

## Link-Ebene Physik



**Lehrplananbindung:** 12.2 Atommodell der Quantenphysik, Ausblick auf Mehrelektronensysteme

**Kompetenzen:** Neben den Fachkenntnissen liegt der Schwerpunkt bei

<b>Erkenntnisgewinnung</b>	<i>Fachmethoden wiedergeben</i>	<b>Fachmethoden nutzen</b>	<i>Fachmethoden problembezogen auswählen u. anwenden</i>
<b>Kommunikation</b>	<b>Mit vorgegebenen Darstellungsformen arbeiten</b>	<i>Geeignete Darstellungsformen nutzen</i>	<i>Darstellungsformen selbstständig auswählen u. nutzen</i>
<b>Bewertung</b>	<i>Vorgegebene Bewertungen nachvollziehen</i>	<i>Vorgegebene Bewertungen beurteilen und kommentieren</i>	<i>Eigene Bewertungen vornehmen</i>

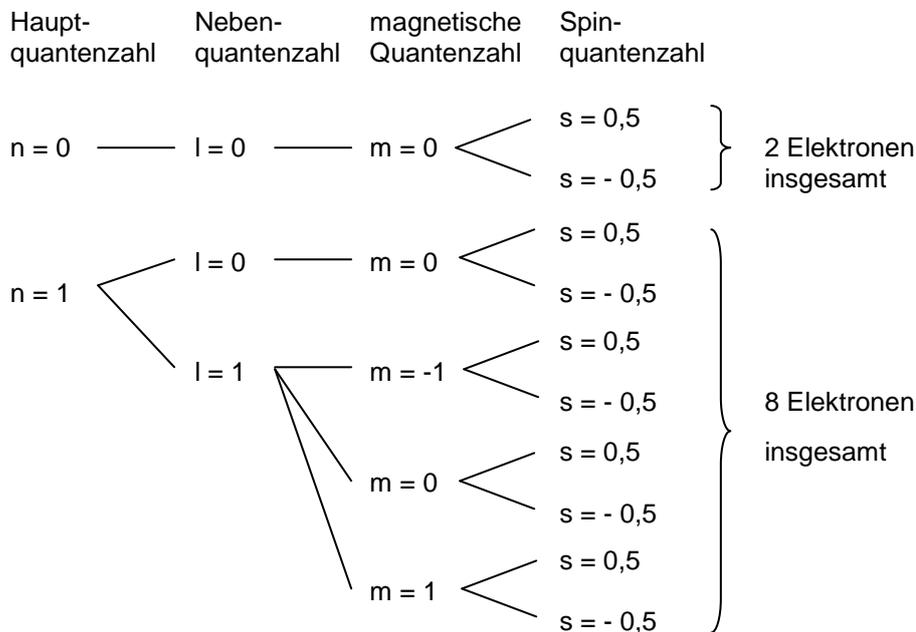
### Quantenzahlen und das Periodensystem der Elemente

- a) Geben Sie die vier Quantenzahlen an, die den Zustand eines in einem Atom gebundenen Elektrons beschreiben, und erörtern Sie, inwiefern diese vier Quantenzahlen im Zusammenhang mit dem Pauliprinzip eine wichtige Rolle bei der Besetzung der einzelnen Zustände im Atom spielen.
- b) Zeigen Sie mit Hilfe eines Baumdiagramms, dass maximal 2 Elektronen den Zustand  $n = 1$ , maximal 8 Elektronen den Zustand  $n = 2$  und maximal 18 Elektronen den Zustand  $n = 3$  besetzen können.
- c) In der Chemie spricht man vom sogenannten „Schalenaufbau“ der Atomhülle. Recherchieren Sie, welche Anzahl an Elektronen die 1., 2. und 3. Schale aufnehmen kann, und vergleichen Sie die Daten mit dem Ergebnis aus Teilaufgabe b. Erklären Sie, wie sich die Modellvorstellung von „Atomshalen“ rechtfertigen lässt.
- d) Ein Atom befindet sich im Grundzustand, wenn seine  $Z$  Elektronen genau die  $Z$  niedrigsten Energiezustände einnehmen. Erläutern Sie, wie es hierbei möglich ist, dass Elektronen z. B. die vierte Schale besetzen, obwohl die dritte noch nicht voll besetzt ist. Finden Sie hierzu ein Beispiel im Periodensystem.
- e) Heute weiß man, dass sich die Elektronen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit in einem bestimmten Raumbereich aufhalten. Definieren Sie in diesem Zusammenhang den Begriff des Orbitals.
- f) Geben Sie für  $n, l, m, s$  alle möglichen Quantenzahlen an, die zu folgenden Zuständen passen:  $2s, 3p, 4d, 3d_1$ . Erklären Sie, ob es  $2d$ -Zustände gibt.

