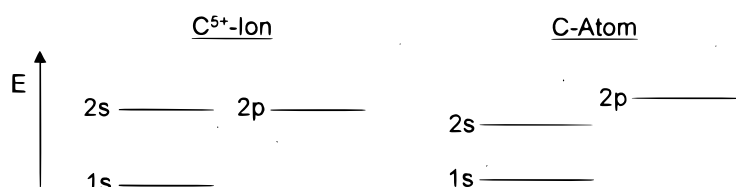


- d) Bestimmen Sie zunächst die mittlere Geschwindigkeit der  $^{87}\text{Rb}$ -Gasatome bei  $T = 300\text{ K}$ . Berechnen Sie die Zahl der Absorptionsprozesse, die im Idealfall mindestens benötigt werden, um ein einzelnes Atom mit  $v = 280\text{ m/s}$  vollständig abzubremsen. Nehmen Sie vereinfachend an, dass die Absorption immer resonant stattfindet. Erläutern Sie qualitativ, warum man real keine vollständige Abbremsung erreichen würde. (5 Punkte)
- e) Zur Laserkühlung werden 6, jeweils in den 3 Raumrichtungen paarweise entgegengesetzt gerichtete Laserstrahlen verwendet. Begründen Sie, wie die Laserwellenlänge bei der reinen Laserkühlung gegenüber der resonanten Absorption eines ruhenden Atoms verstimmt werden muss, damit ein Kühleffekt erreicht wird. (3 Punkte)

### Aufgabe 2: Kohlenstoff-Atom

Die Einzelelektronenkonfiguration für den Grundzustand des Kohlenstoff-Atoms (C-Atoms) ist  $(1s)^2 (2s)^2 (2p)^2$ .



- a) Die Skizze oben zeigt qualitativ (nicht maßstäblich!) die Energieschemata des  $\text{C}^{5+}$ -Ions und des C-Atoms bis zur Hauptquantenzahl  $n=2$ , wie sie sich in Zentralfeldnäherung ohne relativistische Korrekturen ergeben. Begründen Sie qualitativ, warum beim C-Atom im Vergleich mit dem  $\text{C}^{5+}$ -Ion die Entartung zwischen 2s und 2p aufgehoben ist und man deshalb nur die Elektronen in der 2p-Schale als Valenzelektronen behandeln muss. (3 Punkte)
- b) Übernehmen Sie die Skizze und zeichnen Sie für den Grundzustand die Besetzung der Niveaus, inklusive der Spinausrichtung, ein. (2 Punkte)
- c) Begründen Sie, warum man zur Bestimmung der Energieterme der Valenzelektronen im C-Atom die L-S-Kopplung (Russel-Saunders-Kopplung) und nicht die j-j-Kopplung verwendet. Geben Sie den Kopplungsmechanismus für die Bestimmung der Energieterme im He-Atom und im Hg-Atom an und begründen Sie jeweils kurz Ihre Wahl. (3 Punkte)
- d) In einem möglichen angeregten Zustand des C-Atoms befindet sich ein Valenzelektron in der 3s-Schale. Geben Sie die Einzelelektronenkonfiguration der Valenzelektronen für diesen Fall an. Zeigen Sie, dass sich in diesem Fall für die Valenzelektronen bei L-S-Kopplung die vier Energieterme  $^1\text{P}_1$ ,  $^3\text{P}_2$ ,  $^3\text{P}_1$  und  $^3\text{P}_0$  ergeben. Erläutern Sie die Bedeutung des Buchstabens P und der beiden Zahlen links und rechts des Buchstabens bei den Energietermen. (7 Punkte)

**Fortsetzung nächste Seite!**

- e) Der energetisch höchste Zustand ist hierbei der  $^1P_1$ -Zustand. Begründen Sie qualitativ, warum dies plausibel ist. (3 Punkte)
- f) Der Grundzustand des C-Atoms mit der Valenzelektronenkonfiguration  $(2p)^2$  ist ein  $^3P_0$ -Term. Geben Sie an, zu welchen der vier Energieterme aus d) Übergänge im Rahmen der elektrischen Dipolnäherung möglich sind und begründen Sie dies. (2 Punkte)

**Themenschwerpunkt A**  
**Atom- und Molekülphysik**

**Aufgabe 1: Energieniveaus und -übergänge in Kohlenstoff** (20 Punkte)

Kohlenstoff hat im Grundzustand die Elektronenkonfiguration  $(1s)^2(2s)^2(2p)^2$ . Der Grundzustand hat in der Feinstruktur die spektroskopische Bezeichnung  $^3P_0$  (LS-Kopplung).

