

Übungen zur Modernen Experimentalphysik I (Physik IV, Atome und Moleküle) — SS 2013

9. Aufgabenblatt

1. Normaler Zeemann Effekt

- Erläutern sie den Unterschied zwischen normalem und anomalem Zeemann Effekt!
- In wieviele Terme spaltet ein $l = 3$ Niveau beim normalem Zeemann Effekt auf? Wie groß ist der Energieunterschied zwischen den benachbarten Niveaus?
- Wieviele Linien sind beim Übergang $l = 3 \rightarrow l = 2$ beim normalen Zeemann-Effekt messbar? Diskutieren sie die Polarisationen der einzelnen Zeemann Komponenten.

2. Hyperfeinstruktur

- Wie kommt die Hyperfeinstruktur im Vergleich zur Feinstruktur zustande? (*Stichpunkte genügen!*)
- In wieviele Hyperfeinstrukturkomponenten sind die Grundzustände folgender Atome aufgespalten:

$${}^3\text{H} ({}^2s_{1/2}, I = \frac{1}{2}); {}^6\text{Li} ({}^2s_{1/2}, I = 1); {}^{14}\text{N} ({}^4p_{3/2}, I = 1); {}^{15}\text{N} ({}^4p_{3/2}, I = \frac{1}{2})$$

- Für die magnetische Hyperfeinwechselwirkung bei atomaren Wasserstoff gilt für die s-Zustände:

$$E_{\text{Hyperfein}} = \frac{a}{\hbar^2} \langle \vec{I} \vec{j} \rangle \text{ mit der}$$

Hyperfeinkonstanten

$$a = \frac{2\mu_o}{3\pi a_o^3} \times g_e \times \mu_B \times g_p \times \mu_K \frac{1}{n^3}$$

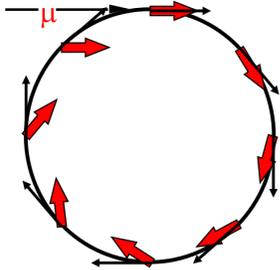
(Kernspin $I=1/2$, g-Faktor des Protons $g_p=5.585$, g-Faktor des Elektrons $g_e=2.002$, Kernmagneton $\mu_K = 5.051 \times 10^{-27} \text{ Am}^2$; Bohr'sches Magneton $\mu_B = 9.274 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$, Bohr'scher Radius $a_o = 5.292 \times 10^{-11} \text{ m}$, $\mu_o = 1.257 \times 10^{-6} \text{ Vs}/(\text{Am})$)

- In wieviele Niveaus spaltet der elektronische Grundzustand von atomaren Wasserstoff infolge der Hyperfeinwechselwirkung auf?

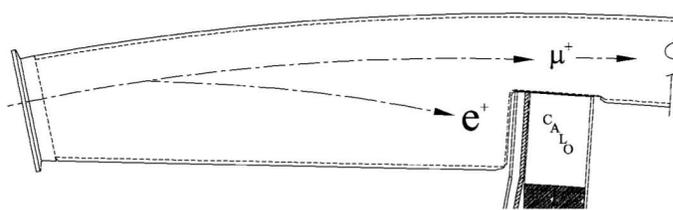
- Welche Werte hat die Gesamtdrehimpulszahl F ?
- Berechnen Sie die Hyperfeinaufspaltung in den Einheiten eV, cm^{-1} und Hz.
Verifizieren Sie mit diesem Resultat die Intervallregel: $\Delta E_{F+1} - \Delta E_F = a(F + 1)!$

3. Skizzieren und beschreiben Sie kurz ein NMR-Spektrometer und erklären Sie die Funktionsweise!
4. Skizzieren und beschreiben Sie kurz ein ESR-Spektrometer und erklären Sie die Funktionsweise!
5. g-2 Messung

Der Lande Faktor g_μ des Myons setzt sein magnetisches (Dipol-) Moment mit seinem Spin in Beziehung: $\vec{\mu}_\mu = g \frac{e}{2m_\mu} \cdot \vec{S}$. Würde das Myon die Dirac-Gleichung erfüllen, dann würde $g = 2$ gelten. Allerdings beeinflusst die Quanten-Natur der elektromagnetische Wechselwirkung selbst den Wert von g (QED Beitrag über 99%, andere Wechselwirkungen spielen auch eine Rolle, jedoch in geringerem Maße). Eine Präzisionsmessung von g kann also als hochpräziser Test der QED verstanden werden. Diese Messung wurde erstmals in den 60er und 70er Jahren am CERN durchgeführt und später am Experiment E821 am Brookhaven National Laboratory. Hier wurden in Proton-Kern Kollisionen Pionen erzeugt, die wiederum in Myonen zerfallen. Diese Myonen wurden in einen Speicherring eingespeist (siehe Figur 1).



