

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Theorie	1
2.1	Hanle-Effekt	1
2.1.1	Halbklassische Erklärung des Hanle-Effekts	1
2.1.2	Quantenmechanische Erklärung	2
2.1.3	Coherence Narrowing	3
3	Versuchsaufbau	3
4	Versuchsdurchführung	5
4.0.1	Kalibrierung	5
4.1	Ergebnisse und Auswertung	7
4.1.1	90 Grad Messung	7
4.1.2	0°C Einstellung	11
4.1.3	45° Messung	13
5	Diskussion	16

Abbildungsverzeichnis

1	Schematischer Versuchsaufbau. Erklärung: (QL)Quecksilberdampf-Niederdrucklampe, (L) Linsen, (IF) Interferenzfilter, (PF) Polarisationsfilter, (QZ) Quecksilberdampf-Resonanzquelle, (PE) Peltierelemente, (HP) Heat-Pipes, (HS) Helmholtz-Spulen [3].	4
2	Symmetrisches Hanle-Signal bei $\phi = 7^\circ$ und Rampenfunktion	5
3	Spannungsrampe	6
4	90 Grad	9
5	Stromrampe bei 90 Grad Messung	9
6	Extrapolation des Coherence Narrowings für 90 Grad Polarisation	11
7	Gesamtansicht für 0 Grad	12
8	Fit 0 Grad	12
9	45 Grad	15

1 Abstract

In diesem Versuch wollen wir die Lebensdauer angeregter Zustände bestimmen, wofür wir beispielhaft den Übergang $^3P_3 \rightarrow ^1S_0$ in Quecksilber betrachten ($6s6p \rightarrow 6s^2$). Bei der Absorption von linear polarisiertem Licht wird ein Hg-Atom zu einem oszillierenden Dipol, dessen Dipolachse abhängig von der Polarisierung des absorbierten Photons ist. Der Hanle-Effekt besagt, dass man mit Hilfe eines senkrecht zur Polarisierungsebene angelegten Magnetfeldes, das beim Rückgang in den Grundzustand emittierte Licht sichtbar machen kann. Indem wir bei verschiedenen Temperaturen die Intensität messen, können wir die Lebensdauer der angeregten Zustände durch Extrapolation bestimmen.

2 Theorie

2.1 Hanle-Effekt

2.1.1 Halbklassische Erklärung des Hanle-Effekts

Die Elektronen des Hg-Atoms, die durch die Photonenabsorption in einen angeregten Zustand übergehen, kann man als oszillierende Dipole ansehen, wobei die Dipolachse parallel zur Polarisationsrichtung des absorbierten Photons ist. Ist diese z.B. in y-Richtung, so strahlt der Dipol aufgrund seiner Abstrahlcharakteristik kein Licht in y-Richtung ab. Wird nun ein Magnetfeld senkrecht zur y-Achse angelegt (z.B. entlang der z-Achse), dann dreht sich die Schwingungsrichtung um die Magnetfeldachse. Das geschieht mit der *Larmorfrequenz*

$$\omega_L = \frac{gJ\mu_B B}{\hbar} \quad (1)$$

und liefert die Bewegungsgleichung

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

wobei μ das magnetische Moment und J die dazugehörige Drehimpulsquantenzahl sind (gilt nur im schwachen Feld).

Bei der Elektronenschwingung handelt es sich um eine gedämpfte Schwingung mit einem phänomenologisch bestimmten Dämpfungsfaktor $e^{-\frac{t}{\tau}}$. Der Winkel zwischen Dipolachse und Beobachtungsrichtung sei ϕ , wodurch bei paralleler Absorption folgt, dass $\phi(t) = \omega_L t$ und $\phi(t=0) = 0$. Wir erhalten dann die Intensität des emittierten Lichts bei angelegtem Magnetfeld durch

$$I = C \cdot \int_0^\infty \sin(\omega_L t)^2 e^{-t/\tau} dt = \frac{C\tau}{2} \left(\frac{(2\omega_L\tau)^2}{1 + (2\omega_L\tau)^2} \right) \quad (3)$$

Der Winkel zwischen Polarisationsrichtung und Richtung des Magnetfeldes ist hier 90° , weswegen dies auch als 90° -Einstellung bezeichnet wird.

Betrachtet man das Ganze nun aus einem senkrechten Blickwinkel, so ist $\phi(t) = \omega_L t + \frac{\pi}{2}$ und $\phi(t=0) = \frac{\pi}{2}$ und es folgt für die Intensität

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

Dies wird auch 0° -Einstellung genannt.

Die erhaltene Kurve ist eine Lorentz-Kurve mit einer Halbwertsbreite $\frac{\hbar}{g_J \mu_B \tau}$, wobei g_J der Landé-Faktor und μ_0 das Bohrsche Magneton angeben. Damit erhält man dann schließlich die Lebensdauer des angeregten Atomzustandes mit

$$\tau = \frac{\hbar}{g_J \mu_0 B_{FW}} \quad (5)$$

wobei B_{FW} die (volle) Halbwertsbreite ist, die man aus der erhaltenen Lorentz-Kurve ablesen kann.

2.1.2 Quantenmechanische Erklärung

Bei dem hier verwendeten Effekt handelt es sich um *Resonanzfluoreszenz*. Das bedeutet, dass es zwischen der Absorption und der anschließend Emission eines Photons durch ein (zwischenzeitlich angeregtes) Atom zu keiner Veränderung der Wellenlänge kommt. Es ist also $\lambda_{abs} = \lambda_{em}$ und $\Delta\lambda = 0$. Es ist außerdem möglich, den hier betrachteten Hanle-Effekt als Spezialfall des so genannten *level – crossings* zu beschreiben. Hierbei werden gleiche Energieniveaus durch das Anlegen eines passenden Magnetfeldes in verschiedene m_J Niveaus aufgespalten (die Erklärung hierfür liefert der Zeemann-Effekt). Der Hanle-Effekt ist der Spezialfall, der bei $B=0$ auftritt. Aufgrund der Aufspaltung kommt es nun zu einer Interferenzerscheinung bei der Resonanzfluoreszenz.

