

Teilaufgabe 1:**Helium-Ionen**

In einer Gasflasche mit einem Fassungsvermögen von 1,0 l befindet sich Helium bei 27°C unter einem Druck von 3,0 bar. Der He⁺ Anteil betrage 0,5%.

- a) Berechnen Sie die Energieniveaus von He⁺ bis zum zweiten angeregten Niveau und geben Sie außerdem den Grad der Entartung jedes Niveaus an. Erläutern Sie den Begriff „Energieentartung“!
(6 Punkte)
- b) Schätzen Sie mit Hilfe der Heisenbergschen Unschärferelation die mittlere Lebensdauer des ersten angeregten Zustands ab, wenn beim Übergang in den Grundzustand die zugehörige Spektrallinie eine natürliche Linienbreite von $4,0 \cdot 10^7$ Hz besitzt!
(4 Punkte)
- c) Betrachten Sie nun das He-Gas bei einer Temperatur von $T=27^\circ\text{C}$. Ermitteln Sie hierfür die Linienbreite (in Hz) bei einem Übergang vom ersten angeregten in den Grundzustand, wenn diese allein durch den Dopplereffekt bedingt ist. Benutzen Sie dafür die wahrscheinlichste Geschwindigkeit bei einer Temperatur des Systems von 27°C!
(5 Punkte)
- d) Begründen Sie qualitativ, weshalb He kein kovalent gebundenes Molekül He₂ ausbildet, während Wasserstoff ein zweiatomiges Molekül bildet!
(5 Punkte)

Fortsetzung nächste Seite!

Teilaufgabe 2:**Betazerfall des freien Neutrons**

In einer Nebelkammer werden beim Betazerfall eines **freien ruhenden Neutrons**, das sich in einem **homogenen Magnetfeld** mit der magnetischen Flussdichte $B=0,050$ T befindet, die Kreisbahnen des entstehenden Protons und Elektrons beobachtet. Die Kreisbahnen liegen senkrecht zu den Magnetfeldlinien. Für den Bahnradius des Protons misst man $r_p=65$ mm und für den Bahnradius des Elektrons $r_e=33$ mm. Nehmen Sie für die folgenden Rechnungen vereinfachend an, dass die **Ruhemasse des Antineutrinos vernachlässigt** werden kann.

- a) Die Zerfallskonstante eines freien Neutrons beträgt $\lambda = 1,122 \cdot 10^{-3}$ 1/s. Berechnen Sie die Halbwertszeit freier Neutronen! (2 Punkte)
- b) Berechnen Sie den Impuls und die kinetische Energie (in eV) des Protons und des Elektrons! Rechnen Sie dabei für das Proton klassisch und für das Elektron relativistisch!
Hinweis: Die Lorentzkraft liefert für den Impuls eines Teilchens mit der Elementarladung e und einem Bahnradius r in einem Magnetfeld der magnetischen Flussdichte B die klassisch und relativistisch gültige Beziehung: $p = eBr$.
(Ersatzlösung für kinetische Energie des Protons = 400 eV und für kinetische Energie des Elektrons = 180 keV). (5 Punkte)
- c) Berechnen Sie aus dem Massendefekt der Reaktion die gesamte kinetische Energie (in eV), die Proton, Elektron und Antineutrino zusammen besitzen.
(Ersatzlösung: 700 keV) (3 Punkte)
- d) Berechnen Sie die Gesamtenergie des Antineutrinos in der Einheit Elektronenvolt! (4 Punkte)
- e) Berechnen Sie den Impuls des Antineutrinos! (2 Punkte)
- f) Begründen Sie, warum ein freies Proton NICHT gemäß
$$p \rightarrow n + e^+ + \nu$$
zerfallen kann! (4 Punkte)

Fortsetzung nächste Seite!

