

- 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!)
- Lesen Sie die Aufgaben zunächst alle einmal und beginnen Sie dann mit der für Sie einfachsten Aufgabe!

Erlaubte Hilfsmittel: Taschenrechner, Formelsammlung, Schreibutensilien

Aufgabe 1: 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.

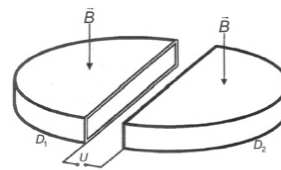


Abbildung 1a

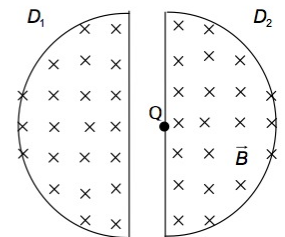


Abbildung 1b: Ansicht von oben (Draufsicht)

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.

1.1. 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.

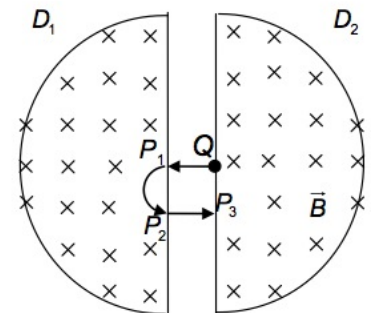


Abbildung 2

- 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.

1.2. 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 .

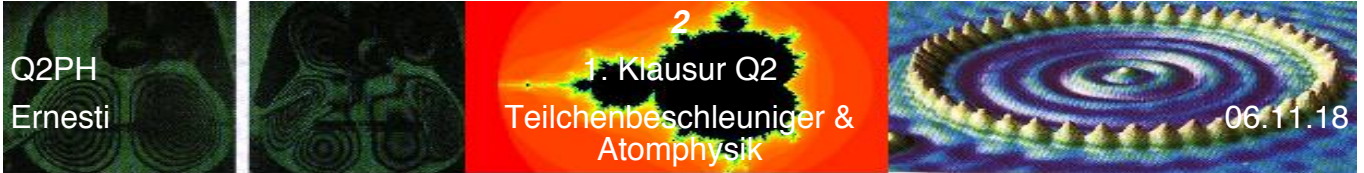
1.3. Die Aufenthaltsdauer eines Protons in einem Duanten kann mit folgender Beziehung berechnet werden:

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

- 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.

1.4. 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 Spaltes zwischen den Duanten klein gegen ihren Durchmesser ist, kann die Beschleunigungszeit im Spalt dabei vernachlässigt werden.)



- b) Berechnen Sie begründet – unter Einbeziehung der Einheitenumformung – die Frequenz f der Wechsellspannung, wenn die Stärke B des Magnetfeldes 1,5 T beträgt.

Aufgabe 2: Bohrsches Atommodell Das 1913 von Niels Bohr entwickelte Atommodell zählt zu den sog. „alten Quantentheorien“. Es gibt zwar inzwischen als überholt, jedoch lassen sich mit seiner Hilfe einige Berechnungen zum Wasserstoffatom und zu wasserstoffähnlichen Ionen (solche mit Z Protonen und einem Elektron) durchführen.

Atomares Wasserstoffgas in einer Glaskapillare wird durch Stöße von Elektronen mit der kinetischen Energie 13,1 eV angeregt.

- 2.1. Erklären Sie zunächst allgemein, was man unter „Anregung eines Atoms“ versteht, und führen Sie dann aus, welche anschauliche Vorstellung man sich im Rahmen des Bohrschen Atommodells für das Wasserstoffatom von diesem Vorgang macht.
- 2.2. Berechnen Sie für das Wasserstoffatom die Energiewerte für die fünf niedrigsten Anregungszustände bezogen auf das Nullniveau bei $n=1$ in den Einheiten eV und J und tragen Sie sie in eine Tabelle ein. Geben Sie an, welche Anregungszustände durch diese Stöße aus dem Grundzustand erreichbar sind.

Die Anregung des Gases ruft die Emission elektromagnetischer Strahlung hervor. Die Linien des Wasserstoffspektrums gruppieren sich dabei zu so genannten Serien.

- 2.3. Erklären Sie auf der Grundlage des Atommodells von Bohr die Entstehung der Linien der Balmer-Serie im Wasserstoffspektrum.
- 2.4. Ermitteln Sie die Anzahl der Linien aus der Balmer-Serie im eingangs beschriebenen Versuch. Berechnen Sie die kürzeste in diesem Versuch auftretende Wellenlänge der Balmer-Serie.
- 2.5. Neben der Balmer-Serie kennt man im Wasserstoffspektrum noch die Lyman-Serie, deren erste drei Wellenlängen 121,6 nm, 102,5 nm und 97,2 nm lauten. Erklären Sie das Zustandekommen dieser Spektrallinien im Rahmen des Bohrschen Atommodells und bestätigen Sie die Wellenlängen durch Rechnungen.
- 2.6. Können Sie die ersten drei Wellenlängen der Paschen-Serie berechnen? Man findet sie im infraroten Bereich des Spektrums direkt neben der Balmer-Serie.

Konstanten und Einheiten

- siehe Formelsammlung
- Viel Spaß und Erfolg!