

## Übungen Atom- und Molekülphysik für Physiklehrer (Teil 2)

---

**Aufgabe 38)** Welche J-Werte sind bei den Termen  $^2S$ ,  $^2P$ ,  $^4P$  und  $^5D$  möglich?

---

**Aufgabe 39)** Welche Werte kann der Gesamtdrehimpuls eines  $f$ -Elektrons im Wasserstoffatom annehmen? Wie viele Einstellmöglichkeiten haben die möglichen Gesamtdrehimpulse in einem Magnetfeld? Welche Werte kann die magnetische Quantenzahl jeweils annehmen? Welches ist der kleinstmögliche Wert für die Hauptquantenzahl  $n$ ?

---

**Aufgabe 40)**  $^{23}_{11}\text{Na}$  hat einen Kernspin von  $I=3/2$ . Geben Sie alle möglichen Gesamtdrehimpulse für die Natrium-Konfigurationen  $1s^22s^22p^63s$  und  $1s^22s^22p^63p$  an.

---

**Aufgabe 41)** Betrachten Sie ein Teilchen mit magnetischem Moment  $\vec{\mu}$  mit  $|\vec{\mu}| = \mu_B$ . Welche Energie bzw. Frequenz und Wellenlänge ist nötig, um in einem Magnetfeld von 0.25 T den Übergang von der parallelen zur anti-parallelen Ausrichtung von Magnetfeld und magnetischem Moment, zu induzieren?

---

**Aufgabe 42)** Skizzieren Sie das Aufspaltungsbild der Na-D-Linien ( $\lambda_1 = 589.592$  nm und  $\lambda_2 = 588.995$  nm, Übergänge  $3P \leftrightarrow 3S$ ) für kein äußeres Magnetfeld sowie für ein schwaches und ein Starkes Magnetfeld.

Unter Verwendung des Landé-Faktors gebe man eine Formel für die Energiedifferenzen der Aufspaltungen der verschiedenen Energieniveaus an.

Welche Spektrallinien können Sie beobachten?

Hinweis: Im Na-Atom sind im Gegensatz zum H-Atom das  $3^2P_{1/2}$  und  $3^2S_{1/2}$  Niveau nicht entartet. In erster Näherung kann elektrische Dipolstrahlung keine Spinumkehr bewirken.

---

**Aufgabe 43)** Einem wasserstoffähnlichen Atom bzw. Ion mit der Kernladung  $Z$  wird ein starkes elektrisches Feld  $E$  überlagert. Das Elektron befindet sich somit in einem Potential der Form:

$$V(r) = -e \cdot E \cdot x - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

- Skizzieren Sie den Verlauf des Potentials in  $x$ -Richtung.
  - Berechnen Sie die Lage des Lokalen Potentialmaximums (Sattel) bei  $x > 0$ .
  - Was passiert, wenn das Potential im Maximum unter das Energieniveau der  $n$ -ten Schale sinkt? Bei welcher Feldstärke ist dies für den  $1s$ -Zustand des Wasserstoffs der Fall?
-

**Aufgabe 44)** Die Energieniveaus heliumähnlicher Atome mit einem Elektron im Grundzustand ( $n=1$ ) und dem anderen Elektron in einem angeregten Zustand ( $n>1$ ) können näherungsweise durch:

$$E_n = -13.6 \left( Z^2 + \frac{(Z-1)^2}{n^2} \right) eV$$

ausgedrückt werden. Hierbei wird offensichtlich angenommen, dass das innere  $1s$ -Elektron eine der  $Z$  Kernladungen vollständig abschirmt.