Mit der unten aufgeführten *Breit – Formel* kann man die Emissionsrate der Photonen mit der linearen Polarisationsrichtung $\vec{g}$ bei Bestrahlung der gesamten Probe mit in $\vec{f}$ -Richtung polarisiertem Licht bestimmen.

$$R(\vec{f}, \vec{g}) = N \int_0^\infty R(\vec{f}, \vec{g}, t) dt = N \sum_{mm'} \sum_{\mu\mu'} \frac{f_{m\mu} f_{\mu'm} g_{\mu m'} g_{m'\mu'}}{\Gamma_{\mu\mu'} - i(\omega_{mu} - \omega_{m\mu'})} \quad (6)$$

In unserem Versuchsaufbau betrachten wir den Quecksilberübergang von $^3P_3 \rightarrow ^1S_0$, das heißt wir haben nur einen Grundzustand und wegen $J=1$

drei mögliche Aufspaltungen $m = -1, 0, 1$. Nachdem wir nur Zustände mit zirkularer Polarisierung weiter betrachten, entfällt der $m = 0$ Zustand. Entsprechend ergibt sich die Breit-Formel zu

$$R = \frac{|f_{ab}|^2 |g_{ba}|^2}{\Gamma_b} + \frac{f_{ba} f_{ac} g_{ca} g_{ab}}{\Gamma_{bc} - i(\omega_b - \omega_c)} + \frac{f_{ab} f_{ca} g_{ac} g_{ba}}{\Gamma_{bc} - i(\omega_c - \omega_b)} + \frac{|f_{ac}|^2 |g_{ca}|^2}{\Gamma_c}. \quad (7)$$

Durch weitere Abschätzungen bei großen Magnetfeldern und dadurch größeren Energieabständen, erhält man eine nicht-kohärente Überlagerung und letztlich die Form

$$R = C \cdot \frac{1}{1 + (2\omega_L \tau)}. \quad (8)$$

2.1.3 Coherence Narrowing

Bei der Messung unserer gesuchten Lebensdauer tritt ein Effekt auf, der unsere Messergebnisse verfälscht. Hierbei handelt es sich um das sogenannte *coherence – narrowing*, wobei ein bereits absorbiertes und wieder emittiertes Photon von einem weiteren Atom absorbiert und emittiert wird. Dadurch erhalten wir eine größere Lebensdauer. Um diesen Messfehler zu vermeiden, messen wir die Lebensdauer bei verschiedenen Gastemperaturen, wodurch wir unterschiedliche Dichten haben und durch Extrapolation auf unser gesuchtes Ergebnis kommen können. Hierfür bestimmen wir den Druck mit Hilfe von:

$$\ln(p/p_c) = (T_c/T)(a_1 T_r + a_2 T_r^{1,89} + a_3 T_r^2 + a_4 T_r^8 + a_5 T_r^{8,5} + a_6 T_r^9) \quad (9)$$

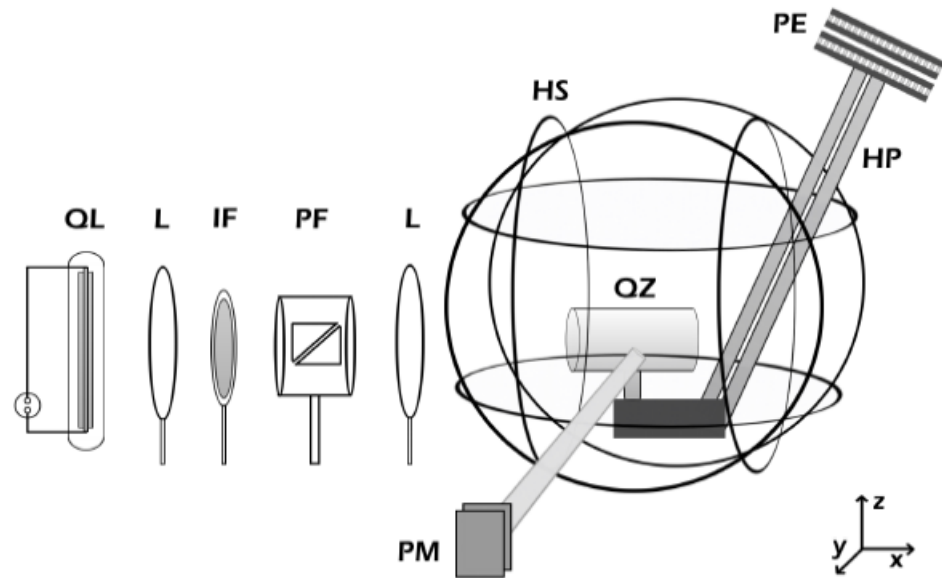
Mit $T_r = 1 - T/T_c$

Die benötigten Konstanten finden sich in 1.

3 Versuchsaufbau

Um die Atome im Quecksilber anzuregen, brauchen wir zuerst eine Lichtquelle, die Licht mit der benötigten Wellenlänge (hier: 253.7nm) emittiert. In unserem Fall ist das eine Quecksilberdampf-Niedrigdrucklampe. In unserem Versuchsaufbau findet sich außerdem ein Interferenzfilter, der alle nicht benötigten Wellenlängen aus unserem Strahlengang herausfiltert (hier mit einem Durchlassbereich von 255 ± 5 nm). Der Strahl wird durch zwei Linsen fokussiert. Um die gewünschte Polarisationsrichtung einzustellen, wird ein Polarisationsfilter verwendet. Anschließend haben wir eine Quecksilber-Resonanzzelle bestehend aus einem Quarzkolben mit 3.5cm Durchmesser

Abbildung 1: Schematischer Versuchsaufbau. Erklärung: (QL) Quecksilberdampf-Niederdrucklampe, (L) Linsen, (IF) Interferenzfilter, (PF) Polarisationsfilter, (QZ) Quecksilberdampf-Resonanzquelle, (PE) Peltierelemente, (HP) Heat-Pipes, (HS) Helmholtz-Spulen [3].



