

Fortgeschrittenen-Praktikum

Versuch FP3 Hyperfeinstruktur und Isotopieverschiebung

Melike Karasu
Jana Wisniewski

Versuch: 18.02.19

Betreuer: Marisa Sandhoff

Abstract:

In diesem Versuch soll es darum gehen mithilfe des *Fabry-Pérot*-Interferometer die Hyperfeinstruktur und die Isotopieverschiebung der grünen Thalliumlinie zu bestimmen. Für die Hyperfeinstruktur konnten $H1 = (36,47 \pm 4,33) \text{ m}^{-1}$ und $H2 = (37,54 \pm 4,32) \text{ m}^{-1}$ und für die Isotopieverschiebung $I1 = (5,34 \pm 0,31) \text{ m}^{-1}$ und $I2 = (6,43 \pm 0,45) \text{ m}^{-1}$ ermittelt werden. Zuletzt wurde die Finesse des FPIs mit $F = (319,76 \pm 19,31)$ berechnet werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
2. Theorie	1
2.1. Feinstrukturaufspaltung	1
2.2. Hyperfeinstruktur	1
2.3. Isotopieverschiebung	1
2.4. Termschema von Thallium	2
3. Versuchsaufbau	4
4. Versuchsdurchführung	4
4.1. Untersuchung der Hyperfeinstruktur und der Isotopieverschiebung	4
4.1.1. $d_1 = 7,93 \text{ mm}$	5
4.1.2. $d_2 = 11,53 \text{ mm}$	6
4.1.3. $d_3 = 15,93 \text{ mm}$	7
4.1.4. $d_4 = 4,91 \text{ mm}$	8
4.1.5. Mittelung der Messergebnisse	9
4.2. Finesse des <i>Fabry-Pérot</i> -Interferometer	9
5. Zusammenfassung	10
A. Anhang	10

Abbildungsverzeichnis

1.	Dargestellt sind hier die Termschemata der Thalliumisotope ^{205}Tl und ^{203}Tl [1].	2
2.	Das erwartete Intensitätsspektrum der grünen Thallium - Linie [1].	2
3.	Dargestellt ist der schematische Versuchsaufbau, bei welchem das <i>Fabry-Pérot</i> -Interferometer mit FPI abgekürzt wird.	4
4.	Dargestellt ist das beobachtete Ringmuster bei einem Spiegelabstand von $(7,93 \pm 0,01) mm, sowie die angenommene Intensitätsverteilung.$	5
a.	Beugungsmuster für d_1	5
b.	Aufspaltungsmuster für d_1	5
5.	Dargestellt ist das beobachtete Ringmuster bei einem Spiegelabstand von $(11,53 \pm 0,01) mm, sowie die angenommene Intensitätsverteilung.$	6
a.	Beugungsmuster für d_2	6
b.	Aufspaltungsmuster für d_2	6
6.	Dargestellt ist das beobachtete Ringmuster bei einem Spiegelabstand von $(15,93 \pm 0,01) mm, sowie die angenommene Intensitätsverteilung.$	7
a.	Beugungsmuster für d_3	7
b.	Aufspaltungsmuster für d_3	7
7.	Dargestellt ist das beobachtete Ringmuster bei einem Spiegelabstand von $(4,91 \pm 0,01) mm, sowie die angenommene Intensitätsverteilung.$	8
a.	Beugungsmuster für d_4	8
b.	Aufspaltungsmuster für d_4	8

Tabellenverzeichnis

1.	Steigung m	5
2.	Gemittelte Steigungen	5
3.	Messwerte d_1	6
4.	Messwerte d_2	7
5.	Messwerte d_3	8
6.	Messwerte d_4	8
7.	Mittelwerte der jeweiligen Aufspaltungskategorien aus allen bisher ermittelten Aufspaltungen $\Delta\nu$. Die Aufspaltungen sind folgendermaßen kategorisiert: Die Hyperfeinstrukturaufspaltungen $H_1 = A - \hat{B}$, $H_2 = a - \hat{b}$. Isotopieverschiebungen $I_1 = A - a$, $I_2 = \hat{B} - \hat{b}$	9
8.	d_1	11
9.	d_2	11
10.	d_3	11
11.	d_4	11

1. Einführung

In diesem Versuch gilt es mithilfe des *Fabry-Pérot*-Interferometers die Hyperfeinstruktur-Aufspaltung sowie die Isotopieverschiebung der grünen Thalliumlinie zu untersuchen. Nach der Verifizierung dieser soll weiterhin die Finesse des *Fabry-Pérot*-Interferometer bestimmt werden.

2. Theorie

Zunächst werden in diesem Abschnitt die wichtigsten physikalischen Grundlagen erläutert.

2.1. Feinstrukturaufspaltung

Die Feinstrukturaufspaltung ist der Effekt der magnetischen Wechselwirkung zwischen dem Elektronen-Spin \vec{s} und dem Bahndrehimpuls \vec{l} des Elektrons. Die Spin-Bahn-Kopplung ergibt den Gesamtdrehimpuls $\vec{j} = \vec{s} + \vec{l}$ und führt zu Energieaufspaltungen. Letztere sind zusätzlich von der Ausrichtung der jeweiligen magnetischen Momente zueinander abhängig (antiparallel oder parallel).

