

Maturitätsprüfungen 2024 – Physik schriftlich

Klassen: 4Ae und 4AW (A Teil)

Autor: Dr. Claus Wunderlich

Prüfungsdauer: 4 Stunden

Erlaubte Hilfsmittel: Taschenrechner TI 30 X Pro oder einfacheres Modell, DPK
Formelsammlung

Lösungen Beginnen Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt. Der Weg zum Resultat muss nachvollziehbar sein. In allen numerischen Daten und Resultaten sind die korrekten Einheiten mit anzugeben und sinnvoll zu runden. Endresultate bitte doppelt unterstreichen.

Bewertung Die maximale Punktzahl beträgt 72 Punkte. Die ungerundete Note 6 gibt es bei 66 Punkten, wobei auf halbe Noten gerundet und keine Note über 6 gesetzt wird.

| | Aufgabe 1 | Aufgabe 2 | Aufgabe 3 | Aufgabe 4 | Aufgabe 5 | Total |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| mögliche Punktzahl | 15 | 19 | 17 | 10 | 11 | 72 |
| erreichte Punktzahl | | | | | | |

Note:

Name:

Aufgabe 2: Das Zyklotron (Punkte gesamt: 19)

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 so genannten Beschleunigern. Eine spezielle Ausführung eines Beschleunigers ist das Zyklotron.

Die prinzipielle Funktionsweise des Zyklotrons kann man den beiden folgenden Abbildungen 2.1a und 2.1b entnehmen.

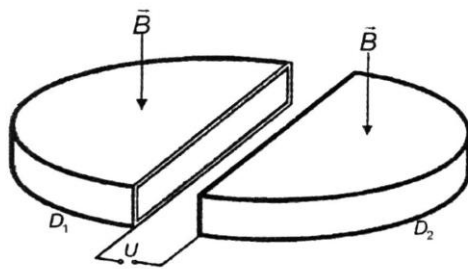


Abbildung 2.1a Zyklotron

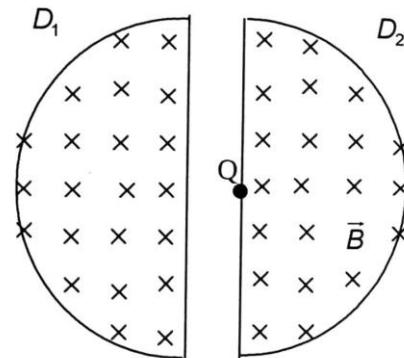


Abbildung 2.1b: Ansicht von oben

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 sogenannten 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 Spalts ist klein gegen ihren Durchmesser.

Im Punkt Q befindet sich eine Protonenquelle. Zur Vereinfachung wird angenommen, dass das homogene Magnetfeld nur im Inneren der Duanten, nicht aber im Bereich des Spalts zwischen ihnen wirkt.

Vom Einfluss der Schwerkraft soll abgesehen werden.

Zunächst sei an den Duanten eine **Gleichspannung** angelegt, dass der linke Duant D_1 negativ geladen ist. Bei einer bestimmten Stärke des Magnetfeldes ergibt sich die in Abbildung 2.2 dargestellte Bahnkurve eines Protons.

Die von der Protonenquelle emittierten Protonen haben eine Anfangsgeschwindigkeit $v = 0$ m/s.

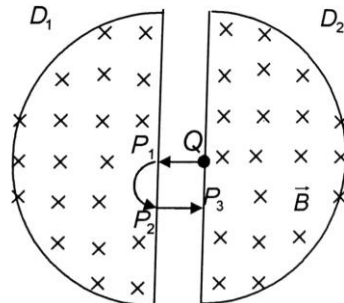


Abbildung 2.2: Zyklotron von oben mit Magnetfeld

- a1) Begründen Sie die verschiedenen Bewegungsformen des Protons bis es den Punkt P_3 erreicht. (1.5P)
- a2) Skizzieren Sie in Abbildung 2.2 die weitere Bahnkurve des Protons, nachdem es den Punkt P_3 erreicht hat. Begründen Sie. (1.5P)

Nun wird die zwischen den Elektroden anliegende Spannung umgepolt, sobald sich das Proton zum ersten Mal im Inneren des Duanten D_1 befindet.