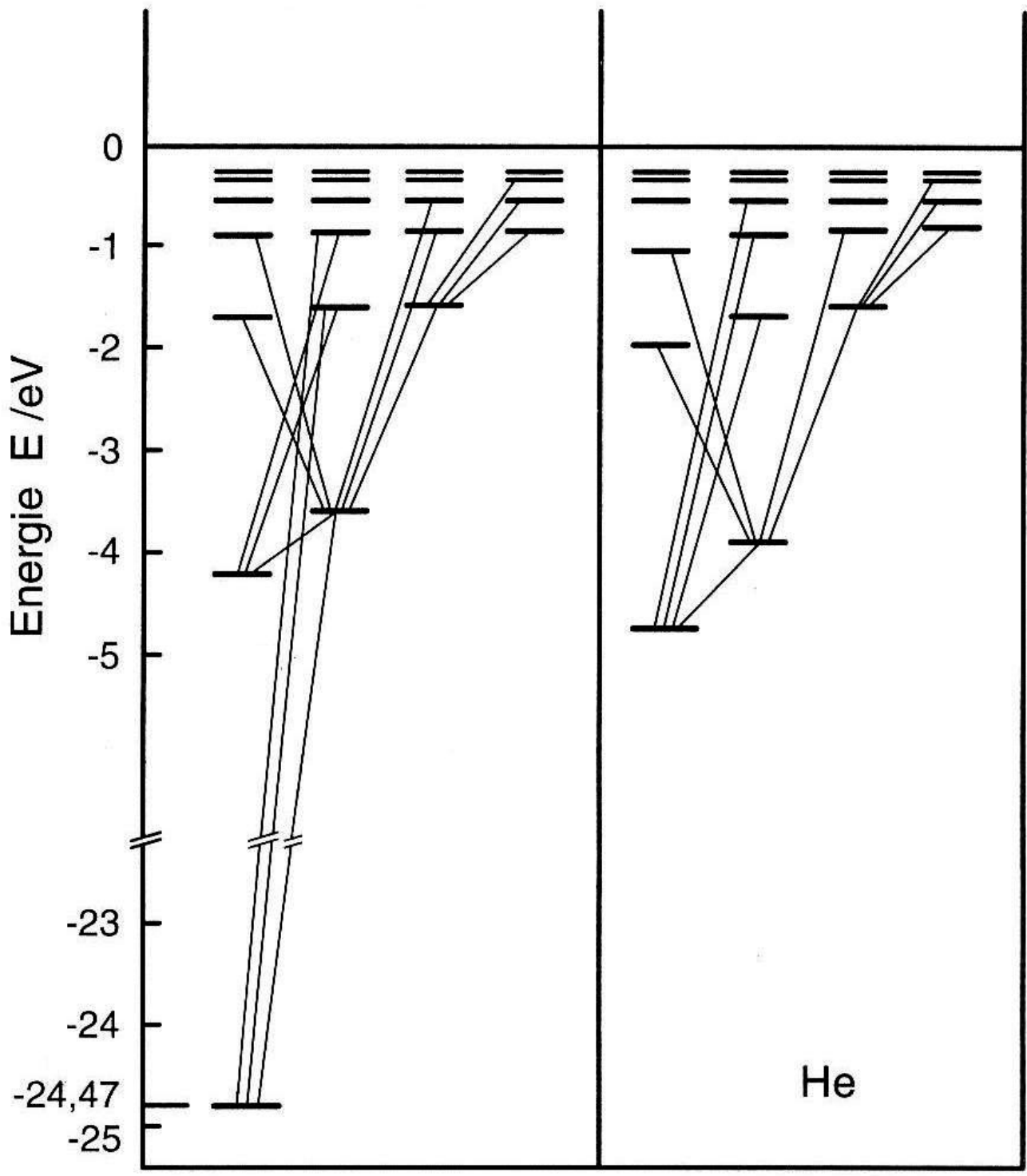
- Diskutieren Sie die Plausibilität dieser Annahme.
  - Berechnen Sie die Energieniveaus des Heliumatoms für  $n = 2, 3, 4$  und vergleichen Sie mit den experimentellen Werten für die über alle Unterzustände gemittelten Energien  $E_2 = -58.31$  eV,  $E_3 = -56.01$  eV,  $E_4 = -55.25$  eV.
  - Wie hängt der Unterschied zwischen Rechnung und Experiment von  $n$  ab, und was ist der Grund dafür?
- 