2.2. Hyperfeinstruktur

Neben der Feinstrukturaufspaltung existiert noch die Hyperfeinstrukturaufspaltung (nachfolgend HFS), welche 2000-mal kleiner als die Aufspaltung der Feinstruktur ist. Exakt beruht die HFS auf der magnetischen Wechselwirkung zwischen dem Kernspin \vec{I} und dem Elektronenspin \vec{s} . Zur Spin-Bahn-Kopplung der Elektronen koppelt somit der Kernspin an und lässt sich in den Gesamtdrehimpuls $\vec{F} = \vec{I} + \vec{j}$ zusammenfassen. Die Wechselwirkung ergibt im Totalen eine Potenzialdifferenz

$$\Delta U_{HFS} = \vec{\mu}_I \cdot \vec{B}_j = g_I \mu_K B_j \frac{F(F+1) - [j(j+1) + I(I+1)]}{2\sqrt{j(j+1)}}, \quad (2.1)$$

wobei μ_K das Kernmagneton, I den Kernspin, g_I den Landé-Faktor und j den Hüllen Gesamtdrehimpuls darstellen.

2.3. Isotopieverschiebung

Neben der Beobachtung der HFS wird ein weiterer Aufspaltungseffekt in gleicher Größenordnung auffällig. Dieser ist bedingt durch die Isotopen des beobachteten Stoffes. Die sogenannte Isotopieverschiebung ist durch zwei Kerneffekte begründet:

1. Masseneffekt
2. Volumeneffekt

Der **Masseneffekt** beruht auf der Kernmitbewegung, bedingt durch die Hüllenelektronen. Atomkerne weisen eine endliche Masse auf, welche durch die Elektronen mechanisch zur Bewegung gezwungen werden. Somit ist hier die reduzierte Masse zwischen Elektronen und dem Atomkern der ausschlaggebende Grund, welcher zu einer energetischen Anhebung der Elektronenenergien führt. Da Isotopen unterschiedliche Kernmassen aufweisen, variieren die reduzierten Massen. Dadurch ergibt sich eine Verschiebung der Energien der Hüllenelektronen und somit können die beobachteten Isotopen unterschieden werden. Dieser Effekt ist ausgeprägter bei kleineren Kernen.

Werden größere Kerne betrachtet, so besitzen diese einen Einfluss auf kernnahe Elektronen, insbesondere 1-S-Elektronen durch ihr Kernvolumen. Es besteht eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit der 1-S-Elektronen im Kern bedingt durch die Kernausdehnung, dadurch liegt kein reines Coulombpotential mehr am Kern vor und hebt die Energieniveaus der Elektronen in Kernnähe an. Dieser Effekt wird **Volumeneffekt** genannt und ist ausschlaggebend bei Elementen mit größeren Ordnungszahlen.

2.4. Termschema von Thallium

Hier wird der Feinstruktur - Übergang zwischen $^2S_{\frac{1}{2}}$ nach $^2P_{\frac{1}{2}}$ beobachtet. Dieser äußert sich in der grünen Thallium-Linie mit einer Wellenlänge von $\lambda = 535 \text{ nm}$. Unter anderem sollen sich zwei Thalliumisotope, ^{205}Tl und ^{203}Tl , befinden. Dessen Termschema befindet sich in nachfolgender Abbildung 1.

