

Teilaufgabe 1:**Spektroskopie von Quantenniveaus**

- a) Benennen Sie zwei Experimente, mit denen sich die Quantisierung von Energieniveaus und die damit verbundenen Übergänge nachweisen lassen! (2 Punkte)

- b) In einem Experiment werden die folgenden Energieniveaus relativ zum Vakuum für drei verschiedene Quantensysteme bestimmt:

i) $E = 0,5 \text{ eV}; 1,5 \text{ eV}; 2,5 \text{ eV}; 3,5 \text{ eV}; 4,5 \text{ eV}; 5,5 \text{ eV}$

ii) $E = 2,0 \text{ eV}; 8,0 \text{ eV}; 18 \text{ eV}; 32 \text{ eV}; 50 \text{ eV}; 72 \text{ eV}; 98 \text{ eV}$

iii) $E = -10,0 \text{ eV}; -2,5 \text{ eV}; -1,1 \text{ eV}; -0,625 \text{ eV}; -0,40 \text{ eV}; -0,27 \text{ eV}; -0,20 \text{ eV}$

Skizzieren Sie schematisch die Energieniveaus der drei Quantensysteme in je einem eigenen Graphen! Ordnen Sie die folgenden drei Potentiale den Systemen (i) bis (iii) zu: Coulomb-Potenzial, Potenzial des harmonischen Oszillators beziehungsweise Kastenpotenzial. Zeichnen Sie den entsprechenden Potenzialverlauf $V(x)$ als Funktion der Ortskoordinate x ein!

(4 Punkte)

- c) Die Zustände des Wasserstoffatoms werden mittels der Hauptquantenzahl n charakterisiert. Benennen Sie weitere notwendige Quantenzahlen zur eindeutigen Beschreibung der Eigenzustände des Wasserstoffatoms! Geben Sie die Werte dieser Quantenzahlen an, die sie jeweils bei gegebener Hauptquantenzahl n annehmen können! Führen Sie für $n=3$ alle Zustände explizit auf! Berechnen Sie mit diesen Überlegungen den Entartungsgrad eines Zustands der Hauptquantenzahl n im Wasserstoffatom unter Vernachlässigung der Spin-Bahn Wechselwirkung!

(5 Punkte)

- d) Benennen Sie zwei Mechanismen, durch welche die Breiten von Emissionslinien im atomaren Wasserstoff beeinflusst werden können!

(4 Punkte)

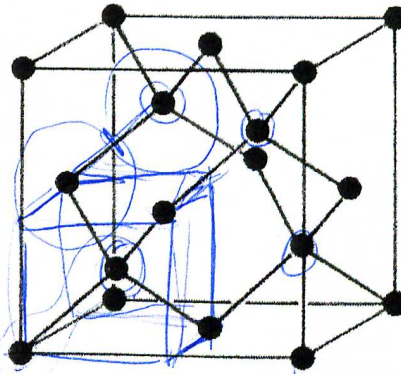
- e) Schätzen Sie den Durchmesser $d = 2r$ der Grundzustands-Wellenfunktion des Wasserstoffatoms ab! Betrachten Sie hierzu die kinetische Energie E_{kin} , die durch eine Impulsunschärfe Δp hervorgerufen wird, nähern Sie E_{kin} durch den Betrag der halben Bindungsenergie und verwenden Sie dann die Heisenbergsche Unschärferelation! Vergleichen Sie den so erhaltenen Wert für r mit der De-Broglie-Wellenlänge des gebundenen Elektrons! Erläutern Sie in einem halbklassischen Bild, wie sich die Quantisierung der Energieniveaus aus der Wellennatur des Elektrons ergibt!

(5 Punkte)

Fortsetzung nächste Seite!

Teilaufgabe 2:**Kristallstruktur und Röntgenbeugung**

Diamant hat die in der Skizze angegebene Kristallstruktur mit einer Gitterkonstante $a \approx 3.57 \text{ \AA}$.



- a) Geben Sie das zugrunde liegende Bravaisgitter mit seinen wesentlichen Eigenschaften an und benennen Sie die Koordinaten der Basis!
(3 Punkte)
- b) Berechnen Sie die Packungsdichte des Kristalls unter der Annahme, dass die Atome harte Kugeln sind!
(2 Punkte)
- c) Erläutern Sie qualitativ die Bedeutung der sog. Millerschen Indizes!
(3 Punkte)

Der Diamantkristall werde mit Röntgenstrahlung der Wellenlänge $\lambda = 0.60 \text{ \AA}$ untersucht.

- d) Nennen Sie drei Verfahren zur Kristalluntersuchung mit Röntgenstrahlung und beschreiben Sie eines davon detailliert!
(4 Punkte)
- e) Geben Sie eine Formel zur Ermittlung des Netzebenenabstands aus den Millerschen Indizes für kubische Gitter an und berechnen Sie den Netzebenenabstand der (100)-, (111)- und der (400)- Ebenen!
(3 Punkte)
- f) Berechnen Sie die Winkel der ersten zwei Reflexe der (400)- Ebenen!
(2 Punkte)
- g) Erläutern Sie mit physikalischer Begründung, warum kein Reflex an der (100)- Ebene beobachtet werden kann!
(3 Punkte)

Fortsetzung nächste Seite!

Teilaufgabe 3:**Der Treibhauseffekt**

Das Spektrum der Sonne lässt sich näherungsweise durch einen schwarzen Strahler mit einer Temperatur $T \approx 5778 \text{ K}$ beschreiben.