**Aufgabe 45)** Geben Sie die Elektronenkonfiguration des Eisenatoms (Ordnungszahl 26) an!

---

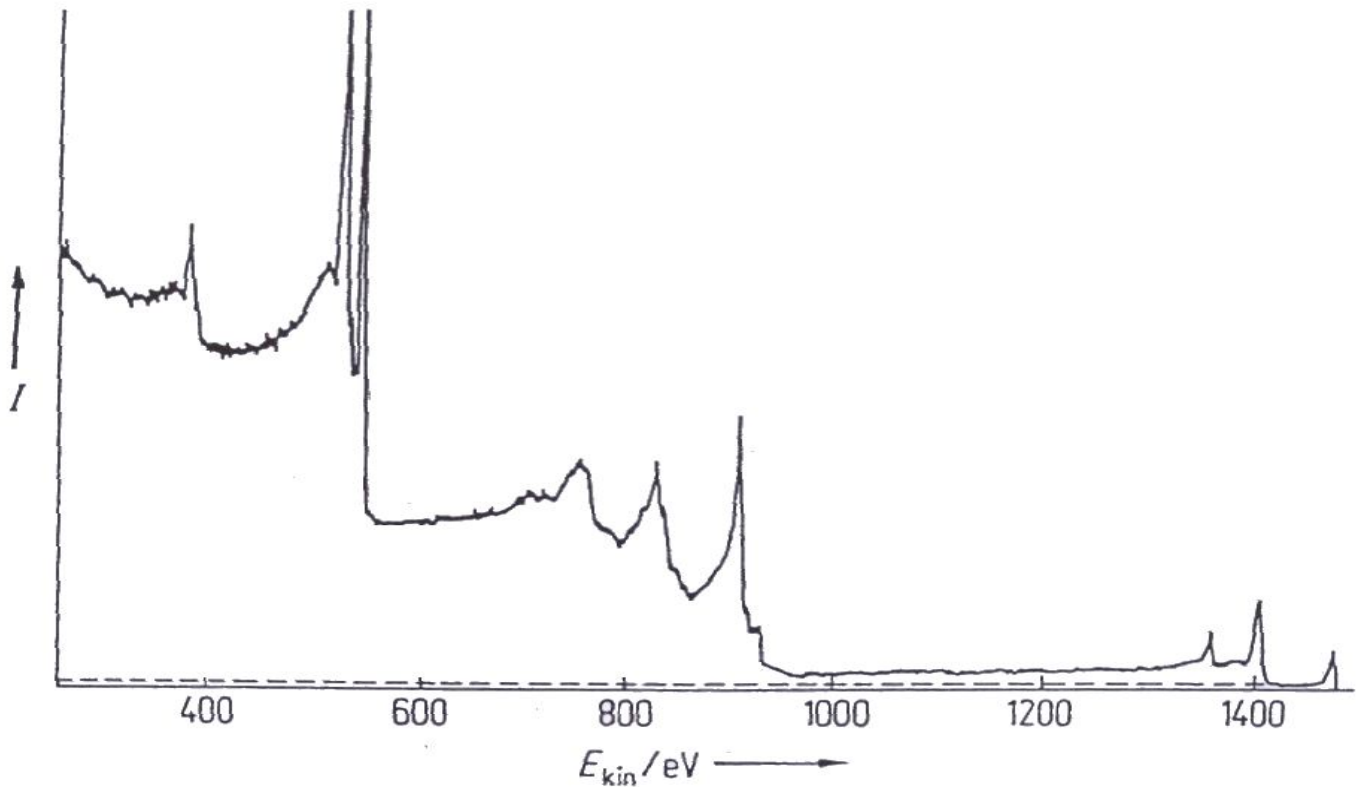
**Aufgabe 46)** Die gesamte Abtrennarbeit für beide Elektronen beträgt für den Grundzustand des Heliums  $E = -78.9$  eV.

- Berechnen zuerst die Abtrennarbeit für das 2. Elektron, wenn des 1. Elektron schon entfernt wurde.
- Folgern Sie daraus die Bindungsenergie, die für das Abtrennen des 1. Elektrons nötig gewesen ist.
- Skizzieren Sie das Energiespektrum des Para- und Ortho-Helium und erklären Sie die Nomenklatur der vorkommenden Zustände.
- Welche Hauptquantenzahl hat der niedrigste Energiezustand der beiden Konfigurationen?
- In welchen Wellenlängen/Energie-Bereichen erwartet man entsprechend die Übergänge in den Grundzustand?
- Welche Feinstruktur beobachtet man beim Para-Helium und welcher Spinkopplung kann man daraus folgern?



**Aufgabe 47)** Welche Energie  $E$  und Wellenlänge  $\lambda$  hat der einzig mögliche Röntgenübergang beim Lithium (Ordnungszahl 3)? Ist das ein erlaubter Übergang?

**Aufgabe 48)** Das unten stehende Elektronenemissionsspektrum einer sauberen Oberfläche eines reinen 3d-Übergangselements wurde mit Al- $K_{\alpha}$ -Anregung ( $h\nu = 1486,6$  eV) aufgenommen. Um welches Element handelt es sich? Ordnen sie die Peaks zu (Photoemissionslinien und Auger - Übergänge)!