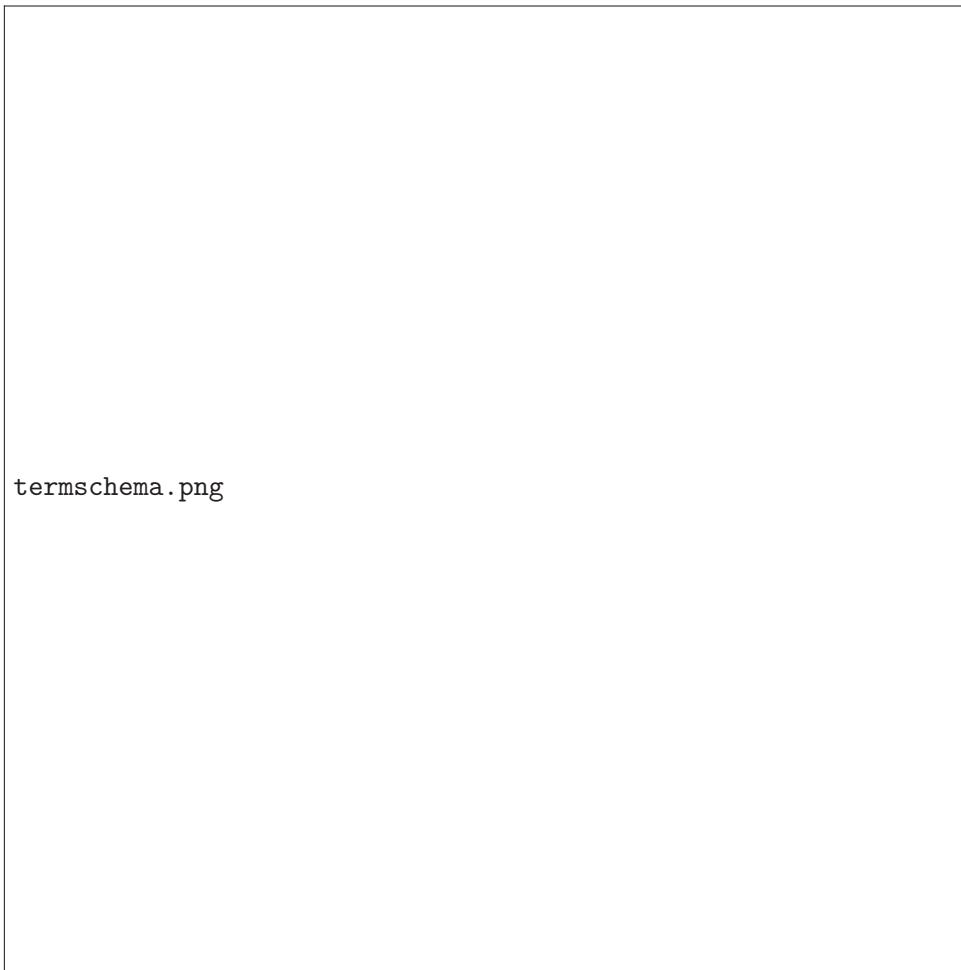


Abbildung 1.: Dargestellt sind hier die Termschemata der Thalliumisotope ^{205}Tl und ^{203}Tl [1].

Gemäß der Auswahlregeln werden für die Thallium - Kerne mit einem Kernspin von $\frac{1}{2}$ insgesamt 3 Übergänge im Bezug auf den Effekt der Hyperfeinstruktur (nachfolgend HFS) erwartet. Bedingt durch die Isotopieverschiebung werden allerdings Aufspaltungen unterschiedlicher Intensitäten erwartet, welche in Abbildung 2 zu sehen sind.

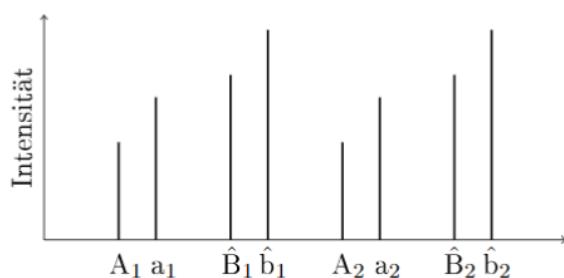


Abbildung 2.: Das erwartete Intensitätsspektrum der grünen Thallium - Linie [1].

Wie hier in Abbildung 2 auffällt, sind jeweils nur zwei HFS - Übergänge zu sehen. Dies liegt daran, dass die Übergänge B,C und b,c so nah beieinander liegen das diese ineinander übergehen. Somit

werden die Übergänge B,C in \hat{B} und b,c in \hat{b} zusammengefasst. Die Indizes in Abbildung 2 stellen hier die Ordnungen p dar.

3. Versuchsaufbau

Um den Effekt der Hyperfeinstruktur und der Isotopieverschiebung untersuchen zu können, wird der Aufbau in Abbildung 3 verwendet, welcher sich insgesamt auf einer optischen Schiene befindet. Weiterhin wird der Versuchsaufbau mithilfe eines gedämpften Tisches vor Erschütterungen geschützt.

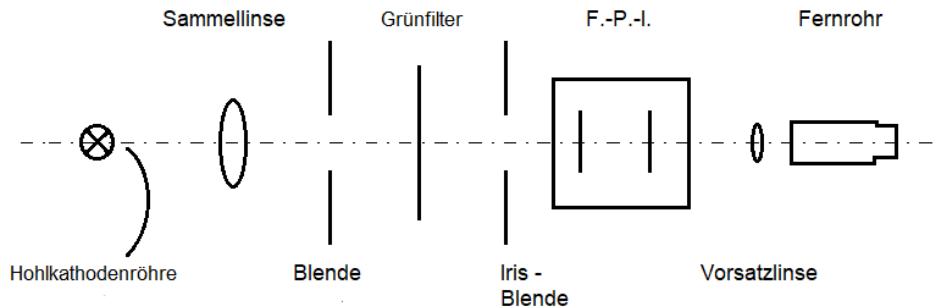


Abbildung 3.: Dargestellt ist der schematische Versuchsaufbau, bei welchem das *Fabry-Pérot-Interferometer mit FPI abgekürzt* wird.