und einer Vertiefung für das flüssige Quecksilber. Mit Hilfe von vier Peltierelementen wird die Anordnung gekühlt, wobei die sich erwärmende Seite zusätzlich mit Wasser gekühlt wird und die Elemente möglichst weit weg von der Zelle angebracht werden, damit keine Störungen entstehen. Durch Heat-Pipes wird hier eine Verbindung hergestellt. Eingeschlossen wird das ganze durch drei Helmholtz-Spulen (mit jeweils 56 Windungen), von denen zwei äußere Magnetfelder kompensieren und eine zum Herbeiführen des Zeeman-Effekts verwendet wird. Durch einen ebenfalls von außen angebrachten Photomultiplier erhalten wir unser gesuchtes Fluoreszenzsignal.

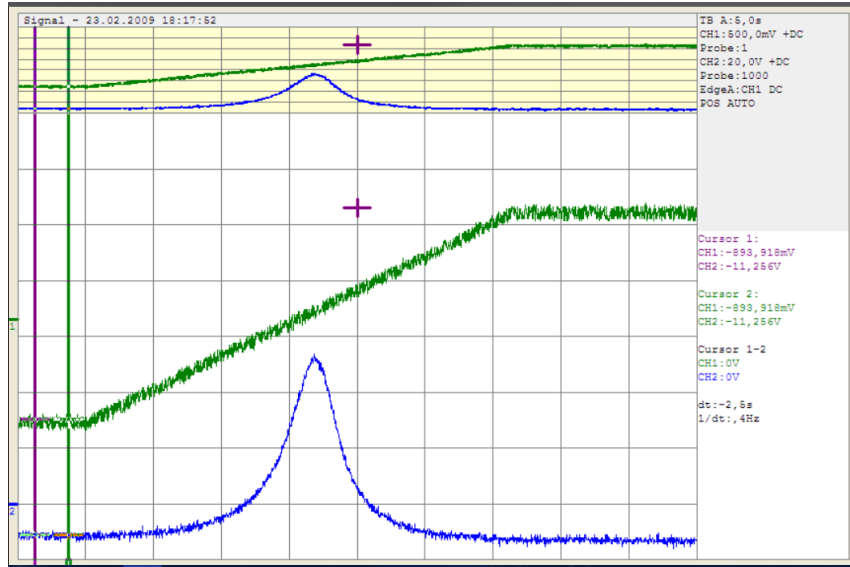


Abbildung 2: Symmetrisches Hanle-Signal bei $\phi = 7^\circ$ und Rampenfunktion

4 Versuchsdurchführung

4.0.1 Kalibrierung

Bevor wir mit den Messungen beginnen, müssen wir unseren experimentellen Aufbau kalibrieren, damit wir keine äußeren Störungen durch das Erdmagnetfeld haben. Dafür stellen wir die zwei eingebauten Helmholtzspulen in y- und z-Richtung so ein, dass der Spannungsunterschied zwischen "Extern" und "Intern" minimal wird. Beim Einschalten und erstmaligen Versuchsdurchlauf sehen wir, dass unser Signal sehr nahe an dem gesuchten Resultat für eine 0° -Polarisation ist. Deswegen führen wir die Kalibrierung als erstes für diese Einstellung durch.

Die hierfür gewählten Ströme sind

$$I_y = -0,0473 \pm 0,0002 A \quad I_z = -0,3142 \pm 0,0001 A \quad (10)$$

In der Versuchsanleitung war bereits angemerkt, dass die Winkelangabe auf dem Polarisationsfilter nicht den korrekten Positionen unserer gesuchten Einstellungen entspricht. Durch Justieren finden wir die folgenden Winkel

$$\phi_{0^\circ} = 6^\circ \quad \phi_{45^\circ} = 51^\circ \quad \phi_{90^\circ} = 96^\circ. \quad (11)$$

Nun kühlen wir unsere Probe mit Hilfe der Kühleinrichtung ab und warten eine angemessene Zeitspanne bis sich die Temperatur in der Probe ungefähr stabilisiert hat. Nach ca. 40 Minuten beginnen wir unsere Messungen

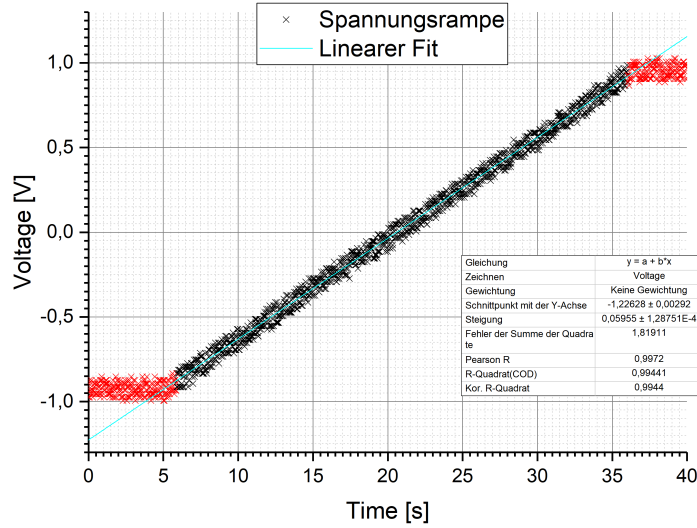


Abbildung 3: Spannungsrampe

bei $T = -18^\circ C$.

Vor der erneuten Versuchsreihe für die 90° Polarisierung kalibrieren wir unser Setup erneut mit der gleichen Methode. Diesmal verwenden wir die Ströme

$$I_y = -0,0453 \pm 0,0002 A \quad I_z = -0,3080 \pm 0,0002 A. \quad (12)$$

Beim erneuten Runterkühlen unseres Experiments kommen wir auf eine Starttemperatur von $T = -12^\circ C$, ebenfalls nach ungefähr 40 Minuten.