- b1) Erläutern und begründen Sie unter diesen Bedingungen die Bewegung eines Protons beginnend bei der Protonenquelle. (1P)
- b2) Skizzieren Sie seine Bahn in Abbildung 2.2 (gestrichelt oder in einer anderen Farbe als in a2) bis zum erstmaligen Austritt aus dem Duanten D_2 . (1P)

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

$$t = \frac{\pi \cdot m_p}{q \cdot B}$$

Dabei sind: m_p : Masse des Protons
 q : Ladung des Protons
 B : Betrag der magnetischen Feldstärke

- c1) Leiten Sie oben angegebene Beziehung für die Aufenthaltsdauer eines Protons in einem Duanten mathematisch her. (3P)
- c2) In der unter c1 hergeleiteten Formel kommt der Radius r nicht vor. Begründen Sie, warum r nicht vorkommt und somit die Aufenthaltsdauer nicht vom Radius abhängt. (1P)

Die Geschwindigkeit des Protons soll jetzt schrittweise erhöht werden. Dazu wird an die Duanten eine Wechselspannung mit einer konstanten Frequenz angelegt.

- d1) Berechnen Sie mit Hilfe der angegebenen Beziehung für die Aufenthaltsdauer t die konstante Frequenz der Wechselspannung, durch die eine schrittweise Erhöhung der Geschwindigkeit möglich ist, wenn die Stärke des Magnetfeldes $B = 1.5 \text{ T}$ beträgt. (2P).

Hinweis: Die Beschleunigungszeit im Spalt darf vernachlässigt werden, da die Breite des Spalts gegen den Durchmesser der Duanten sehr klein ist.

- d2) Führen Sie eine Einheitenbetrachtung durch, indem Sie durch die Verwendung von SI-Einheiten zeigen, dass sich für die Frequenz die Einheit Hz ergibt. (2P)

Bei den folgenden Berechnungen soll angenommen werden, dass zur Erzielung einer optimalen Beschleunigung die Protonen den Spalt jeweils dann durchlaufen, wenn die angelegte Wechselspannung ihren Maximalwert hat.

Der Scheitelwert der Wechselspannung sei $U_{\max} = 2 \cdot 10^4 \text{ V}$.

Da die zum Durchlaufen des Spalts benötigte Zeit im Vergleich zur Umlaufzeit sehr kurz ist, soll zur Vereinfachung der folgenden Berechnungen die angelegte Spannung während dieser Zeit konstant den Wert U_{\max} haben. Die Stärke des Magnetfeldes sei $B = 1.5 \text{ T}$.

- e1) Ermitteln Sie rechnerisch die erreichbare Energie eines Protons nach 100 Umläufen. (1P)
- e2) Berechnen Sie klassisch die nach 100 Umläufen erreichte Geschwindigkeit des Protons. (2P)
- e3) Berechnen Sie den Durchmesser, den das Zyklotron in diesem Fall mindestens haben muss. (2P)

Wenn die Protonen sehr hohe Geschwindigkeiten erreichen, muss man relativistische Effekte berücksichtigen. Diese führen dazu, dass Teilchen mit einem Zyklotron obiger Bauart nur auf eine bestimmte maximale Energie beschleunigt werden können, weil sie, wie man sagt, «aus dem Takt» geraten.

- f) Zeigen Sie mit Hilfe einer geeigneten Rechnung, dass die relativistischen Effekte bei Geschwindigkeiten, wie sie in e2 berechnet wurden, vernachlässigt werden können. Geben Sie den Fehler auch als prozentuale Abweichung an. (2P)

Aufgabe 3: Franck-Hertz-Versuch

(Punkte gesamt: 17)

Der Franck-Hertz-Versuch liefert wichtige Erkenntnisse über den Aufbau von Atomen.