Wird die optische Schiene von links nach rechts betrachtet, so steht dem Versuchsaufbau als Lichtquelle eine Thallium-Lampe zur Verfügung. Zur Fokussierung des Strahls befindet sich hinter dieser eine Sammellinse und eine Blende. Anschließend kann mittels des Grünfilters genau eine Feinstrukturaufspaltung herausgefiltert werden, um mit dieser die Hyperfeinstruktur sichtbar machen zu können. Der nun gefiltert und gebündelte Strahl gelangt durch das FPI über die Vorsatzlinse in das Fernrohr. Die Irisblende, welche sich zwischen dem Grünfilter und dem FPI befindet wird nur zu Justagezwecken verwendet, um den zentralen Einfalls des Lichtstrahles in das FPI gewährleisten zu können. Ist dies nicht der Fall, können die linear polarisierten Emissionslinien nicht untersucht bzw. die Aufspaltung durch das FPI nicht scharf genug eingestellt werden. Um während der Versuchsdurchführung den Spiegelabstand des FPIs messen zu können befindet sich parallel zur optischen Schiene eine weitere optische Bank. Auf dieser kann ein weiteres Fernrohr montiert werden, welche in seitlicher Ausrichtung zum FPI positioniert wird. Mit der im Okular eingefassten Skala kann der Abstand der Interferometerspiegel gemessen werden. Da allerdings diese Skala dimensionslos ist, muss der gemessene Wert mittels Millimeterpapier umgerechnet werden.

4. Versuchsdurchführung

In dem folgendem Abschnitt wird zunächst die Berechnung der Energieübergänge der Hyperfeinstruktur erläutert und darauf die Vermessung der Linienradien mit variierendem Spiegelabstand.

4.1. Untersuchung der Hyperfeinstruktur und der Isotopieverschiebung

Für die Beobachtung der Hyperfeinstruktur und der Isotopieverschiebung der grünen Thalliumlinie gilt es vier verschiedene Spiegeleinstellungen am Fabry - Pérot - Interferometer (nachfolgend FPI) einzustellen. Für die einzelnen Spiegelabstände d_n werden die Radien des Beugungsmusters mithilfe des FPIs und der Skala im Objektiv bestimmt. Aus der Gleichung 2.2 kann die nachfolgende Gleichung abgeleitet werden und zur Berechnung der Energieübergänge der Hyperfeinstruktur, sowie zur Bestimmung der Isotopieverschiebung genutzt werden.

$$\Delta \nu_{lin_a - lin_b} = \frac{1}{2dm} (r_{lin_b}^2 - r_{lin_a}^2) \quad (4.1)$$

In dieser Gleichung entspricht d der Spiegelabstand des FPI, r^2 dem Radius der jeweiligen Beugungslinie im Quadrat. Der Faktor m ergibt sich aus dem in Zeeman bereits hergeleiteten und bestätigten Zusammenhang zwischen der Ordnung der Beugungslinie und dem entsprechenden Radius im Quadrat. Zur Bestimmung des Faktors m werden die Quadrate der Radien der einzelnen Ringkategorien gegen die Ordnungen aufgetragen und daraus die Steigung bestimmt und für alle Ringkategorien gemittelt. Letzteres entspricht dem Faktor m .

Grundsätzlich sollte diese Steigung für alle Spiegeleinstellungen mit einem geeigneten Fehler einheitlich sein. Allerdings wurden in dieser Versuchsreihe folgende Steigungen ermittelt:

Tabelle 1.: Dargestellt sind die aus den Geradenfits der vier Spiegelabstände gewonnenen Steigungen.

	d_1	d_2	d_3	d_4
m	$37,0522 \pm 2,5299$	$18,7349 \pm 0,0862$	$14,3731 \pm 0,0529$	$45,8371 \pm 0,1839$

Interessanterweise ist ein Zusammenhang unter den Steigungen hier zu erkennen. Für die Spiegeleinstellungen d_1 und d_4 erhält man mehr oder weniger Steigungen die um die 41 herum schwanken. Bei diesen Spiegeleinstellungen konnte die erwartete Aufspaltung wie in Abbildung 2 beobachtet werden. Für d_2 und d_3 konnte dieses Aufspaltungsmuster nicht beobachtet werden. Hier überlagerten sich die verschiedenen Linien. Im Hinblick auf die Steigungen letzterer Spiegeleinstellungen schwanken diese um den Wert 16 herum.

Aus dieser Beobachtung heraus und dem Fakt, dass eine Mittelung dieser vier Werte recht un sinnig erscheint, werden im folgenden zwei m -Faktoren für die Berechnungen folgendermaßen genutzt:

Tabelle 2.: Dargestellt sind die gemittelten Steigungen aus Tabelle 1.

	$d_1 \& d_4$	$d_2 \& d_3$
m	$41,445 \pm 0,184$	$16,554 \pm 0,070$

4.1.1. $d_1 = 7,93 \text{ mm}$

Die erste Messreihe wird für einen Spiegelabstand von $(7,93 \pm 0,01) \text{ mm}$ durchgeführt. Daraus ergibt sich das in Abbildung 4a einsehbare Beugungsmuster.

