

9. Übung zur Vorlesung Atom- und Molekülphysik (E4) SS2021

Prof. H. Weinfurter, Dr. L. Knips

Aufgabe 28 Dopplerverbreiterung

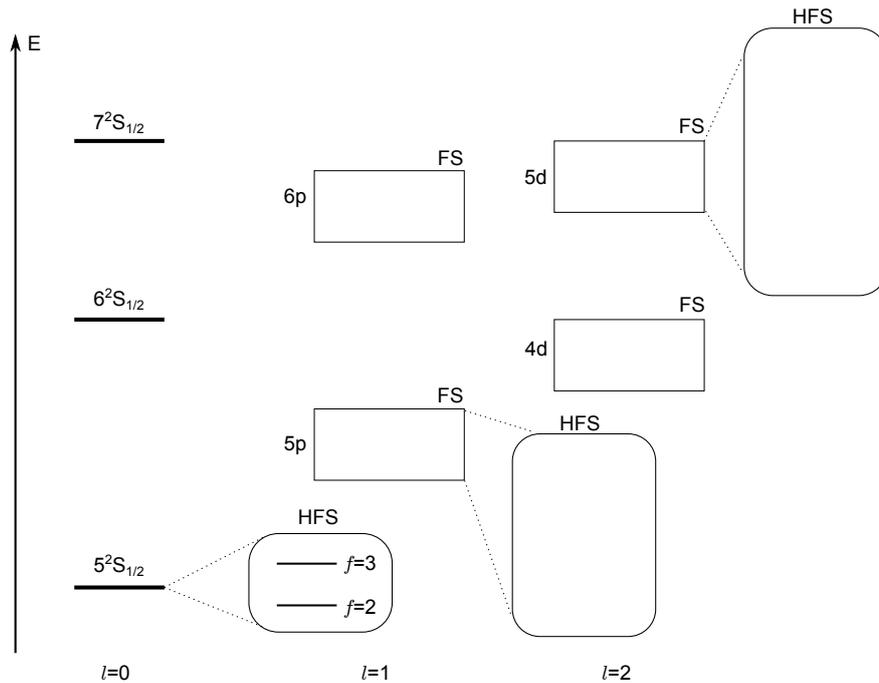
Die Beobachtung kleiner Aufspaltungen atomarer Übergänge (z.B. Hyperfeinaufspaltung oder Lamb-Shift) ist häufig wegen der Dopplerverbreiterung nicht direkt möglich. Die Atome zeigen aufgrund ihrer thermischen Bewegung eine Verteilung von Geschwindigkeitskomponenten in der Beobachtungsrichtung. Entsprechend erhält man bei der Spektroskopie eine Verteilung von Absorptions- bzw. Emissionsfrequenzen.

- Bestimmen Sie die Halbwertsbreite $\Delta\omega_d$ des Dopplerprofils in Abhängigkeit von der Temperatur T und der Masse m . Nehmen Sie dazu eine Maxwell-Boltzmann-Verteilung der Geschwindigkeiten der Atome an.
- Wie groß ist diese Verbreiterung für ein Wasserstoff-Atom bei Raumtemperatur? Vergleichen Sie diese Verbreiterung mit dem Lamb-Shift.

Aufgabe 29 Niveaustuktur von Alkaliatomen

Bei Alkaliatomen sind die tief liegenden Schalen vollständig gefüllt und ein zusätzliches Elektron besetzt das nächste freie s -Niveau. Dieses System kann für viele Fälle wie den von Wasserstoff betrachtet werden, es sind jedoch diverse Modifikationen zu beachten. Der einfach positiv geladene Wasserstoffkern wird dabei durch den Atomrumpf ersetzt, der aus dem Kern mit Kernladung Z und den $(Z - 1)$ Elektronen der Edelgaskonfiguration besteht. Das Leuchtelektron bewegt sich somit im effektiven Coulombpotential des Rumpfes, wobei der Abschirmungseffekt der inneren Elektronen von dem Abstand des Leuchtelektrons abhängt. Im unteren Bild ist ein Teil des Niveauschemas vom Leuchtelektron im Rubidiumisotop ^{85}Rb zu sehen.

- Geben Sie die Elektronenkonfiguration ($1s^2 2s^2 \dots$) des Grundzustands von ^{85}Rb an.
- Die drei fetten waagrechten Linien zeigen die Energieniveaus mit Bahndrehimpuls $l = 0$. Die Rechtecke deuten Positionen von atomaren Niveaus (Grobstruktur) mit Bahndrehimpuls $l > 0$ an. Was fällt Ihnen beim Vergleich der Positionen der Niveaus zum Wasserstoff auf?
- Tragen Sie in die Rechtecke die Energieniveaus der Feinstruktur mit der entsprechenden spektroskopischen Notation (siehe z.B. bei $l = 0$) ein.



- d) (**optional für E4p**) Das abgerundete Rechteck zum Zustand $5^2S_{1/2}$ zeigt die zugehörige Hyperfeinstrukturaufspaltung inklusive Gesamtdrehimpulsquantenzahl f . Wie groß ist der Kernspin i ? Tragen Sie für die Feinstruktur-niveaus von $5p$ und $5d$ die zugehörigen Hyperfeinniveaus ein.