Spin rotiert schneller als Impuls



Draufsicht der Vakuumkanne mit Kalorimeter

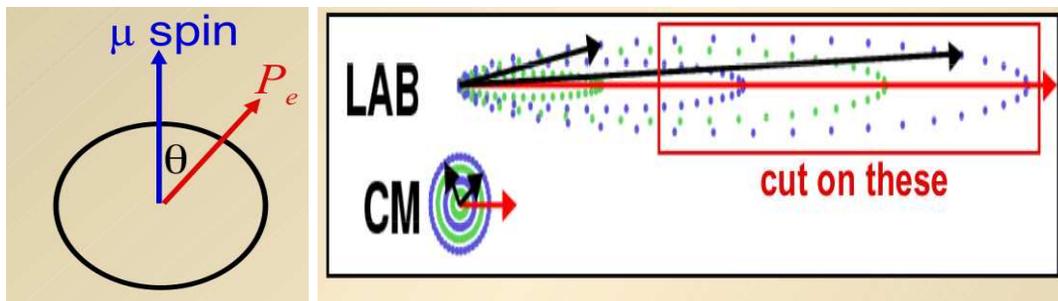


Abbildung 1: Myonen im Speicherring. Der Spin rotiert mit der Frequenz ω_s , der Impuls rotiert mit ω_c . Nach der Zeit $\gamma\tau_\mu$ zerfallen die Myonen in Positronen, die im CM System in Vorwärtsrichtung emittiert werden.

- (a) Die Zyklotronfrequenz ω_c gibt die Rotationsfrequenz des Myon-Impulses \vec{P} in einem homogenen Magnetfeld \vec{B} für den Fall $\vec{P} \cdot \vec{B} = 0$ an. Wie lautet die Zyklotronfrequenz ω_c für ein relativistisches Myon?
- (b) Die Larmor-Frequenz ω_L gibt die Rotationsfrequenz an, mit der der Spin des Myons um das Magnetfeld präzediert. Geben Sie die Larmor-Frequenz für ein ruhendes Myon in einem homogenen Magnetfeld \vec{B} an.
- (c) Im Speicherring präzediert der Spin mit
$$\vec{\omega}_s = -\frac{gq\vec{B}}{2m_\mu} - (1 - \gamma)\frac{q\vec{B}}{\gamma m_\mu},$$
 um die Magnetfeldrichtung, da sich das Myon nicht in einem Inertialsystem befindet. Für welchen Wert von g wird $\omega_s = \omega_c$? Drücken Sie die anomale Spin-Präzession $\omega_a = \omega_s - \omega_c$ unter Verwendung des Anomalie-Parameters $a_\mu = \frac{g-2}{g}$ aus.
- (d) Zur Fokussierung des Myonenstrahls wird ein elektrisches Quadrupolfeld verwendet. Für ω_a ergibt sich damit
$$\omega_a = \frac{e}{mc}\left[aB - \left(a - \frac{1}{\gamma^2 - 1}\right)\beta \times E\right].$$
 Für das "magische" $\gamma = 29.3$ ergibt sich gerade $\left(a - \frac{1}{\gamma^2 - 1}\right) = 0$, so dass ω_a nur von B abhängt. Die relativistischen Myonen zerfallen nach der Zeit $\gamma\tau$ in hochenergetische Positronen $\mu^+ \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_\mu + e^+$, die vorrangig in Vorwärtsrichtung emittiert werden (siehe Figur 1) und mit Hilfe von elektromagnetischen Kalorimetern nachgewiesen werden können. Die beobachtete Positronenrate variiert dabei gerade mit ω_a :
$$N(t) = Ne^{-t/(\gamma\tau)}(1 - A\cos(\omega_a t + \Phi)).$$
 Welchem Impuls und welcher Myon-Lebensdauer entspricht das "magische" γ ?

Matrix: 1a/1b/1c/2a+2b/2c/3/4/5

Die Aufgaben werden in den Übungen am 24. Juni 2013 besprochen.

Informationen zu den Übungen unter <http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~gebauer/atom13.html>.