Teilaufgabe 3:

Bohrsches Atommodell für wasserstoffartige Ionen

(20 Punkte)

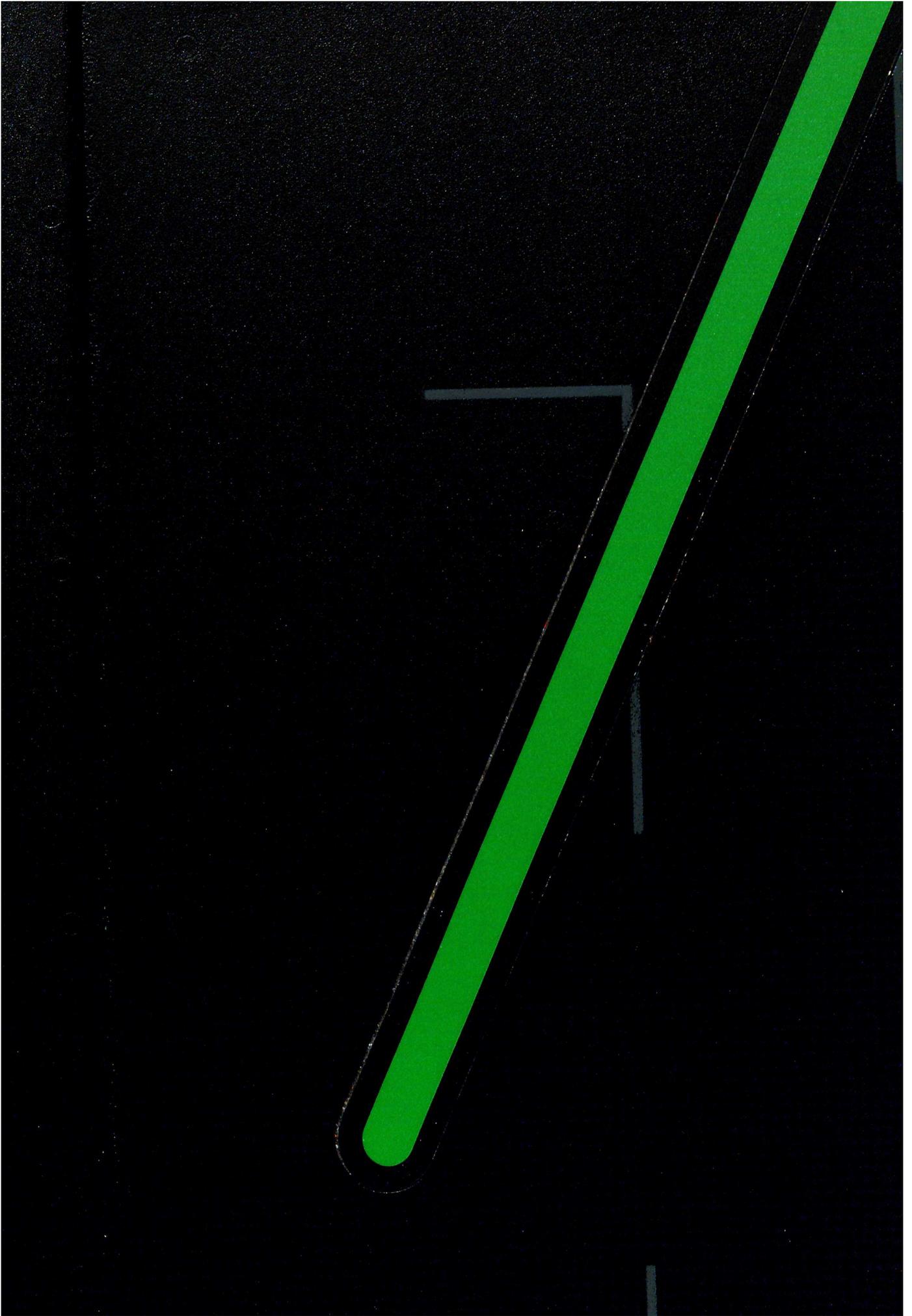
- a) Leiten Sie aus den Bohrschen Postulaten die folgenden bekannten Formeln für die Radien und Energien des Elektrons her, das um den Kern eines Atoms der Ladungszahl Z kreist:

$$r_n = \frac{n^2}{Z} a_0 \text{ und } E_n = -hcRy \frac{Z^2}{n^2},$$

mit a_0 dem Bohr'schen Radius und Ry der Rydberg-Konstanten. (5 Punkte)