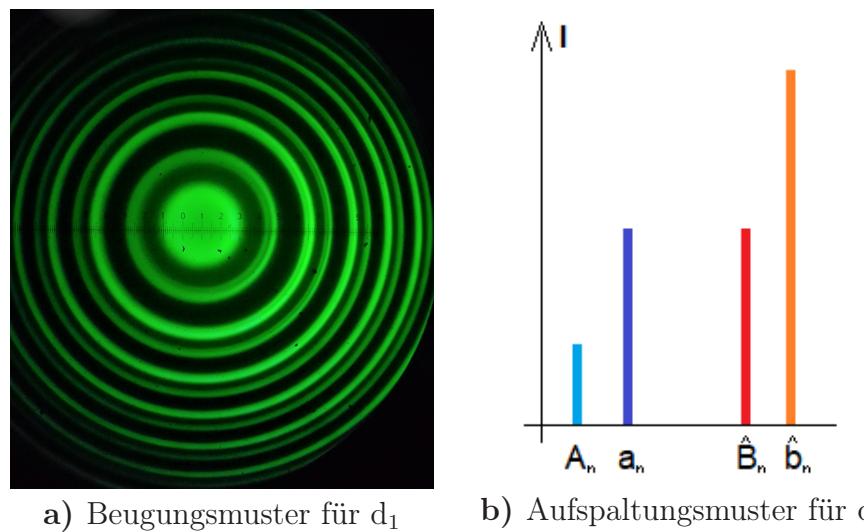


Abbildung 4.: Dargestellt ist das beobachtete Ringmuster bei einem Spiegelabstand von $(7,93 \pm 0,01) \text{ mm}$, sowie die angenommene Intensitätsverteilung.

Das erwartete Intensitätsspektrum ist hier gut sichtbar, wobei dies nicht für das Ringquartett der nullten Ordnung gilt, da dort die Linien zu stark verschwommen sind. Daher werden die Messun-

gen für die nächst höheren Ordnungen vorgenommen, welche in [Tabelle 8](#) im Anhang einsehbar sind. Mit [Gleichung 4.1](#) wurden die jeweiligen Aufspaltungen bestimmt. Dabei entspricht hier, wie auch im Folgenden, $H_1 = A - \hat{B}$, $H_2 = a - \hat{b}$ den Hyperfeinstrukturaufspaltungen innerhalb der Thalliumisotope. $I_1 = A - a$ und $I_2 = \hat{B} - \hat{b}$ stellen die Isotopieverschiebung zwischen den Isotopen dar. Anhand der Formel [Gleichung 4.1](#), sowie der [Tabelle 8](#), wurden die in [Tabelle 3](#) dargestellten Werte berechnet.

Tabelle 3.: Dargestellt sind die Hyperfeinstrukturaufspaltungen, sowie die Isotopieverschiebungen der Elemente Thallium 203 und 205 für die Spiegeleinstellung d_1 . Genutzt wurde die Steigung $m = 41,445 \pm 0,184$.

Ordnung	H_1 in m^{-1}	H_2 in m^{-1}	I_1 in m^{-1}	I_2 in m^{-1}
1	$33,51 \pm 5,35$	$34,57 \pm 6,06$	$5,54 \pm 0,39$	$6,59 \pm 0,36$
2	$30,51 \pm 4,65$	$32,16 \pm 5,40$	$5,03 \pm 0,32$	$6,67 \pm 0,30$
3	$30,11 \pm 5,71$	$29,11 \pm 5,68$	$5,78 \pm 0,41$	$4,78 \pm 0,45$
4	$71,32 \pm 10,38$	$72,21 \pm 10,51$	$5,08 \pm 0,18$	$5,96 \pm 0,56$

Es kristallisiert sich heraus, dass die Hyperfeinstruktur das sechsfache der Isotopieverschiebung ist und deren Fehler um das zwanzigfache kleiner sind. Auch die vergleichsweise hohe Hyperfeinstruktur der vierten Ordnung ist auffällig. Aus [Abbildung 4a](#) ist jedoch ersichtlich, dass die Linienpaare der höheren Ordnung kaum noch unterscheidbar sind und somit der Ablesefehler der Ringgraden größer ist.

4.1.2. $d_2 = 11,53 \text{ mm}$

Die nächste Messung wird mit einem vergrößerten Spiegelabstand von $(11,53 \pm 0,01) \text{ mm}$ durchgeführt. Hieraus ergibt sich das Beugungsmuster in [Abbildung 5a](#) und das zugehörige Aufspaltungsmuster in [Abbildung 5b](#).