Zu Beginn vermessen wir außerdem die angezeigte Spannungsrampe, um später mit Hilfe deren Steigung unsere Werte zurückrechnen zu können. Für die 0° Grad Polarisierung erhalten wir dafür folgende Rampe 3.

Wie wir aus der Graphik ablesen können, erhalten wir eine Steigung von $a = (0,05955 \pm 1,3 \cdot 10^{-4}) \frac{A}{s}$. In der Versuchsanleitung war der Umrechnungsfaktor von $b = 3.363 \cdot 10^{-4} [\frac{T}{A}]$ gegeben. Damit erhalten wir also $a \cdot b = 2.0026665 \cdot 10^{-5} \frac{T}{s}$.

4.1 Ergebnisse und Auswertung

Weil die Auswertung für beide Messreihen nach dem gleichen Prinzip durchgeführt wurden, erläutern wir als erstes ausführlich die 90° Polarisation und anschließend kürzer gefasst die 0° Polarisation. Die Vorgehensweise war bei beiden Reihen die selbe.

4.1.1 90 Grad Messung

Zuerst werden die Helmholtzspulen neu kalibriert. Hierbei werden durch das oben beschriebene Verfahren folgende Werte für die Ströme eingestellt

$$I_y = (-0,0453 \pm 0,002) \text{ A} \quad I_z = (-0,3080 \pm 0,002) \text{ A}. \quad (13)$$

Da die Hanle-Kurven auf dem Oszilloskop mit maximaler Auflösung dargestellt werden sollen, werden sie um ein Offset von $y_{Off} = 2,3V$ verschoben. Da uns nur die FWHM, also die Halbwertsbreite, interessiert, können die Kurven beliebig in y-Richtung verschoben, gestreckt und gestaucht werden ohne die FWHM zu verändern. Zur anschaulicheren Darstellung werden die gemessenen Spannungen folgendermaßen zu relativen Intensitäten des Signals normiert:

$$U_{\text{norm}} = \frac{U_{\text{mess}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \quad (14)$$

Die Werte werden für jede gemessene Temperatur in ein Spannungs-Zeit Diagramm gezeichnet. Daraufhin wird für jeden Datensatz eine Lorentz-Funktion angefitet (siehe Abbildung 4). Die Ergebnisse der Fitparameter sind in Tabelle 1 dargestellt. Zusätzlich sind in der Tabelle χ^2 und $K_{\text{kor}} zu jedem Fit notiert. K_{kor} ist der korrigierte Kontingenzkoeffizient und gibt an wie gut die Messwerte zum gewählten Fit passen.$

Da die volle Halbwertsbreite ω ein Parameter der Lorentz-Funktion ist, wird sie mit dem Fit direkt bestimmt.

Allerdings ist sie in Sekunden angegeben, was der Messzeit entspricht. Um sie in Tesla umzurechnen, wurde die Steigung der Stromrampe mittels einer linearen Regression ermittelt. Die hierfür aufgenommenen Messwerte sind in Abbildung 5 dargestellt. Die Lineare Regression ergibt eine Steigung von

$$a = \frac{dI_x}{dt} = (0,1792 \pm 0,0009) \frac{\text{A}}{\text{s}}. \quad (15)$$

Mit dem baulich bedingten Umrechnungsfaktor von $\frac{B}{I} = 3,3363 \cdot 10^{-4} \frac{\text{T}}{\text{A}}$ ergibt sich die Magnetfeldänderung als

$$\frac{dB}{dt} = (60,26 \pm 0,17) \frac{\mu\text{T}}{\text{s}}. \quad (16)$$

Der Fehler berechnet sich hierbei aus dem Fehler auf die Steigung der Regressionsgeraden. Hiermit kann dann die FWHM in T bestimmt werden.

$$\text{FWHM} = \omega \cdot \frac{dB}{dt} \quad (17)$$

Diese Werte sind ebenfalls in Tabelle 1 dargestellt. Der Fehler berechnete sich dieses Mal aus dem Fehler der Halbwertsbreite und dem Fehler der Steigung

$$s_{\text{FWHM}} = \text{FWHM} \cdot \sqrt{\left(\frac{s_{\omega}}{\omega}\right)^2 + \left(\frac{s_a}{a}\right)^2}. \quad (18)$$

Diese Halbwertsbreite ist nun in der Einheit Tesla und kann in Gleichung 5 eingesetzt werden um die mittlere Lebensdauer τ zu berechnen.

$$\tau = \frac{\hbar}{g_J \mu_B B_{FW}}. \quad (19)$$

Als Literaturwerte werden

$$\hbar = 1,0545718 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad \mu_B = 9,274 \cdot 10^{-24} \frac{\text{J}}{\text{T}} \quad g_J = 1,4838 \quad (20)$$

verwendet. Die mittleren Lebensdauern sind ebenfalls in Tabelle 1 zu finden.

Um die durch das Coherence narrowing verursachte Verlängerung der Lebensdauer herauszurechnen, soll die Dichte gegen 0 extrapoliert werden. Hierfür genügt es wie in der Versuchsanleitung beschrieben, den Druck gegen 0 zu extrapolieren. Dieser kann mit Hilfe von Gleichung 9 aus der Temperatur berechnet werden.

$$p = p_c e^{(T_c/T)(a_1 T_r + a_2 T_r^{1,89} + a_3 T_r^2 + a_4 T_r^8 + a_5 T_r^{8,5} + a_6 T_r^9)}. \quad (21)$$

Die Extrapolation gegen $p = 0$ ist in Abbildung 6 dargestellt.

