

Themenschwerpunkt A
Atom- und Molekülphysik

Aufgabe 1: Zeeman-Effekt und Optisches Pumpen**(20 Punkte)**

- a) Skizzieren Sie das Termschema für das *Valenzelektron* von Natrium für Drehimpulsquantenzahlen $L < 2$ bis zur Hauptquantenzahl $n=4$. Berücksichtigen Sie dabei die Spin-Bahn-Kopplung und benennen Sie die einzelnen Niveaus in spektroskopischer Notation ($n^{2S+1}L_J$).
(3 Punkte)
- b) Man kann Übergänge zwischen diesen Niveaus anhand der Transmission durch ein Na-Gas detektieren. Skizzieren Sie den Versuchsaufbau und ein typisches Messsignal mit 3 detektierten optischen Übergängen.
(2 Punkte)
- c) Zeichnen Sie das Termschema der Niveaus mit Quantenzahlen $n = 3$ und $J = 1/2$ im feldfreien Fall und im Fall, dass das Na-Gas einem schwachen statischen homogenen Magnetfeld B_0 ausgesetzt ist. Tragen Sie in beiden Fällen die entsprechenden magnetischen Quantenzahlen ein.
(2 Punkte)
- d) Tragen Sie für $B_0 > 0$ alle optisch erlaubten Übergänge vom energetisch höchsten Niveau in tieferliegende Niveaus in die Skizze von c) ein und geben Sie jeweils die Polarisation des emittierten Lichtes an.
(2 Punkte)
- e) Leiten Sie aus der Beziehung $g_j = \frac{g_l \cdot (\vec{l} \cdot \vec{j}) + g_s \cdot (\vec{s} \cdot \vec{j})}{j(j+1)}$ den g-Faktor für ein Elektron mit Hilfe des Vektormodells her.
(3 Punkte)
- f) Berechnen Sie den Energieabstand für die Unterniveaus der beiden energetisch niedrigsten Zustände mit $J = 1/2$ für ein statisches homogenes Magnetfeld der Stärke $B_0 = 0,05$ T.
(2 Punkte)
- g) In das Na-Gas wird σ^+ -Licht eingestrahlt, das ausgehend vom energetisch niedrigsten Zustand des Valenzelektrons resonant zum optischen Dipolübergang kleinster Energie (Auswahlregeln beachten!) ist.
- i. Geben Sie das angeregte Niveau an, das durch das σ^+ -Licht besetzt wird.
(1 Punkt)
 - ii. Geben Sie alle strahlenden Zerfallskanäle für dieses angeregte Niveau an und erläutern Sie, welche Niveaus nach langer Zeit überwiegend besetzt sind.
(2 Punkte)
 - iii. Skizzieren Sie den Zeitverlauf der Transmission des eingestrahlteten σ^+ -Lichts.
(2 Punkte)
 - iv. Erläutern Sie, warum man dieses Experiment „Optisches Pumpen“ nennt.
(1 Punkt)

Themenschwerpunkt A:
Atom- und Molekülphysik

Aufgabe 1: Sauerstoffatom und -molekül**(20 Punkte)**

- a) In atomaren Mehrelektronensystemen koppeln die Bahndrehimpulsvektoren \mathbf{l}_i und die Spinvektoren \mathbf{s}_i der einzelnen Elektronen zum Gesamtdrehimpuls \mathbf{J} des Elektronensystems (Spin-Bahn-Kopplung).
Die Spin-Bahn-Kopplung im O-Atom wird als LS-Kopplung bezeichnet (Russell-Saunders-Kopplung). Geben Sie als Formel an, wie bei der LS-Kopplung der Vektor \mathbf{J} aus den \mathbf{l}_i und \mathbf{s}_i entsteht.
Beschreiben Sie ebenfalls als Formel die alternative Kopplungsform, welche bei sehr schweren Elementen vorkommt.
Erläutern Sie, warum gerade die leichten Elemente, wie z. B. O, die LS-Kopplung zeigen. (4P)
- b) Die Notation für die Konfiguration der 2p-Elektronen im Grundzustand des O-Atoms lautet 3P_2 . Geben Sie die physikalische Deutung des Buchstabens P sowie der beiden Zahlenwerte in dieser Notation an.
Geben Sie die Hundschen Regeln an und zeigen Sie, dass diese für das O-Atom zur obigen Konfiguration führen. (5P)
- c) Bestimmen Sie die Bindungsenergie des äußeren Elektrons des O^{5+} -Ions nach dem Modell der Alkali-Atome unter der Annahme einer idealen Abschirmungswirkung durch die K-Schale. Erklären Sie anhand der radialen Ortsabhängigkeit des Potentials und der elektronischen Wellenfunktionen, warum tatsächlich generell in Elektronensystemen die Abschirmung nicht ideal ist und außerdem zur Aufhebung der Bahndrehimpulsentartung führt. (5P)
- d) Der elektronische Übergang zwischen dem 3s- und dem 3p-Zustand tritt im O-Emissionsspektrum auf, im optischen Absorptionsspektrum bei $T = 300\text{ K}$ hingegen nicht. Der Übergang zwischen 3s und 4s tritt in keinem Spektrum auf. Begründen Sie diese Beobachtungen. (2P)
- e) Bei der unmittelbaren Annäherung zweier Atome können durch den Überlapp ihrer Wellenfunktionen bindende und antibindende Orbitale entstehen, die die Art und Energie der resultierenden Molekülbindung bestimmen. Benennen Sie die Art der Bindung, welche zum O_2 -Molekül führt und geben Sie die für diese Bindungsart charakteristische Größenordnung der Bindungsenergie an. (2P)
- f) Für das N_2 -Molekül, dessen Atome jeweils ein Elektron weniger enthalten als die O-Atome, ist die Bindungsenergie wesentlich höher als für O_2 . Begründen Sie diese Tatsache. Nutzen Sie hierbei den in Teilaufgabe e) beschriebenen Sachverhalt aus. (2P)