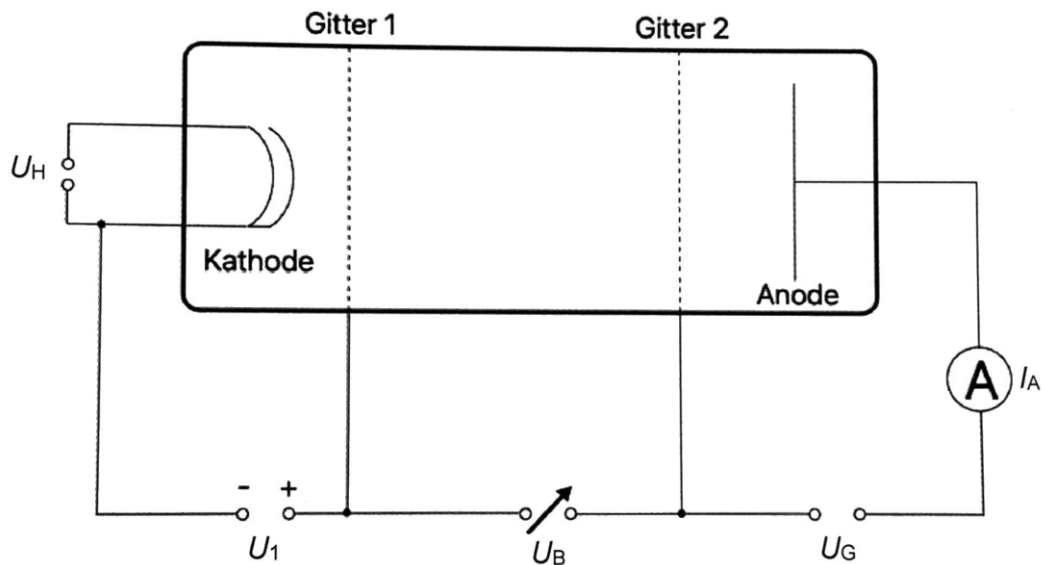


Abbildung 3.1: Schematischer Aufbau des Franck-Hertz-Versuchs mit Neongas

- a) Beschreiben Sie den Aufbau des Franck-Hertz-Versuchs und erläutern Sie die Funktion der Bauelemente anhand Abbildung 3.1 und die Bedeutung der Größen U_B , U_G und I_A . Geben Sie für die übliche Durchführung des Franck-Hertz-Versuchs die Polung der Spannungen U_B und U_G an. (3P)

Bei der Durchführung des Franck-Hertz-Versuchs mit Neon wird die Abhängigkeit der Anodenstromstärke I_A in Abhängigkeit von der Spannung U_B gemessen.

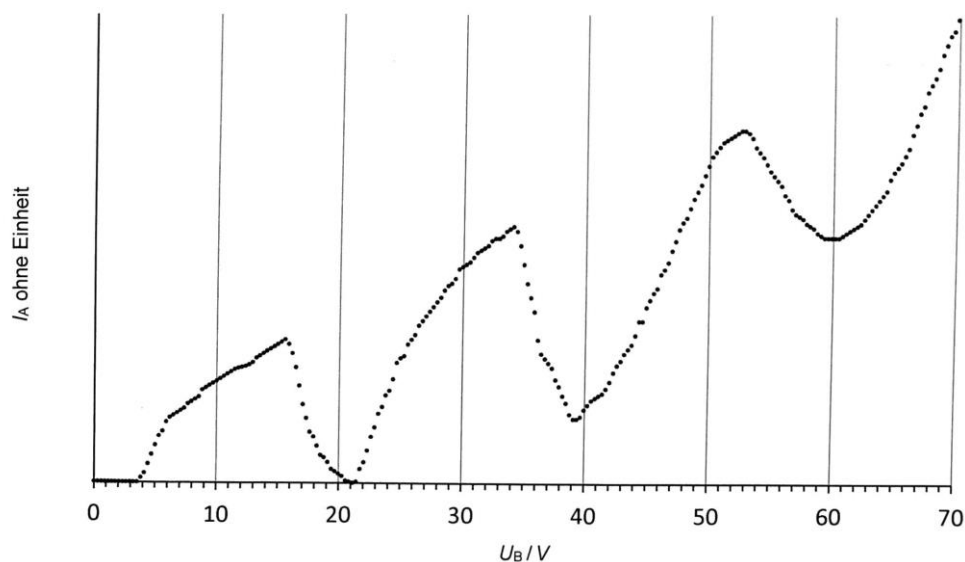


Abbildung 3.2: U_B - I_A Diagramm des Franck-Hertz-Versuchs mit Neon. Dabei ist $U_1=3V$ und $U_G=6.5V$ (s. Abbildung 3.1)