Durch den linearen Fit erhalten wir ein Endergebnis für die Lebensdauer von

$$\boxed{\tau_0 = 97,0 \pm 0,6 \text{ ns}}. \quad (22)$$

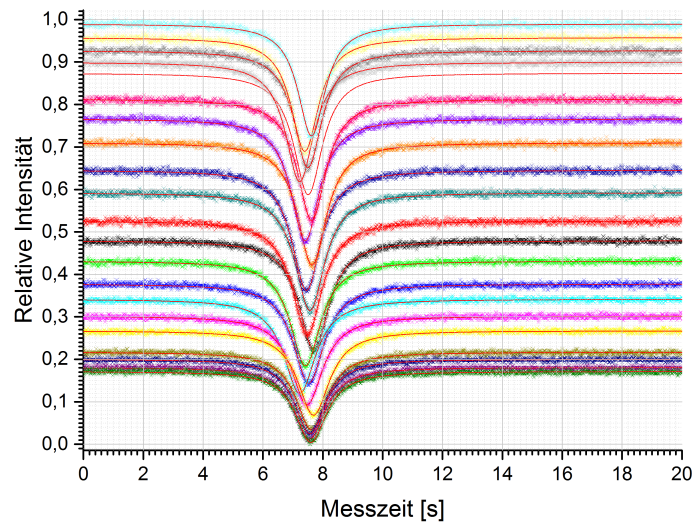


Abbildung 4: 90 Grad

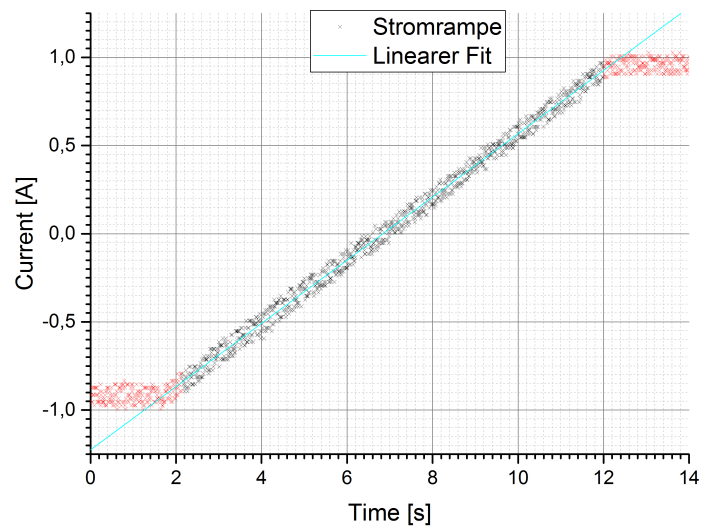


Abbildung 5: Stromrampe bei 90 Grad Messung

Fitparameter										daraus berechnet			
T	y_0	s_{y_0}	x_c	s_{x_c}	w (FWHM)	s_w	A	s_A	χ^2	K_{kor}	FWHM	s_{FWHM}	τ
in °	-	-	in s	in s	in s	in s	-	-	-	-	in μT	in μT	in ns
-12	0,171360	0,000105	7,6020	0,0021	1,271	0,006	-0,3334	0,0013	1,46E-05	0,98733	76,6	0,5	100,0
-11	0,171360	0,000105	7,6020	0,0021	1,271	0,006	-0,3334	0,0013	1,46E-05	0,98733	76,6	0,5	100,0
-10	0,180970	0,000100	7,5535	0,0020	1,279	0,006	-0,3403	0,0013	1,34E-05	0,98875	77,1	0,5	99,4
-9	0,200160	0,000101	7,5718	0,0019	1,258	0,006	-0,3466	0,0013	1,37E-05	0,98909	75,8	0,5	101,1
-8	0,216980	0,000108	7,6150	0,0020	1,273	0,006	-0,3635	0,0014	1,55E-05	0,98868	76,7	0,5	99,9
-7	0,267180	0,000105	7,6902	0,0018	1,296	0,006	-0,4043	0,0014	1,47E-05	0,9911	78,1	0,5	98,2
-6	0,301740	0,000111	7,4720	0,0018	1,289	0,006	-0,4227	0,0014	1,64E-05	0,99096	77,7	0,5	98,6
-5	0,341500	0,000113	7,2281	0,0017	1,297	0,005	-0,4521	0,0014	1,69E-05	0,99181	78,1	0,5	98,1
-4	0,377250	0,000115	7,5305	0,0016	1,268	0,005	-0,4646	0,0015	1,77E-05	0,99206	76,4	0,5	100,3
-3	0,431590	0,000117	7,4184	0,0015	1,230	0,005	-0,4770	0,0015	1,83E-05	0,99248	74,1	0,5	103,4
-2	0,479540	0,000119	7,7065	0,0015	1,217	0,005	-0,4936	0,0015	1,91E-05	0,99279	73,4	0,5	104,4
-1	0,526070	0,000132	7,4793	0,0016	1,228	0,005	-0,5159	0,0016	2,34E-05	0,99182	74,0	0,5	103,5
0	0,592320	0,000130	7,5691	0,0015	1,204	0,005	-0,5248	0,0016	2,29E-05	0,99243	72,6	0,5	105,6
1	0,645350	0,000133	7,4526	0,0015	1,184	0,005	-0,5263	0,0016	2,41E-05	0,99223	71,4	0,5	107,4
2	0,710020	0,000128	7,6393	0,0014	1,183	0,004	-0,5351	0,0016	2,24E-05	0,99303	71,3	0,4	107,5
3	0,766230	0,000129	7,4106	0,0014	1,167	0,004	-0,5265	0,0016	2,31E-05	0,99271	70,3	0,4	109,0
4	0,812560	0,000137	7,6263	0,0015	1,167	0,005	-0,5226	0,0017	2,59E-05	0,9917	70,3	0,5	108,9
5	0,873830	0,000134	7,5084	0,0015	1,168	0,005	-0,5247	0,0016	2,46E-05	0,99216	70,4	0,5	108,9
6	0,899420	0,000140	7,2246	0,0016	1,155	0,005	-0,5099	0,0017	2,72E-05	0,99097	69,6	0,5	110,1
7	0,926750	0,000137	7,5008	0,0016	1,146	0,005	-0,4961	0,0017	2,61E-05	0,99092	69,0	0,5	111,0
8	0,957490	0,000139	7,3966	0,0017	1,141	0,005	-0,4796	0,0017	2,67E-05	0,99012	68,7	0,5	111,5
9	0,989460	0,000140	7,6211	0,0017	1,114	0,005	-0,4603	0,0017	2,73E-05	0,98935	67,1	0,5	114,1

Tabelle 1: 90°: Von Origin berechnete Fitparameter und daraus ermittelte Lebensdauer τ für alle Messreihen.

