

Fortgeschrittenes Physik Lab SS19

Experiment: Hanle Effekt

(Durchgeführt am:)

Erik Bode, Damian Lanzenstiel
(Group 103)

September 23, 2019

Abstract

Contents

1	Theorie	2
1.1	Semiklassische Herleitung	2
1.2	Quantenmechanische Erklärung	3
2	Tabellen	4
3	Bilder	4
4	Bibliograpy	4
	Literatur	4
5	Anhang	4

1 Theorie

1.1 Semiklassische Herleitung

Ein Hg-Atom welches ein Photon absorbiert kann als ein gedämpfter oszillierender Dipol beschrieben werden. Die Dipolachse ist dabei parallel zur Polarisation des absorbierten Photons. Zur Bestimmung der gesamt Intensität eines einzelnen angeregten Atoms muss über alle Zeiten integriert werden wodurch sich folgende Gleichung ergibt.

$$I = C \cdot \int_0^\infty \sin(\phi)^2 e^{-\frac{t}{\tau}} dt \quad (1)$$

Hierbei ist zu erkennen das die Strahlungscharakteristik proportional zu $\sin(\phi)^2$ ist, wobei ϕ der Winkel zwischen Dipolachse und Beobachtungsrichtung ist. Der Faktor $e^{-\frac{t}{\tau}}$ beschreibt die Dämpfung.

Wenn nun ein Magnetfeld angelegt wird und dieses senkrecht auf der Oszillation-Achse liegt so wird ein Drehmoment auf den Dipol ausgeübt. Dieses führt zur Präzession des Dipols und des magnetischen Moments welches hier als starr zusammenhängend betrachtet wird. Für das magnetische Moment μ eines Niveaus mit Drehimpulsquantenzahl J gilt im schwachen Feld folgende Bewegungsgleichung:

$$\frac{d\vec{\mu}}{dt} = \frac{\omega_L}{B} \vec{\mu} \times \vec{B} \quad (2)$$

hierbei ist ω_L die Larmorfrequenz mit:

$$\omega_L = g_J \frac{\mu_B}{\hbar} B \quad (3)$$

Grafisch wird die Bewegung in Abbildung 1 dargestellt.

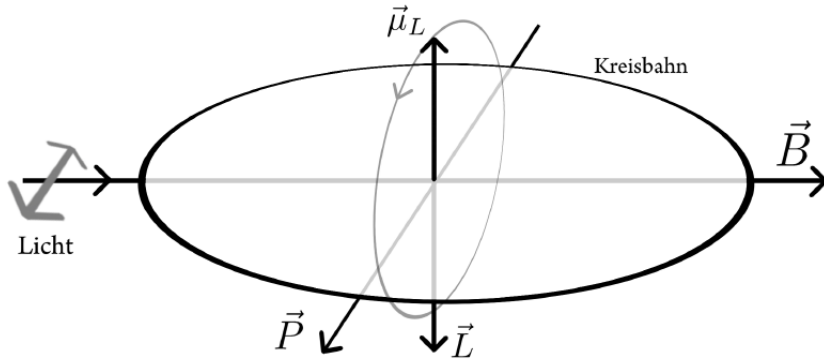


Figure 1: 2: Darstellung der Präzessionsbewegung eines Elektrons mit Dipolmoment \vec{P} , Drehimpuls \vec{L} und magnetischem Moment μ_L bei angelegtem Magnetfeld der Flussdichte B .

Sind Polarisation (und somit auch Dipolachse) zum Zeitpunkt der Absorption parallel zur Beobachtungsebene gilt $\theta(t) = \omega_L t$ mit $\theta(t=0) = 0$. Das bedeutet für die Intensität:

$$I = C \cdot \int_0^\infty \sin(\phi)^2 e^{-\frac{t}{\tau}} dt = \frac{C\tau}{2} \left(\frac{(2\omega_L\tau)^2}{1 + (2\omega_L\tau)^2} \right) \quad (4)$$

Ist die Beobachtungsrichtung zum Zeitpunkt der Absorption senkrecht zur Polarisationsrichtung gilt: $\theta(t) = \omega_L t + \frac{\pi}{2}$ mit $\theta(t=0) = \frac{\pi}{2}$. Die Intensität lässt sich ähnlich wie in Gleichung 4 beschreiben:

$$I = C \cdot \int_0^\infty \cos(\phi)^2 e^{-\frac{t}{\tau}} dt = \frac{C\tau}{2} \left(2 - \frac{(2\omega_L\tau)^2}{1 + (2\omega_L\tau)^2} \right) \quad (5)$$