- b) Begründen Sie, weshalb ein Anodenstrom grösser Null nur dann gemessen werden kann, wenn die Spannung U_B grösser als 3.5 V ist. (1P)
- c) Erläutern Sie den Verlauf des Diagramms in Abbildung 3.2 und gehen Sie dabei insbesondere auf das jeweilige Absinken der Stromstärke I_A ein. (4P).
- d) Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen dem Energieniveauschema von Neon in Abbildung 3.3 und dem Diagramm des Frank-Hertz-Versuchs in Abbildung 3.2. (1P)

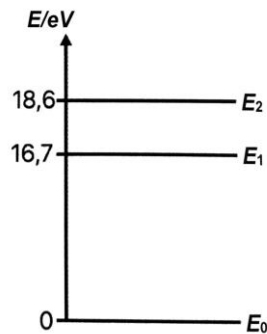


Abbildung 3.3: Energieniveauschema von Neon, vereinfacht

- e) Bestimmen Sie rechnerisch, welcher der drei möglichen Übergänge im vereinfachten Energieniveauschema von Neon in Abbildung 3 zur roten Lichtemission führt und welchem Spektralbereich die anderen beiden Übergänge zuzuordnen sind (3P)

Neon Atome können auch in einer Gasentladungsröhre zum Leuchten angeregt werden. Betrachtet man das rote Leuchten durch ein optisches Gitter, so können auf dem dahinterliegenden Schirm rote Linien beobachtet werden. Schaut man in gerader Linie durch das Gitter, so sieht man das sogenannte Hauptmaximum. Rechts und links neben dieser Linie befinden sich die Nebenmaxima 1. Ordnung. Der Abstand zwischen den beiden Nebenmaxima 1. Ordnung betrage 46 cm. Das optische Gitter hat folgende Aufschrift: 300 Linien pro mm.

- f) Fertigen Sie eine beschriftete Skizze des Versuchsaufbaus an und leiten Sie aus der Zeichnung einen exakten mathematischen Zusammenhang her, mit dessen Hilfe Sie die Entfernung des Gitters zum Schirm berechnen können. Berechnen Sie anschliessend die Entfernung vom Gitter zum Schirm. (4P)
- g) Bis zu welcher Ordnung können Nebenmaxima maximal beobachtet werden? (1P)

Aufgabe 4: Nuklearmedizin (Punkte gesamt: 10)

In der Nuklearmedizin werden radioaktive Elemente zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken genutzt. Bei diagnostischen Anwendungen kommt dabei häufig das angeregte Technetium-99 ($Tc-99^*$) zum Einsatz. $Tc-99^*$ ist ein Folgeprodukt (Tochterkern) des radioaktiven Isotops Molybdän-99 ($Mo-99$). Das Molybdän-99 wiederum wird durch Kernspaltung von Uran-235 erzeugt.

- a) Stellen Sie die zur Kernspaltung gehörige Zerfallsgleichung zur Bildung von $Mo-99$ auf. Wir gehen dabei **nicht** von einer spontanen Kernspaltung von $U-235$ aus. (2P)

Das angeregte Technetium-99* geht unter Energieabgabe in den Grundzustand über. $Tc-99$ ist ein β^- -Strahler.

- b) Schreiben Sie die 2 Zerfallsgleichungen auf, die den Zerfall von $Mo-99$ über $Tc-99^*$ in $Tc-99$ darstellen. Geben Sie zuerst die Art des Zerfalls an. (2P)
- c) $Tc-99$ ist nicht stabil und zerfällt mit einer Halbwertszeit $T_{1/2} = 2.11 \cdot 10^5$ a weiter. Schreiben Sie die Zerfallsgleichung von $Tc-99$ auf. (1P)