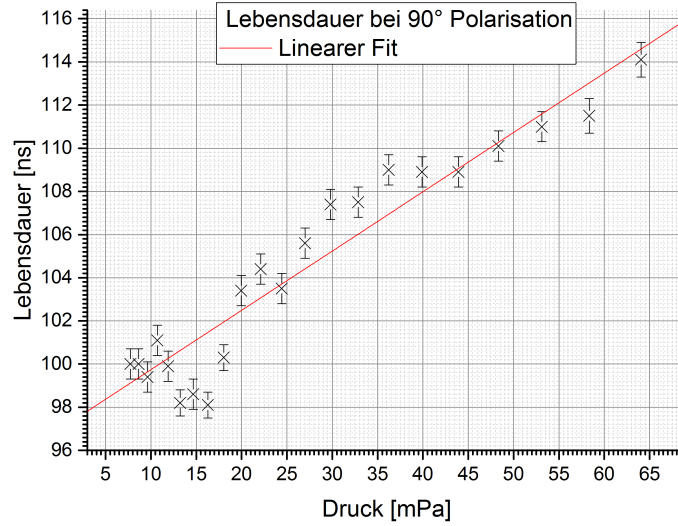


Abbildung 6: Extrapolation des Coherence Narrowings für 90 Grad Polarisation

4.1.2 0°C Einstellung

(Vorgehensweise analog zu oben)

Während der Aufwärmphase unserer Quecksilberprobe nehmen wir für jeden Temperaturschritt eine Messung vor. Wie wir erwartet haben, nimmt die Intensität der aufgenommenen Kurve dabei stückweise zu.

Mit Hilfe von OriginPro erhalten wir somit die einzelnen Halbwertsbreiten unserer Kurven. Diese müssen wir anschließend noch mit unserem oben berechneten Umrechnungsfaktor multiplizieren, um in der Einheit Tesla weiterrechnen zu können. Durch

$$\tau = \frac{\hbar}{gJ\mu_B B_{FW}} \quad (23)$$

erhalten wir die von uns gesuchte Lebensdauer des angeregten Zustandes. Wir bekommen letztlich folgende Ergebnisse (siehe 2)

Als letzten Schritt berechnen wir mit der in der Einleitung gegebenen Formel 9 die verschiedenen Drücke zu den verschiedenen Temperaturen und bekommen

Mit den hier erhalten Messdaten können wir nun die Drücke gegen die Lebensdauern auftragen und durch Extrapolation unseren gesuchten Wert ablesen.

Hier sehen wir, dass der von uns erhaltene Wert

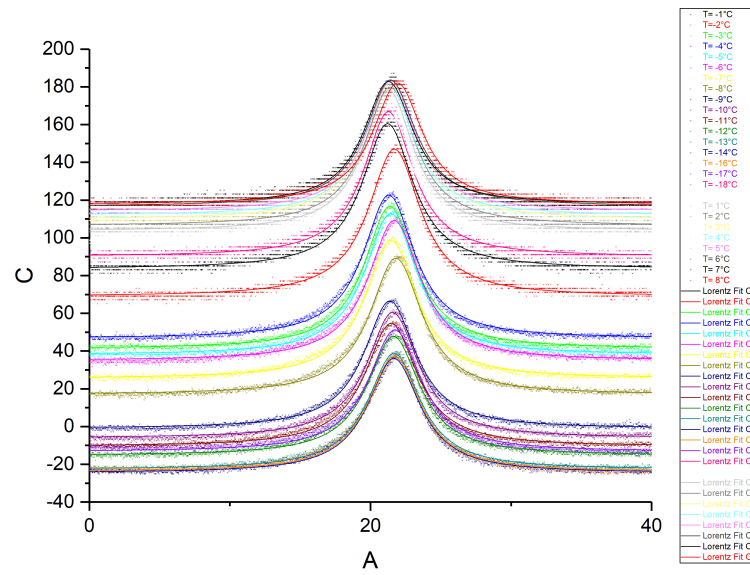


Abbildung 7: Gesamtansicht für 0 Grad

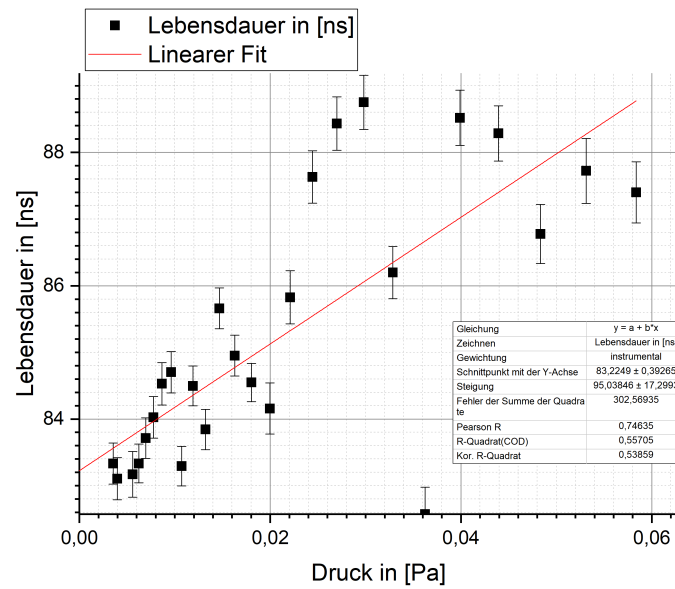


Abbildung 8: Fit 0 Grad

$$\tau = 83,2 \pm 0,4 \text{ ns}$$

(24)

ist.