- a) Skizzieren Sie die Spinstellung der sechs Elektronen im Grundzustand und begründen Sie die Einstellung! (3 Punkte)
- b) Zeigen Sie, dass zur Elektronenkonfiguration  $(1s)^2(2s)^2(2p)^2$  neben  $^3P_0$  auch die spektroskopischen Terme  $^3P_1$ ,  $^3P_2$  und  $^1D_2$  gehören, nicht aber  $^3D_2$ ! (4 Punkte)
- c) Geben Sie mit kurzer Begründung an, zwischen welchen der Zustände  $^1S_0$ ,  $^1D_2$ ,  $^3P_2$ ,  $^3P_1$  und  $^3P_0$  elektrische Dipol-Übergänge erlaubt sind, (a) bei reiner LS-Kopplung und (b) bei Beimischung von jj-Kopplung! Tragen Sie die erlaubten Übergänge in eine Skizze wie untenstehend ein! (3 Punkte)

$^1S_0$  \_\_\_\_\_  
 $^1D_2$  \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  $^3P_{0,1,2}$   
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Durch Elektronenanregung kann das Atom aus der Konfiguration  $(1s)^2(2s)^2(2p)^2$  in die Konfiguration  $(1s)^2(2s)(2p)^3$  übergehen.

- d) Skizzieren Sie die Spinstellung der Elektronen für den energetisch tiefsten Zustand der angeregten Elektronenkonfiguration  $(1s)^2(2s)(2p)^3$  und zeigen Sie, dass dieser Zustand die spektroskopische Bezeichnung  $^5S_2$  hat! (3 Punkte)
- e) Skizzieren Sie für das  $2s$ - und das  $2p_z$ -Orbital den Radialanteil sowie in einem Polardiagramm den Winkelanteil der Wellenfunktion! (4 Punkte)
- f) In Methan,  $\text{CH}_4$ , sind die vier H-Atome gleich stark gebunden. Erläutern Sie qualitativ, wie die gleich starke Bindung trotz unterschiedlicher  $2s$ - und  $2p$ -Orbitale zustande kommt! (3 Punkte)

**Fortsetzung nächste Seite!**

**Aufgabe 2: Mesonische Atome**

(20 Punkte)

In Kernreaktionen von hochenergetischen Protonenstrahlen mit geeigneten Targetmaterialien können geladene Mesonen wie Pionen ( $\pi^+$ ,  $\pi^-$  mit  $M = 139,6 \text{ MeV}/c^2$ ,  $\tau = 2,6 \cdot 10^{-8} \text{ s}$ ) und Kaonen ( $k^+$ ,  $k^-$  mit  $M = 493,7 \text{ MeV}/c^2$ ,  $\tau = 1,24 \cdot 10^{-8} \text{ s}$ ) produziert werden. Trotz ihrer geringen Lebensdauer können sie separiert, abgebremst und gesammelt werden, so dass sie für weitere Experimente zur Verfügung stehen.

- a) Geben Sie an, welche der vier Mesonen durch Einfang quasistationär gebundene Zustände mit Atomkernen ausbilden können! (2 Punkte)
- b) Geben Sie für den jeweiligen mesonischen Grundzustand die Quantenzahlen an! (2 Punkte)
- c) Erläutern Sie (mit physikalischer Begründung) die prinzipiell erreichbare Besetzungsdichte dieses Grundzustands! (2 Punkte)
- d) Nun soll ein Sauerstoffkern ein Meson einfangen. Berechnen Sie für die erlaubten Fälle den Bahnradius des eingefangenen Mesons im Grundzustand! (4 Punkte)
- e) Erläutern Sie qualitativ, welche Auswirkungen das gebundene Meson auf die weiteren Elektronen im Atom hat! Geben Sie an, ob und wie viele Elektronen zur Bildung eines solchen mesonischen Sauerstoffatoms noch zusätzlich gebunden sein müssen! Geben Sie die Elektronenkonfiguration im Grundzustand an! (3 Punkte)
- f) Beschreiben Sie, wodurch sich bei einer optischen Absorptionsmessung die Existenz eines mesonischen Sauerstoffatoms bemerkbar macht! (2 Punkte)
- g) Schätzen Sie ab, für welche Massenzahl des Atomkerns der Bahnradius eines gebundenen Pions vergleichbar mit dem Kernradius ist! Erläutern Sie qualitativ, ob und wie sich die Bindungsenergie des tiefgebundenen Pions in diesem Fall ändert (Hinweis: nehmen Sie den Kern als dichteste Packung von  $A$  Kugeln (Nukleonen) mit dem Nukleonenradius  $r_0 = 1,2 \text{ fm}$  an)! (5 Punkte)

- 4 -