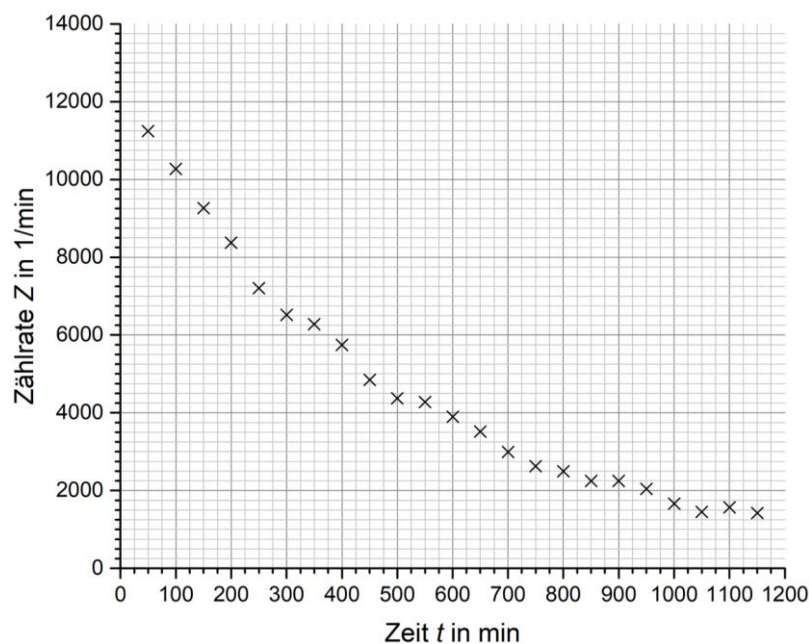


Abbildung 4.1: Zählraten von $Tc-99^*$ in Abhängigkeit von der Zeit

- d) Ermitteln Sie anhand der obigen Abbildung 4.1 möglichst genau die Halbwertszeit $T_{1/2}$ für $Tc-99^*$ und dokumentieren Sie Ihr Vorgehen. (1P)
- e) Das in den Körper injizierte $Tc-99^*$ gilt als «abgebaut», wenn seine Aktivität auf 5 Prozent der ursprünglichen Aktivität gefallen ist. Berechnen Sie die Zeit t , nach der die Aktivität des Präparats im Körper auf 5 Prozent gesunken ist. (3P)
- f) Begründen Sie, dass der Zerfallsprozess von $Mo-99$ in $Ru-99$ rein mathematisch/rechnerisch vereinfacht als Zerfallsprozess von $Tc-99$ in $Ru-99$ betrachtet werden darf. (1P)

Aufgabe 5 Abrissbirne (Punkte gesamt: 10)

Zum Beseitigen baufälliger Mauern werden oft sogenannte Abrissbirnen verwendet. Das sind kleine, massereiche Körper, die an einem Stahlseil hängen. Sie werden ausgelenkt und schlagen nach dem Freigeben gegen die zu zerstörende Mauer.

Eine solche Abrissbirne mit der Masse 520 kg hängt an einem 6.80 m langen Seil mit vernachlässigbarer Masse. Das Seil wird um $\alpha = 38.5^\circ$ ausgelenkt. Aus diesem Zustand heraus wird die Birne freigegeben und stößt beim Durchlaufen ihrer tiefsten Lage gegen einen Stein der Masse 18.4 kg. Der Stein liegt lose auf einer 6.85 m hohen Mauer. Der Stoß darf als elastisch, gerade und zentral aufgefasst werden. Auch die Reibung darf vernachlässigt werden.

- a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit der Abrissbirne in ihrer tiefsten Lage. (2P)
- b) Leiten Sie die allgemeine Formel für die Geschwindigkeit der Abrissbirne unmittelbar nach dem Stoß mathematisch her. (2P)
- c) Berechnen Sie die Geschwindigkeiten von Abrissbirne und Stein unmittelbar nach dem Stoß. Konnten Sie a) nicht lösen, gehen Sie von $v = 7 \text{ m/s}$ aus. (1P)
- d) Berechnen Sie den größten Auslenkwinkel, den die Birne nach dem Stoß erreichen kann. Konnten Sie b) nicht lösen, gehen Sie von $v_{B,n} = 4.5 \text{ m/s}$ aus. (2P)
- e) In welcher Entfernung von der Mauer und nach welcher Flugdauer trifft der Stein am waagerechten Erdboden auf? (2P)
- f) Berechnen Sie den Winkel zwischen der Bahn des Steines und dem Erdboden beim Auftreffen. (2P)