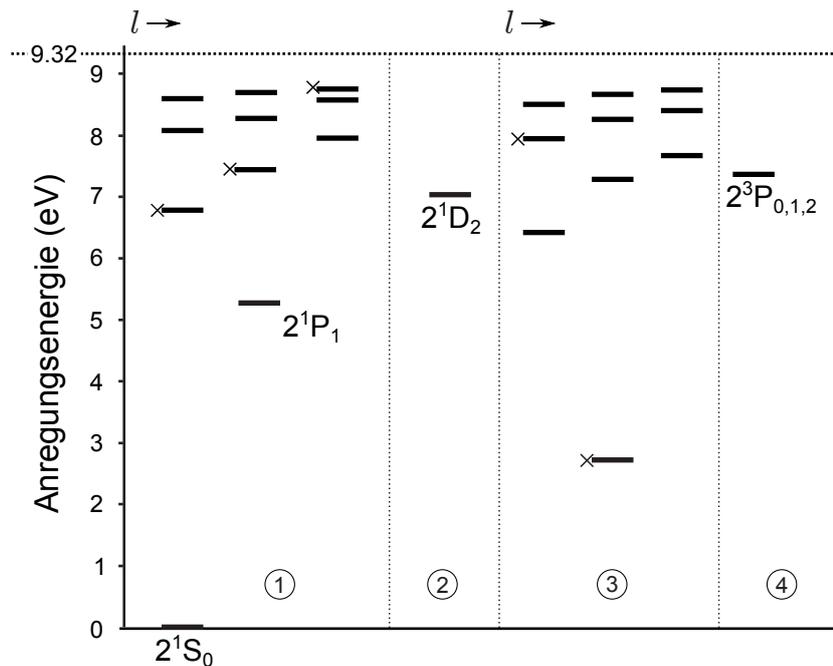
Hinweis: Die Vorzeichen der Hyperfeinstrukturkonstanten A_{HFS} der Zustände zu $5d$ sind unterschiedlich. Für das Feinstruktur-niveau von $5d$ mit größerem j ist der Vorfaktor A_{HFS} der Hyperfeinaufspaltung (siehe Aufgabe 26) negativ, in allen übrigen Fällen gilt $A_{\text{HFS}} > 0$.

- e) Welche optischen Dipolübergänge sind zwischen den dargestellten Grobstrukturniveaus $5s$, $6s$, $7s$, $5p$, $6p$, $4d$, und $5d$ möglich? Zeichnen Sie alle möglichen Übergänge durch geeignete Pfeile ein und begründen Sie ihre Antwort.

Aufgabe 30 Termschema von Beryllium

Erdalkaliatome haben ebenso wie Helium eine ns^2 -Konfiguration der Valenzelektronen. Dementsprechend verhalten sie sich in vielerlei Hinsicht zu He wie die Alkaliatome zu H. Da die beiden Leuchtelektronen nun aber durch die abgeschlossene Edelgaskonfiguration der anderen Elektronen stark von der Kernladung abgeschirmt sind, kommt es doch zu wesentlichen Änderungen.

- Was versteht man unter *Singulett-* und *Triplet-Zuständen*? Welche Komponente der Wellenfunktion liegt als Singulett (Triplet) vor, wenn ein Zustand als *Singulettzustand* (*Tripletzustand*) bezeichnet wird?
- Geben Sie je einen Singulett- und einen Tripletzustand an. Welcher der Zustände ist verschränkt, welcher nicht?
- Geben Sie die Wellenfunktion für die beiden Elektronen des 2^1S_0 Zustands an (ausgedrückt durch Ortswellenfunktionen $u_{n,l,m}(\vec{r}_i)$ und Spinzustände $|\uparrow\rangle_i, |\downarrow\rangle_i$).
- (optional für E4p) Die Abbildung zeigt einen Teil des Termschemas in der Grobstruktur (d.h. ohne Feinstruktur) für Be, Elektronenkonfiguration des Grundzustands ist $1s^2 2s^2$. Zusätzlich zu den vom He bekannten Singulett- und Tripletzweigen gibt es weitere Zustände. In welchen der Bereiche (1.-4) in der Abbildung sind die He-artigen Triplet- bzw. Singulettzweige gezeichnet? Geben Sie die spektroskopische Notation der mit \times markierten Zustände an. Zu welchen Zuständen (mit $n \leq 3$) ist ein Dipolübergang ausgehend vom Zustand 2^1P_1 möglich?



Zweifach angeregte Zustände:

- e) Was versteht man unter Autoionisation? Am Beispiel von He: geben Sie einen autoionisierenden Zustand an. Was gilt in He allgemein für die Elektronenkonfiguration von nicht-autoionisierenden Zuständen?
- f) (**optional für E4p**) Ausgehend vom Grundzustand $2s^2$ der Leuchtelektronen in Be ergeben sich natürlich mehr Anregungsmöglichkeiten, verglichen mit den $1s^2$ Elektronen in He. Im Termschema finden sich nun die Zustände 2^1D_2 und $2^3P_{0,1,2}$. Was kann man aus der spektroskopischen Notation und dem Wissen, dass es sich um zweifach angeregte Zustände handelt, über deren Elektronenkonfiguration aussagen?