Lösung:

a)  $n$  (Hauptquantenzahl),  $l$  (Nebenquantenzahl bzw. Bahndrehimpulsquantenzahl),  $m$  (Magnetquantenzahl),  $s$  (Spinquantenzahl)  
 Das Pauli Prinzip besagt, dass zwei Elektronen in einem Atom nicht in all ihren Quantenzahlen übereinstimmen dürfen. Dies muss bei der Besetzung der einzelnen Zustände berücksichtigt werden.

b)



Eine entsprechende Baumstruktur für  $n = 3$  führt auf eine Besetzung mit 18 Elektronen.

c) Die erste Schale kann genau 2, die zweite Schale genau 8 und die dritte Schale genau 18 Elektronen aufnehmen. Damit gehört zu jeder Schale genau eine Hauptquantenzahl  $n$ . Je größer die Hauptquantenzahl  $n$  eines Elektrons, desto größer seine Energie. Daher wird es sich im Mittel weiter entfernt vom Atomkern aufhalten als ein Elektron mit niedrigerem  $n$ . Dies rechtfertigt den Begriff der Atomshale.

d) Die Hauptquantenzahl  $n$  legt in erster Linie ein Energieniveau fest. Bei genauerer Betrachtung gilt es allerdings zu berücksichtigen: Mit den verschiedenen möglichen Werten der Nebenquantenzahl  $l$  ( $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$ ) bei gegebener Hauptquantenzahl  $n$  geht eine Aufspaltung des Energieniveaus zur Hauptquantenzahl  $n$  einher.

Daher kann es sein, dass z. B. die zwei Plätze des 4s-Zustands ( $n = 4, l = 0$ ) energetisch günstiger sind als die zehn Plätze des 3d-Zustands ( $n = 3, l = 2$ ). Dies ist in der Tat der Fall. Bei Kalium und Calcium werden zuerst die Plätze des 4s-Zustands besetzt, während die 10 Plätze des 3d-Zustands noch leer bleiben. Erst bei den Elementen Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn werden nach und nach die 3d-Zustände gefüllt (Ausnahmen: Cr und Cu).

e) Hinweis: Ein Orbital ist durch die drei Quantenzahlen  $n, l$  und  $m$  festgelegt, siehe Lehrbuch

f)  $2s: \quad n = 2, l = 0, m = 0, s = \pm \frac{1}{2}$

$3p: \quad n = 3; l = 1; m = -1, 0, 1; s = \pm \frac{1}{2}$

$4d: \quad n = 4; l = 2; m = -2, -1, 0, 1, 2; s = \pm \frac{1}{2}$

$3d_1: \quad n = 3; l = 2; m = 1; s = \pm \frac{1}{2}$

2d-Zustände gibt es nicht, weil die Nebenquantenzahl  $l$  nur Werte zwischen 0 und  $n-1$  annehmen kann. Ein d-Zustand würde aber  $l = 2$  bedeuten.

### Hintergrundinformation:

Die in der Literatur oftmals mit  $p_x$  und  $p_y$  bezeichneten Orbitale des Wasserstoffatoms, die die Form einer Hantel haben, entsprechen nicht den Eigenfunktionen, die durch  $m = \pm 1$

charakterisiert sind, sondern sind Superpositionen von diesen ( $\frac{i}{\sqrt{2}}(\Psi_{2,1,1} + \Psi_{2,1,-1})$ ). Diese

speziellen Lösungen der Schrödingergleichung sind interessant, weil sie reell sind. Die Eigenfunktionen von  $L_z$  zu den Eigenwerten  $m = \pm 1$  sind komplex und die zugehörigen Orbitale haben die Form eines Torus. Die zum  $p_z$ -Orbital gehörige Wellenfunktion ist hingegen in der Tat eine Eigenfunktion zu  $L_z$  zum Eigenwert  $m = 0$ .

(Quellen: <http://de.wikipedia.org/wiki/Orbital>, Haken Wolf, S.172/173; 6. Auflage, <http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/software/hydrogenlab/Programme.htm> > HydrogenLab: Orbital)