**Table 1-1.** Electron binding energies, in electron volts, for the elements in their natural forms.

Element	K 1s	L <sub>1</sub> 2s	L <sub>2</sub> 2p <sub>1/2</sub>	L <sub>3</sub> 2p <sub>3/2</sub>	M <sub>1</sub> 3s	M <sub>2</sub> 3p <sub>1/2</sub>	M <sub>3</sub> 3p <sub>3/2</sub>	M <sub>4</sub> 3d <sub>3/2</sub>	M <sub>5</sub> 3d <sub>5/2</sub>
21 Sc	4492	498.0	403.6	398.7	51.1	28.3	28.3		
22 Ti	4966	560.9	460.2	453.8	58.7	32.6	32.6		
23 V	5465	626.7	519.8	512.1	66.3	37.2	37.2		
24 Cr	5989	696.0	583.8	574.1	74.1	42.2	42.2		
25 Mn	6539	769.1	649.9	638.7	82.3	47.2	47.2		
26 Fe	7112	844.6	719.9	706.8	91.3	52.7	52.7		
27 Co	7709	925.1	793.2	778.1	101.0	58.9	59.9		
28 Ni	8333	1008.6	870.0	852.7	110.8	68.0	66.2		
29 Cu	8979	1096.7	952.3	932.7	122.5	77.3	75.1		
30 Zn	9659	1196.2	1044.9	1021.8	139.8	91.4	88.6	10.2	10.1

**Aufgabe 49)** Am Stickstoffmolekül wurde eine Schwingungsfrequenz von  $2358 \text{ cm}^{-1}$  gemessen. Stellen wir uns vor, man könnte die  $N\equiv N$ -Bindung an einem Atom festhalten und an der anderen Seite wie bei einer Federwaage mit einem Gewicht von  $1 \text{ g}$  belasten. Um welche Strecke würde die Bindung gedehnt, wenn sich die Bindung rein harmonisch verhalten würde?

---

**Aufgabe 50)** Ein  $F_2$ - Molekül kann als Hantelmodell aufgefasst werden, wobei der Abstand der beiden Kernmittelpunkte unverändert von der Rotation um den Schwerpunkt  $1,26 \cdot 10^{-10} \text{ m}$  beträgt. Man berechne die Beträge der ersten beiden von Null verschiedenen Drehimpulse in Einheiten von  $\hbar$  und die zugehörige Rotationsenergie in eV. Welche Wellenlänge besitzt das Licht, das beim Übergang zwischen benachbarten Energieniveaus emittiert wird?

---

**Aufgabe 51)** Ein lineares Gasmolekül besitzt das Trägheitsmoment  $I=1 \cdot 10^{-45} \text{ kg m}^2$ .

- Welcher Rotationszustand  $l$  ist im Mittel bei einer Temperatur von  $25^\circ\text{C}$  mit einer Rotationsenergie von  $E_{rot} = \frac{1}{2} k_B \cdot T$  angeregt?
  - Wie groß ist der Energieabstand zum nächsten Niveau?
  - Bei welcher Rotationsquantenzahl beträgt der Abstand zum nächsten benachbarten Niveau mehr als  $k_B \cdot T$ ?
- 

**Aufgabe 52)** In der Abbildung (nächste Seite) sehen Sie ein Rotations-Schwingungsspektrum von HCl. Auf der X-Achse wird die Wellenzahl  $\frac{1}{\lambda} = \frac{f}{c}$  abgetragen, die mit der Energie der absorbierten Strahlung korreliert ist. Bei Anregung einer Molekülschwingung ändert sich gleichzeitig die Rotationsquantenzahl  $L$  um  $\Delta L = \pm 1$  (+1: R-Zweig, -1 P-Zweig). Für die Übergangsenergien gilt bei Vernachlässigung der Rotationsschwingungskopplung:

$$\Delta E = \hbar \varpi_{osc} + L_e (L_e + 1) B_e - L_a (L_a + 1) B_a$$

wobei  $\varpi_{osc}$  die Kreisfrequenz der Schwingung,  $B = \hbar^2 / 2I$ ,  $I = \sum r_i^2 M_i$  das Trägheitsmoment sowie die Indizes a und e die unterschiedlichen Werte von B und L im Anfangs- und Endzustand bedeuten.

- Warum ist  $B_a > B_e$ ?
- Identifizieren Sie die Zweige des Spektrums. Welcher Zweig fehlt und warum?
- Bestimmen Sie 6 charakteristische Anregungsenergien aus der Abbildung und ordnen Sie sie diese den Übergängen zu.
- Erklären Sie die Aufspaltung der Banden in jeweils 2 dicht beieinander liegenden Linien und deren Intensitätsverhältnis.
- Bestimmen Sie die Kraftkonstante der zugrunde liegenden Schwingung.
- Bestimmen Sie  $B_I$  (1. angeregte Drehschwingung) und daraus den mittleren Abstand der Atome in der Bindung.