T in [°C]	FWHM in [s]	s_{FWHM}	FWHM in [μ T]	s_{FWHM}	s_τ	τ in [ns]
-1	4,408	0,021	88,279	4,12E-07	0,4	85,8
-2	4,496	0,020	90,030	4,09E-07	0,4	84,2
-5	4,417	0,016	88,450	3,17E-07	0,3	85,7
-4	4,454	0,016	89,191	3,21E-07	0,3	84,9
-3	4,475	0,015	89,615	3,03E-07	0,3	84,5
-6	4,512	0,016	90,369	3,24E-07	0,3	83,8
-7	4,477	0,016	89,669	3,18E-07	0,3	84,5
-8	4,542	0,016	90,966	3,23E-07	0,3	83,3
-9	4,467	0,016	89,452	3,28E-07	0,3	84,7
-10	4,476	0,017	89,636	3,38E-07	0,3	84,5
-11	4,503	0,017	90,172	3,36E-07	0,3	84,0
-12	4,519	0,016	90,509	3,30E-07	0,3	83,7
-13	4,540	0,016	90,921	3,16E-07	0,3	83,3
-18	4,540	0,017	90,923	3,37E-07	0,3	83,3
-17	4,552	0,017	91,170	3,47E-07	0,3	83,1
-14	4,549	0,019	91,097	3,76E-07	0,3	83,2
0	4,317	0,019	86,462	3,86E-07	0,4	87,6
1	4,278	0,019	85,677	3,88E-07	0,4	88,4
2	4,263	0,019	85,371	3,90E-07	0,4	88,8
3	4,389	0,020	87,900	3,97E-07	0,4	86,2
4	4,582	0,023	91,759	4,52E-07	0,4	82,6
5	4,274	0,020	85,595	3,99E-07	0,4	88,5
6	4,285	0,020	85,822	4,03E-07	0,4	88,3
7	4,360	0,022	87,313	4,44E-07	0,4	86,8
8	4,313	0,024	86,372	4,79E-07	0,5	87,7
9	4,329	0,023	86,690	4,55E-07	0,5	87,4

Tabelle 2: 0 Grad Messwerte

4.1.3 45° Messung

Für die Einstellung des Polarisationsfilters auf 45° sollen einige Temperaturen exemplarisch aufgenommen werden, um die Form der Kurve zu überprüfen. Hierfür wollen wir eine Dispersionskurve an die Messwerte anfitten, da diese dem erwarteten Verlauf entspricht. Die Funktion der Dispersionskurve ist als Ableitung der Lorentzfunktion gegeben. Diese waren beide in der Anleitung gegeben.

T in [°C]	T in [K]	Druck in [Pa]
-1	271,15	0,02209554
-2	270,15	0,019970044
-5	267,15	0,014675637
-4	268,15	0,016275299
-3	269,15	0,018035232
-6	266,15	0,013222753
-7	265,15	0,011904188
-8	264,15	0,010708452
-9	263,15	0,009624953
-10	262,15	0,008643935
-11	261,15	0,007756416
-12	260,15	0,006954136
-13	259,15	0,006229506
-18	254,15	0,003546294
-17	255,15	0,003976396
-14	258,15	0,005575552
0	272,15	0,024428802
1	273,15	0,026988287
2	274,15	0,02979392
3	275,15	0,032867197
4	276,15	0,036231295
5	277,15	0,039911185
6	278,15	0,043933757
7	279,15	0,048327948
8	280,15	0,053124875
9	281,15	0,058357982

Tabelle 3: Temperatur und Drücke

$$\textbf{Lorentz: } I = C \left(\frac{(2\omega_L\tau)^2}{1 + (2\omega_L\tau)^2} \right) \quad (25)$$

$$\textbf{Dispersion: } \frac{d}{d(2\omega_L\tau)} I = C' \left(\frac{(2\omega_L\tau)^2}{(1 + (2\omega_L\tau)^2)^2} \right) \quad (26)$$

Hierbei fällt direkt auf, dass sowohl die Gleichung der Lorentz-, als auch die der Dispersionsfunktion Achsen-symmetrisch sind.

Da die Dispersionskurve die Ableitung der Lorentzfunktion sein soll und nicht die 0 Funktion ist, kann dies aber nicht sein. Es wurde in der Anleitung falsch abgeleitet.

Im folgenden wird die Substitution $x = 2\omega_L\tau$. Damit ergibt sich

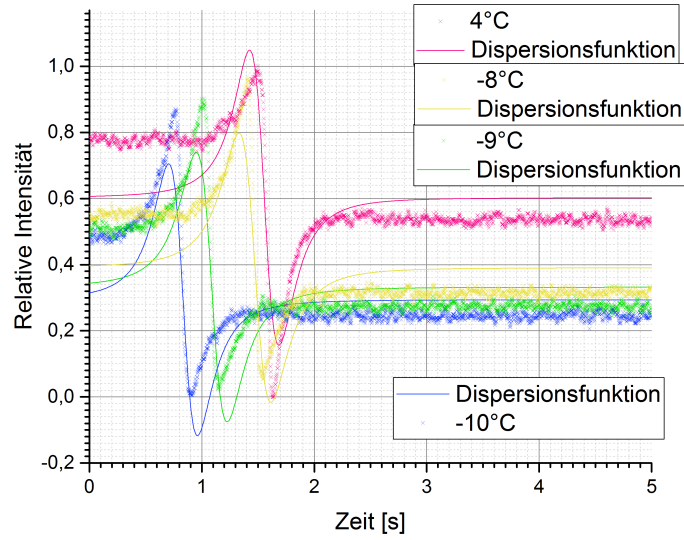


Abbildung 9: 45 Grad

$$I = C \left(\frac{x^2}{1 + x^2} \right) \quad (27)$$

$$\frac{d}{dx} I = C' \frac{2x}{(1 + x^2)^2} = C' \frac{4\omega_L \tau}{(1 + (2\omega_L \tau)^2)^2}. \quad (28)$$

Um die Übereinstimmung unserer Messwerte mit dieser Theorie zu prüfen, wird ein Fit dieser Dispersionsfunktion mit OriginPro durchgeführt. Als Fitparameter werden ω_L , C' , sowie das Offset in x- und y-Richtung angepasst. Die Fits sind in Abbildung 9 dargestellt.