- b) An einem nackten Bleikern ${}_{82}^{208}\text{Pb}$ wird ein negativ geladenes Pion gebunden ($m_\pi = 140\text{MeV}/c^2$). Berechnen Sie den Bohrschen Radius dieses Systems und vergleichen Sie ihn mit dem Radius des Bleikerns. Schätzen Sie hierfür den Kernradius durch den Ausdruck $r_A = 1.25 \cdot \sqrt[3]{A}$ fm ab, wobei A die atomare Massenzahl ist. Welche weitere Wechselwirkung kann bei diesen Abständen wichtig werden? (5 Punkte)
- c) Bestimmen Sie die Bindungsenergie des Pions an den Pb-Kern und berechnen Sie die Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung, mit der das Pion in den ersten angeregten Zustand gebracht werden kann. Vernachlässigen Sie hierbei die weiteren Wechselwirkungen, nach denen in b) gefragt wird! (4 Punkte)
- d) Berechnen Sie die Temperatur, die atomares Wasserstoffgas besitzen müsste, damit die mittlere thermische Energie pro Wasserstoffatom der Anregungsenergie zwischen dem Grundzustand und dem ersten angeregten Zustand entspricht! (3 Punkte)
- e) Absorptions-Balmerlinien (Übergänge von $n=2$) können bei Zimmertemperatur nicht beobachtet werden! Warum ist das so? Unter welchen Umständen gelingt dies doch? (3 Punkte)

Fortsetzung nächste Seite!



Teilaufgabe 4:**Struktur von Aluminium**

Aluminium kristallisiert in einer kubisch flächenzentrierten Kristallstruktur mit einem kubischen Gitterparameter a_0 .

- a) Skizzieren Sie die kubische Einheitszelle von Al und geben Sie an, wie viele Atome es in dieser Einheitszelle gibt!
Geben Sie einen Ausdruck für die Atomdichte in Aluminium an und berechnen Sie hiermit und aus der Massendichte ($\rho_{Al} = 2,7 \text{ g/cm}^3$) den Gitterparameter a_0 . (Ersatzlösung: $a_0 = 0,4 \text{ nm}$). (8 Punkte)
- b) Im sogenannten Debye-Scherrer Verfahren wird ein Pulver aus Aluminium mit monochromatischem Röntgenlicht bestrahlt. Skizzieren und erläutern Sie das Diffraktogramm, welches auf einem Röntgenfilm hinter der Probe aufgenommen wird. Leiten Sie anhand einer Skizze der Netzebenen des Kristalls die Bedingung für den Beugungswinkel 2Θ her, um den das eintretende Röntgenlicht abgelenkt wird! (4 Punkte)
- c) Berechnen Sie die Wellenlänge $\lambda_{\text{Röntgen}}$, für die dieser Ablenkungswinkel für den (200)-Reflex des kubischen Gitters $2\Theta = 60^\circ$ beträgt. (Ersatzlösung: $\lambda_{\text{Röntgen}} = 0,2 \text{ nm}$). (2 Punkte)
- d) Im fcc-Gitter werden (100)-Reflexe im Gegensatz zu (200)-Reflexen nicht beobachtet. Begründen Sie diesen Befund! Hinweis: Sie können in den Skizzen aus a) und b) die hier relevanten reflektierenden Netzebenen betrachten! (2 Punkte)
- e) Bestimmen Sie die Energie, die Röntgenphotonen mit der in c) berechneten Wellenlänge haben! (2 Punkte)
- f) Berechnen Sie die Energie, die Neutronen haben müssen, damit sie unter dem gleichen Winkel abgelenkt werden wie Röntgenlicht der angegebenen Wellenlänge! (2 Punkte)