Die Gleichung 4 entspricht einer inversen Lorenz-kurve und Gleichung 5 einer normalen. Die Lebensdauer τ dieser Kurven kann über die Breite der Funktion auf halber Höhe (eng: *Full width at half maximum (FWHM)*) bestimmt werden (siehe Abb.2). Hierfür gilt:

$$\tau = \frac{\hbar}{g_J \mu_B B_{FW}} \quad (6)$$

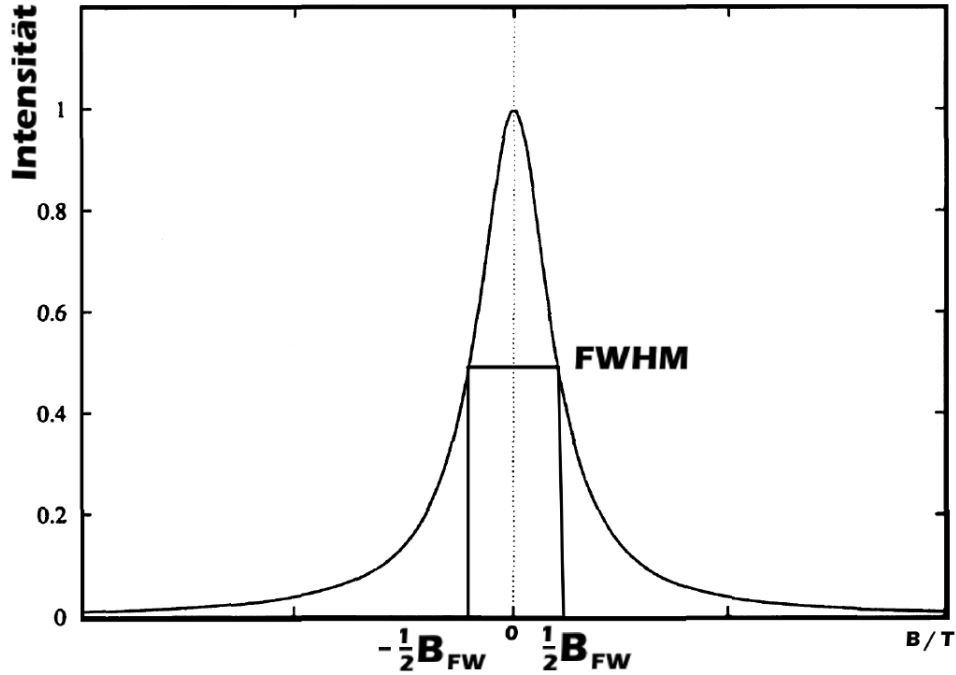


Figure 2: Lorentzkurve mit sichtbare Intensität in Beobachtungsrichtung 0° mit FWHM eingezeichnet.

1.2 Quantenmechanische Erklärung

In der Quantenmechanik wird das Phänomen der Resonanzfluoreszenz durch Interferenz sich überlagernder Zustände beschrieben. Zustände unterschiedlicher magnetischer Quantenzahl m_j sind im Allgemeinen erst einmal energetisch gleich, “entartet“. Die Entartung kann aber durch Anlegen eines Magnetfeldes aufgehoben werden (Zeeman-Effekt). In Spezialfällen verursacht die Kreuzung zweier Niveaus von Zuständen verschiedener Gesamtdrehimpulse, bei bestimmten Magnetfeldstärken, eine weitere Entartung. Liegt keine Energieaufspaltung vor werden die Niveaus kohärent angeregt werden und bei

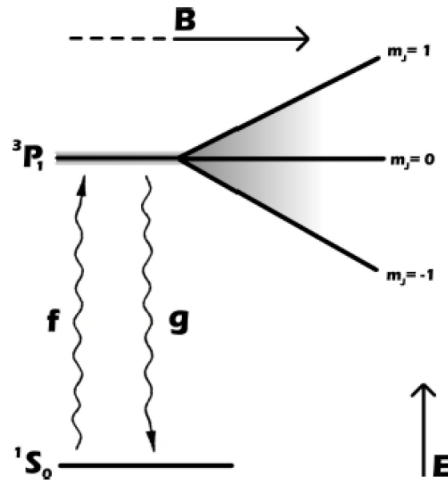


Figure 3: Aufspaltung der Energieniveaus durch m_j in einem Magnetfeld.

Abregung kommt es zur Interferenz mehrerer Zustände des selben Atoms. Damit gilt:

$$I \propto (A_1 + A_2)^2 \quad (7)$$

Bei einer Aufspaltung der Niveaus können die Niveaus getrennt angeregt und abgeregt werden. Für die gesamt Intensität gilt dann:

$$I \propto A_1^2 + A_2^2 \tag{8}$$

2 Tabellen

List of Tables

3 Bilder

List of Figures

1	2: Darstellung der Präzessionsbewegung eines Elektrons mit Dipolmoment \vec{P} , Drehimpuls \vec{L} und magnetischem Moment μ_L bei angelegtem Magnetfeld der Flussdichte B	2
2	Lorentzkurve mit sichtbare Intensität in Beobachtungsrichtung 0° mit FWHM eingezeichnet.	3
3	Aufspaltung der Energieniveaus durch m_j in einem Magnetfeld.	3

4 Bibliograpy

References

- [1] Eric Jones, Travis Oliphant, Pearu Peterson, et al. Python3 package `scipy.optimize` for curve fitting., 2001–.

5 Anhang