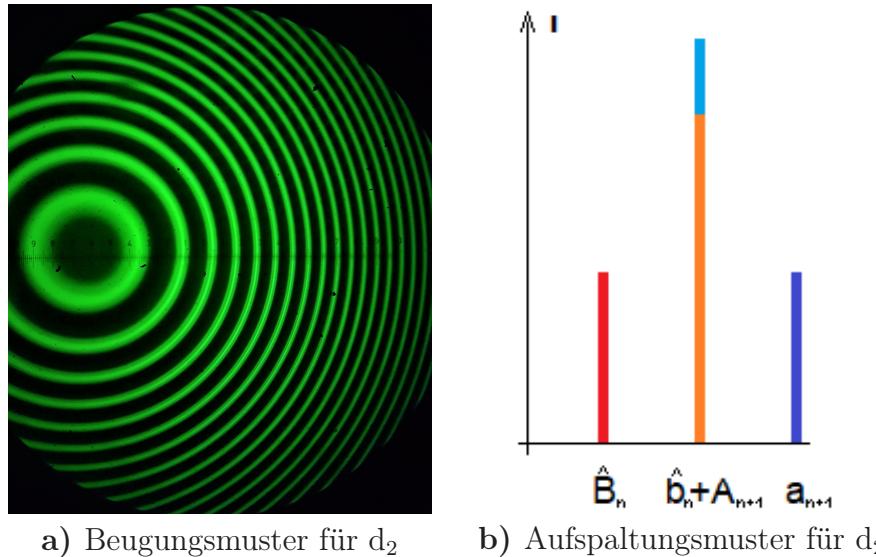


Abbildung 5.: Dargestellt ist das beobachtete Ringmuster bei einem Spiegelabstand von $(11,53 \pm 0,01) \text{ mm}$, sowie die angenommene Intensitätsverteilung.

Schön zu sehen sind hier die von [Abbildung 4a](#) sich unterscheidenden Aufspaltungen, welche vermutlich dem Aufspaltungs-Muster aus [Abbildung 5b](#) entspricht. Dies entspricht nicht den ursprünglichen Erwartungen, nämlich das sich das Muster trotz Änderung des Spiegelabstandes nicht verändert. Daher liegt es nahe, dass die Verschiebung der Linien aus den geometrischen Änderungen des FPIs herrühren. Die quantitative Auswertung ist analog zu [Unterabschnitt 4.1.1](#) mit der [Tabelle 9](#) durchgeführt worden. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden [Tabelle 4](#) einzusehen.

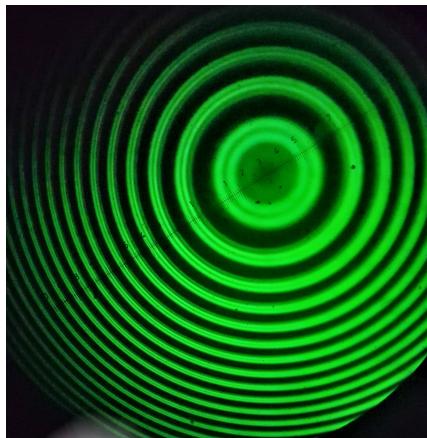
Tabelle 4.: Dargestellt sind die Hyperfeinstrukturaufspaltungen, sowie die Isotopieverschiebungen der Elemente Thallium 203 und 205 für die Spiegeleinstellung d_2 . Genutzt wurde die Steigung $m = 16,554 \pm 0,070$.

Ordnung	H_1 in m^{-1}	H_2 in m^{-1}	I_1 in m^{-1}	I_2 in m^{-1}
0				$8,26 \pm 0,28$
1	$41,80 \pm 3,95$	$44,07 \pm 2,09$	$4,24 \pm 0,37$	$6,51 \pm 0,29$
2	$40,83 \pm 2,88$	$43,63 \pm 3,06$	$4,07 \pm 0,21$	$6,86 \pm 0,49$
3	$43,52 \pm 4,86$	$42,64 \pm 5,00$	$7,07 \pm 0,35$	$6,19 \pm 0,32$
4	$43,32 \pm 4,59$	$42,67 \pm 4,73$	$6,30 \pm 0,31$	$5,65 \pm 0,82$
5			$6,21 \pm 0,29$	

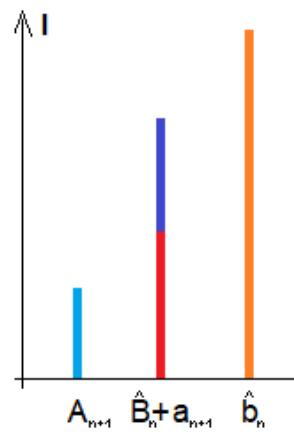
Hier unterscheiden sich die HFS-Aufspaltung und Isotopieverschiebung um einen gemittelten Faktor von 7,5. Auffällig ist, dass gewisse Werte der nullten und fünften Ordnung nicht berechnet werden können. Der Grund dafür liegt darin, dass die Linien aufgrund der Überlagerung nicht mehr zu unterscheiden sind, wie besonders in der nullten bzw. fünften Ordnung der Abbildung 5a zu erkennen ist.

4.1.3. $d_3 = 15,93 \text{ mm}$

Als größten Spiegelabstand wird eine Spiegeldistanz von $(15,93 \pm 0,01) \text{ mm}$ gewählt, wodurch sich das in Abbildung 6a zu erkennende Beugungsmuster ergibt.



a) Beugungsmuster für d_3



b) Aufspaltungsmuster für d_3

Abbildung 6.: Dargestellt ist das beobachtete Ringmuster bei einem Spiegelabstand von $(15,93 \pm 0,01) \text{ mm}$, sowie die angenommene Intensitätsverteilung.