- a) Skizzieren Sie das Strahlungsspektrum eines schwarzen Körpers, indem Sie die spektrale Intensität $I(\lambda)$ als Funktion der Wellenlänge λ auftragen! Welche grundlegende Annahme der Quantenmechanik liegt dem Verständnis dieses Spektrums zugrunde? (3 Punkte)
- b) Bestimmen Sie die Wellenlänge, bei der sich das Maximum des Emissionsspektrums $I(\lambda)$ der Sonne befindet! (1 Punkt)
- c) Berechnen Sie die Solarkonstante, das heißt die mittlere Strahlungsintensität (Bestrahlungsstärke), die auf die oberen Schichten der Erdatmosphäre auftrifft! Nehmen Sie hierzu einen Sonnenradius von $R_S = 696342 \text{ km}$ und einen Abstand zwischen Erde und Sonne von $D_{ES} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$ an! (3 Punkte)
- d) Nennen Sie zwei Gründe, weshalb das auf der Erdoberfläche gemessene Sonnenspektrum vom Spektrum eines schwarzen Körpers abweicht! (2 Punkte)
- e) Die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche beträgt etwa 290 K . Näherungsweise kann auch die Erde als Schwarzkörperstrahler betrachtet werden. Geben Sie die Wellenlänge λ_E an, bei der die emittierte Lichtintensität maximal ist! Berechnen Sie die Frequenz ν_E , die dieser Wellenlänge entspricht! Begründen Sie, weshalb die asymmetrische Streckschwingung des Moleküls CO_2 bei einer Resonanzfrequenz von $70,5 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ von der Wärmestrahlung der Erde angeregt werden kann! (3 Punkte)
- f) Mikroskopisch kann eine Molekülschwingung näherungsweise als harmonischer Oszillator beschrieben werden! Zur Vereinfachung soll statt CO_2 das zweiatomige Molekül CO betrachtet werden, das eine Streckschwingung bei einer Frequenz von $64,3 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ aufweist. Berechnen Sie die Kraft, die beide Atome des Moleküls erfahren, wenn sie um eine Distanz von 1 pm aus ihrer Ruhelage ausgelenkt werden! (3 Punkte)
- g) Nach der Absorption eines infraroten Photons kann ein angeregtes CO_2 -Molekül umgekehrt ein Photon gleicher Energie wieder emittieren. Begründen Sie, weshalb die Folge wiederholter Absorptions- und Emissionsprozesse trotzdem zu einer effektiven Erderwärmung, dem Treibhauseffekt, führt! (3 Punkte)
- h) Treibhausgase wie CO_2 kommen in der Erdatmosphäre nur in geringer Konzentration vor. Erklären Sie, warum nicht der in viel größerer Dichte auftretende Stickstoff den Treibhauseffekt dominiert! (2 Punkte)

Teilaufgabe 4:**Kernreaktionen mit Neutronen (20 Punkte)**

Die Bestrahlung von Gewebeproben aus tierischen und menschlichen Gehirnen mit kalten Neutronen kann benutzt werden, um den Lithium-Gehalt des Gewebes zu bestimmen. Dies ist von großem medizinischen Interesse im Zusammenhang mit der Diagnose und Behandlung affektiver Störungen. Bei der neutroneninduzierten Reaktion am **leichteren** der beiden stabilen Lithiumisotope werden ein α -Teilchen und ein Triton (Atomkern des Tritiums) emittiert, die sehr gut mit Halbleiterdetektoren in Koinzidenz nachgewiesen werden können.

- a) Geben Sie das Lithiumisotop und die Reaktionsgleichung für den genannten Prozess an! (3 Punkte)
- b) Berechnen Sie die Energiebilanz (Wärmetönung) der Reaktion aus der Massendifferenz! (Massen aus F.S.) (3 Punkte)
- c) Ein thermischer Neutronenstrahl treffe nun auf eine Schicht aus metallischem Lithium (natürliches Isotopengemisch). Der totale Absorptionswirkungsquerschnitt von Lithiumgemisch ist 71 barn und die Dichte ist $0,534 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Geben Sie das allgemeine Schwächungsgesetz und den Zusammenhang von Absorptionskoeffizient und Wirkungsquerschnitt an! Berechnen Sie die für eine Absorption von 40% der Neutronen notwendige Schichtdicke! (6 Punkte)
- d) Geben Sie an, was man unter der Moderation von Neutronen versteht und erläutern Sie qualitativ den zugrunde liegenden Prozess! Geben Sie wesentliche Eigenschaften für mögliche Moderatoren sowie zwei Beispiele an! (4 Punkte)

Die erste Kernspaltungsreaktion wurde im Frühjahr 1939 von Hahn, Meitner und Frisch bestätigt. Einlaufende Neutronen reagierten dabei mit ^{235}U Kernen unter Aussendung zweier Neutronen neben den schweren Spaltprodukten. Die Reaktion kann wie folgt

beschrieben werden:

$${}_0^1n + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{Z_1}^{A_1}\text{X}_1 + {}_{Z_2}^{139}\text{Ba} + {}_{Z_3}^{A_2}\text{X}_2 + 2 {}_0^1n$$

Bestimmen Sie die Elementnamen X_1 und X_2 sowie alle Größen A_i und Z_i und geben Sie deren Bedeutung an!

(4 Punkte)