Es fällt eine deutliche Schiefe der Messwerte auf, da die Niveaus auf beiden Seiten der Peaks unterschiedlich hoch sind.

5 Diskussion

Bei unserer ersten Messreihe zu der Polarisations-einstellung von 0° erhalten wir durch Extrapolation eine Lebensdauer von

$$\tau = 83,2 \pm 0,4 ns. \quad (29)$$

Vergleichen wir diesen mit dem gegebenen Literaturwert von $\tau = 119 ns$ fällt auf, dass wir zwar ungefähr in der Größenordnung der gesuchten Lebensdauer liegen, aber trotzdem recht weit entfernt vom eigentlichen Wert sind. Grund dafür ist vermutlich, dass wir zwar kalibriert haben, aber hier auch eine gewisse Ungenauigkeit besteht, wodurch das Erdmagnetfeld doch nicht ganz kompensiert wurde, beziehungsweise weitere störende Magnetfelder hinzukommen. Auch durch das direkt am Versuchsaufbau liegenden elektrische Thermometer kann es zu Störungen in der Messung kommen. Außerdem war der von uns verwendete Polarisationsfilter nicht seiner Skala entsprechend in unseren Aufbau eingebaut. Die richtige Einstellung haben wir durch Kenntnis der Hanle-Kurve ermittelt, in dem verschiedene Einstellungen probiert wurden. Dadurch kann es zu einer fehlerhaften Einstellung für die Polarisation gekommen sein. Die Vermutung, dass unsere Ungenauigkeit durch die Kalibration kommt wird weiter bestärkt, wenn wir uns die beiden Kalibrationen genauer anschauen.

Kalibration 90 Grad:

$$I_y = -0,0453 \pm 0,0002 A \quad I_z = -0,3080 \pm 0,0002 A \quad (30)$$

Kalibration 0 Grad:

$$I_y = -0,0473 \pm 0,0002 A \quad I_z = -0,3142 \pm 0,0001 A \quad (31)$$

Hier sieht man, dass wir für die unterschiedlichen Einstellungen unterschiedliche Ströme angelegt haben, um unsere erwarteten Kurven zu erhalten.

Auffällig ist bei der Versuchsauswertung auch, dass wir während der Versuchsreihen unseren Bildausschnitt vergrößern mussten, um weiterhin alle Kurven aufzeichnen zu können. Dabei sieht man deutlich, dass die Auflösungsqualität deutlich abnimmt. Das kann dann wiederum zu einer fehlerhaften Auswertung führen.

Weiterhin gibt es eine Messungenauigkeit durch die Versuchsanordnung, weil die Temperatur des Quecksilbers nicht direkt gemessen wird, sondern es wird die Temperatur des darunterliegenden Kupferblockes gemessen. Nun ist Quecksilber aber träger als Kupfer und erwärmt sich dadurch langsamer. Dadurch bekommen wir nicht die exakte Temperatur angezeigt, die das Quecksilber zum Zeitpunkt der Messung hat. Eine weitere Ungenauigkeit kann sein, dass das von uns verwendete Thermometer sehr empfindlich

auf die Quecksilberlampe reagiert hat. Durch Wegbewegen des Thermometer von seinem ursprünglichen Platz direkt hinter dem Versuchsaufbau (wo es durch den Kasten einigermaßen gut abgeschirmt war) hat es deutliche Temperaturschwankungen angezeigt. Das wirft die Vermutung auf, dass es trotz der Abschirmung zu einer Verfälschung unserer Temperaturmesswerte gekommen ist. Bei genauerer Überlegung fällt jedoch auf, dass eine ungenau gemessene Temperatur die Kurve lediglich weiter nach rechts verschiebt. Der Schnittpunkt mit der y-Achse sollte sich dadurch allerdings nicht mehr wirklich ändern. Entsprechend sind die Messungenauigkeiten bei der Temperatur wohl weniger dafür verantwortlich, dass der von uns ermittelte Wert weit weg vom eigentlichen Literaturwert ist. Eine wichtige Fehlerquelle allerdings haben wir durch die Art unseres Versuches vermieden. Weil wir hier kein Spektrum aufnehmen sondern lediglich mit einer uns bekannten Wellenlänge arbeiten, vermeiden wir falsche Messdaten und Ungenauigkeiten durch den Doppler-Effekt.

Bei der zweiten Messreihe mit der Einstellung von 90 Grad bekommen wir durch Extrapolation eine Lebensdauer von

$$\tau_0 = 97,0 \pm 0,6 \text{ ns}. \quad (32)$$

Diese liegt nochmal näher an dem Literaturwert, ist aber auch deutlich kleiner als eigentlich angegeben. Die Fehlerquellen hierfür sind analog zu oben.

Bei der Betrachtung unserer 45 Grad Kurve lässt sich gut erkennen, dass es sich um die Ableitung der Lorentz-Funktion handelt. An den Rändern sieht man, dass eine suboptimale Kalibration zu einer Veränderung der Ergebnisse führt, jedoch ist die von uns gesuchte Form noch immer deutlich erkennbar.

Literatur

- [1] [Outline]
Instruction paper published at <http://omnibus.uni-freiburg.de/~phypra/fp/Versuche/FP1/FP1-15-HanleEffekt/> 24.09.2017 13:51
- [2] [Outline]
https://de.wikipedia.org/wiki/Bohrsches_Magneton 11.09.2017
17:07
- [3] [Outline]
https://de.wikipedia.org/wiki/Plancksches_Wirkungsquantum
11.09.2017 17:09