Werden die Linien dieses Beugungsmuster betrachtet, lässt sich wieder eine Konstellation von drei Linien erkennen, wobei die Innerste die geringste Intensität besitzt. Aus dieser Beobachtung kann gefolgert werden, dass die Linien der Hyperfeinstruktur sich mit der nächsten Ordnung teils überlagern, wie es in der schematischen Intensitätsverteilung aus Abbildung 6b ersichtlich ist. Mithilfe des Okulars werden nun die Radien der Linien bestimmt, aus welchen dann die in Tabelle 5 aufgelisteten Aufspaltungen $\Delta\nu$ berechnet werden.

Tabelle 5.: Dargestellt sind die Hyperfeinstrukturaufspaltungen, sowie die Isotopieverschiebungen der Elemente Thallium 203 und 205 für die Spiegeleinstellung d_3 . Genutzt wurde die Steigung $m = 16,554 \pm 0,070$.

Ordnung	H_1 in m^{-1}	H_2 in m^{-1}	I_1 in m^{-1}	I_2 in m^{-1}
0				$5,11 \pm 0,28$
1	$31,12 \pm 2,01$	$32,59 \pm 1,98$	$4,44 \pm 0,22$	$5,90 \pm 0,20$
2	$31,35 \pm 2,15$	$33,50 \pm 3,92$	$4,39 \pm 0,22$	$6,54 \pm 0,19$
3	$32,38 \pm 3,58$	$33,44 \pm 3,86$	$4,17 \pm 0,30$	$5,23 \pm 0,44$
4	$32,17 \pm 4,17$	$32,16 \pm 4,09$	$5,08 \pm 0,31$	$5,07 \pm 0,18$
5				$4,38 \pm 0,18$

Die Vermutung, dass es sich bei dem Beugungsmuster um eine Überlagerung der Linien handelt, kann mit der Berechnung der Verschiebung Δv bestätigt werden. Der Grund dafür, dass einige Werte der nullten und fünften Ordnung nicht berechnet werden können, ist der derselbe wie bei Unterabschnitt 4.1.2.

4.1.4. $d_4 = 4,91 \text{ mm}$

Als vierten Spiegelabstand ist ein sehr Geringer von $(4,91 \pm 0,01) \text{ mm}$ gewählt worden, der unter anderem die Durchführung zur Untersuchung der Finesse des FPIs begünstigen soll. Abbildung 7a zeigt das sich daraus ergebene Beugungsmuster.

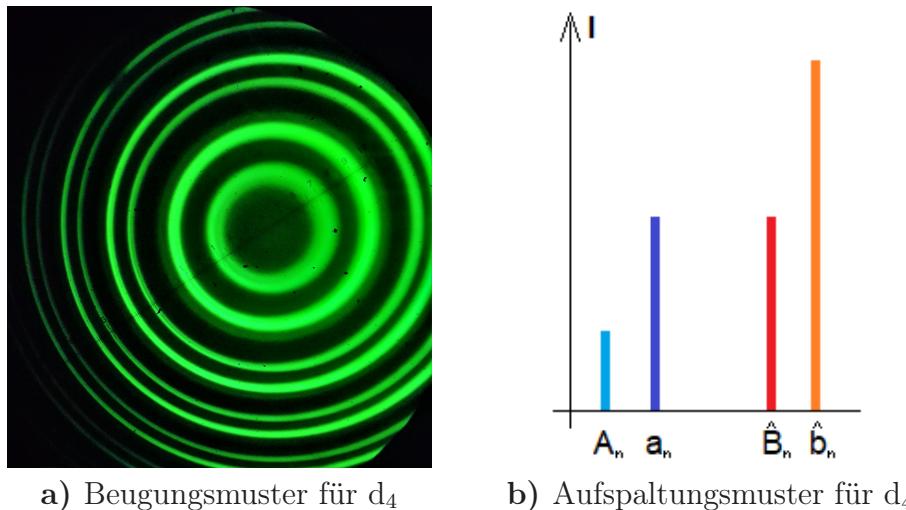


Abbildung 7.: Dargestellt ist das beobachtete Ringmuster bei einem Spiegelabstand von $(4,91 \pm 0,01) \text{ mm}$, sowie die angenommene Intensitätsverteilung.

Die schematische Intensitätsverteilung ist in Abbildung 7b abgebildet und entspricht der Gleichen wie in Unterabschnitt 4.1.1. Der geringere Spiegelabstand sorgt jedoch dafür, dass die nullte Ordnung vermessen werden kann.

Tabelle 6.: Dargestellt sind die Hyperfeinstrukturaufspaltungen, sowie die Isotopieverschiebungen der Elemente Thallium 203 und 205 für die Spiegeleinstellung d_4 . Genutzt wurde die Steigung $m = 41,445 \pm 0,184$.

