leiter 1 und 8 cm von Leiter 2 entfernt ist;
  - 2 cm von Leiter 1 und 12 cm von Leiter 2 entfernt ist.
  - In welchem Punkt ist die magnetische Feldstärke Null?
- In einem Demonstrationsversuch zum Wien-Filter werden Elektronen in einer Röhre mit  $U_a = 1500 \text{ V}$  beschleunigt. Am Kondensator des Geschwindigkeitsfilters (Plattenabstand  $d = 5 \text{ cm}$ ) liegt die Spannung  $U_c = 10,1 \text{ kV}$ .
  - Erklären Sie die Wirkungsweise des Wien-Filters.
  - Ermitteln Sie die magnetische Feldstärke, die die Elektronen unabgelenkt passieren lässt.

**Das Zyklotron** Zur Erforschung von Elementarteilchen und auch zum Einsatz in Medizin und Technik benötigt man Teilchen, die hohe Energie besitzen. Diese hohen Energien erreicht man in sogenannten Beschleunigern. Eine spezielle Ausführung eines Beschleunigers ist das Zyklotron.

Die prinzipielle Funktionsweise des Zyklotrons kann man den beiden folgenden Abbildungen 1a und 1b entnehmen. Die gesamte Anordnung befindet sich im Vakuum. Sie besteht hauptsächlich aus zwei innen hohlen D-förmigen Elektroden  $D_1$  und  $D_2$ , deren Form man sich wie eine in zwei Teile geschnittene flache Dose vorstellen kann. An diese Elektroden, die so genannten Duanten, wird eine Spannung  $U$  angelegt, die ein elektrisches Feld erzeugt, das nur im Spalt zwischen den Duanten, nicht aber im Inneren der hohlen Duanten vorhanden ist. Die Breite des Spaltes zwischen den Duanten ist klein gegen ihren Durchmesser. Im Punkt Q befindet sich eine Protonenquelle, die Protonen mit der Anfangsgeschwindigkeit  $v = 0 \text{ m/s}$  liefert. Zur Vereinfachung wird angenommen, dass das homogene Magnetfeld nur im Inneren der Duanten, nicht aber im Bereich des Spaltes zwischen ihnen wirkt. Vom Einfluss der Schwerkraft soll abgesehen werden.

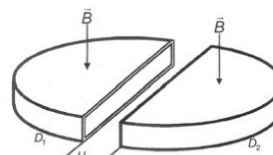


Abbildung 1a

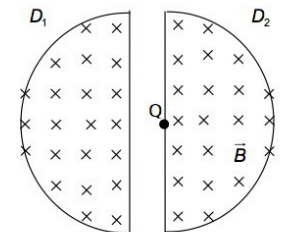


Abbildung 1b: Ansicht von oben (Draufsicht)

- Zunächst sei an die Duanten eine Gleichspannung derart angelegt, dass der linke Duant  $D_1$  negativ geladen ist. Bei einer bestimmten Stärke des Magnetfeldes  $B$  ergibt sich die in Abbildung 2 dargestellte Bahnkurve eines Protons.
  - Geben Sie begründet die verschiedenen Bewegungsformen des Protons bis zum Erreichen des Punktes  $P_3$  an.
  - Skizzieren Sie in Abbildung 2 die weitere Bahnkurve des Protons, nachdem dieses den Punkt  $P_3$  erreicht hat, und begründen Sie sie.
- Nun wird die zwischen den Elektroden anliegende Spannung umgepolt, sobald sich das Proton zum ersten Mal im Inneren des Duanten  $D_1$  befindet.
  - Erläutern und begründen Sie unter diesen Bedingungen die Bewegung eines Protons beginnend bei der Protonenquelle.
  - Skizzieren Sie seine Bahn (in Abbildung 2 gestrichelt) bis zum erstmaligen Austritt aus dem Duanten  $D_2$ .

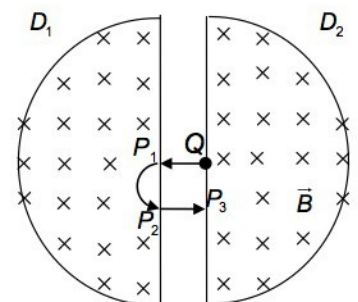
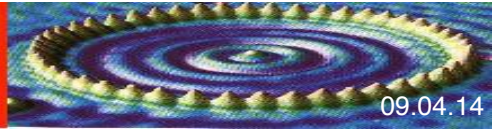
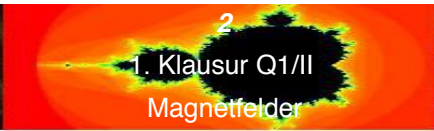


Abbildung 2



2.3. Die Aufenthaltsdauer eines Protons in einem Duanten kann mit folgender Beziehung berechnet werden:

$$t_D = \frac{\pi \cdot m_p}{q \cdot B} \quad \text{mit } m_p = \text{Masse des Protons}, q = \text{Ladung des Protons}, B = \text{magn. Feldstärke}$$

- Leiten Sie diese Beziehung begründet her.
  - Begründen Sie, warum die Aufenthaltsdauer nicht vom Radius abhängt und daher der Radius nicht in der angegebenen Beziehung vorkommt.
- 2.4. Die Geschwindigkeit des Protons soll jetzt schrittweise erhöht werden. Dazu wird an die Duanten eine Wechselspannung mit einer konstanten Frequenz angelegt.
- Begründen Sie anhand der oben angegebenen Beziehung für die Aufenthaltsdauer  $t_D$ , dass durch Anlegen einer Wechselspannung mit einer konstanten Frequenz eine schrittweise Erhöhung der Geschwindigkeit möglich ist. (Hinweis: Da die Breite des Spalts zwischen den Duanten klein gegen ihren Durchmesser ist, kann die Beschleunigungszeit im Spalt dabei vernachlässigt werden.)
  - Berechnen Sie begründet – unter Einbeziehung der Einheitenumformung – die Frequenz  $f$  der Wechselspannung, wenn die Stärke  $B$  des Magnetfeldes 1,5 T beträgt.

Konstanten & Einheiten siehe Formelsammlung

Viel Spaß und Erfolg!



"He swallowed the refrigerator magnets."