Ordnung	H_1 in m^{-1}	H_2 in m^{-1}	I_1 in m^{-1}	I_2 in m^{-1}
0	$41,16 \pm 4,08$	$41,02 \pm 3,20$	$6,24 \pm 0,23$	$6,11 \pm 0,35$
1	$40,91 \pm 3,61$	$41,12 \pm 3,21$	$7,22 \pm 0,17$	$7,43 \pm 0,19$
2	$38,03 \pm 3,39$	$43,72 \pm 3,42$	$4,91 \pm 0,04$	$10,61 \pm 0,25$
3	$36,39 \pm 3,89$	$36,68 \pm 2,87$	$5,94 \pm 0,26$	$6,24 \pm 0,28$

Auch hier lässt sich erkennen, dass die Isotopieverschiebung deutlich geringer ist, als die Hyperfeinstruktur, wobei diese wieder vergleichsweise große Fehler aufweist. Eine mögliche Fehlerquelle könnte insbesondere das Ablesen der Ringgraden sein.

4.1.5. Mittelung der Messergebnisse

Es folgt die Bestimmung der allgemeinen Aufspaltungswerte für die grünen Thalliumlinien ^{205}Tl und ^{203}Tl . Hierfür werden die gesammelten Werte jeder Kategorie für sich gemittelt, um einen möglichst statistisch genauen Endwert zu erreichen. Es ergaben sich folgende Werte:

Tabelle 7.: Mittelwerte der jeweiligen Aufspaltungskategorien aus allen bisher ermittelten Aufspaltungen $\Delta\nu$. Die Aufspaltungen sind folgendermaßen kategorisiert: Die Hyperfeinstrukturaufspaltungen $H_1 = A - \hat{B}$, $H_2 = a - \hat{b}$. Isotopieverschiebungen $I_1 = A - a$, $I_2 = \hat{B} - \hat{b}$.

	H_1 in m^{-1}	H_2 in m^{-1}	I_1 in m^{-1}	I_2 in m^{-1}
$\Delta\nu$	$36,47 \pm 4,33$	$37,54 \pm 4,32$	$5,34 \pm 0,31$	$6,43 \pm 0,45$

Wie bereits erwartet sind die gemittelten Hyperfeinstrukturaufspaltungen Vielfache der Isotopieverschiebungen. Es ist ebenfalls zu beobachten, dass die Aufspaltungen mit dem Indize 1 meist kleiner ausfallen als die des Indizes 2. Dies wurde bereits in den Teilauswertungen zuvor beobachtet.

4.2. Finesse des *Fabry-Pérot*-Interferometer

Der letzte Versuchsteil besteht darin die Finesse des FPIs zu vermessen. Dies geschieht indem der Spiegelabstand soweit verringert wird, bis die Isotopieverschiebung gerade nicht mehr zu erkennen ist. Die letzte Spiegeleinstellung (vgl. [Unterabschnitt 4.1.4](#)) begünstigt diese Vermessung, da so bei geringer Veränderung des Spiegelabstandes das Beugungsmuster weiterhin scharf ist. Somit ist genauer festzustellen, an welchem Punkt die Linien nicht mehr auseinander gehalten werden können. Diesbezüglich wurde zu Referenzzwecken die Isotopieverschiebung von A und a genutzt. Diese entsprach einer Differenz von $\Delta\nu = (5,34 \pm 0,31) \text{ m}^{-1}$, welche auch zur Berechnung der Finesse genutzt wird. Der gesuchte Spiegelabstand beträgt 5 SE und entspricht umgerechnet $d_{min} = (3,34 \pm 0,01) \text{ mm}$. Anhand der Formel

$$F = \frac{1}{(\pi d_{min} \Delta\nu)^2} \quad (4.2)$$

konnte eine Finesse von

$$F = 319,76 \pm 19,31$$

ermittelt werden.

Die Finesse eines Fabry-Pérot-Interferometers kann zwischen 30 und der Größenordnung 10^5 liegen. Der Finessen-Wert F gibt die Schärfe der Intereferenzringe des jeweiligen FPI's wieder und je größer der Finessen-Wert, umso besser ist die Auflösung des betrachteten FPI's. Dementsprechend dürfte das für diesen Versuch genutzte FPI mit einer Finesse von knapp über 300 eine gute Auflösung besitzen, welches sich ebenfalls in den relativ niedrigen Fehlern der jeweiligen Aufspaltungen widerspiegelt.

5. Zusammenfassung

In dieser Versuchsreihe galt es, sowohl die Hyperfeinstrukturaufspaltung, wie auch die Isotopieverschiebung der grünen Thalliumlinie zu untersuchen. Ein weiterer Punkt war es die Finesse des dazu verwendeten *Fabry-Pérot-Interferometers* zu bestimmen.

Für diese Untersuchung wurden vier verschiedene Spiegelabstände eingestellt, welche zu verschiedenen Beugungsmustern führten. Anhand dieser Beugungsmuster konnten die einzelnen Ringradien der verschiedenen Ordnung vermessen werden. Das Quadrat der Radien, aufgetragen gegen die Ordnung, führte zu vier Geradenfits, mithilfe deren Steigungen im weiteren Verlauf die Energietübergänge der Hyperfeinstruktur, sowie der Isotopieverschiebung, berechnet wurden. Die Steigungen (siehe Tabelle 1) ließen sich dabei zu zwei verschiedenen Paaren in einem jeweils ähnlichen Wertebereich zusammenfassen. Diese Methode wurde angewendet, da die beiden Paare zueinander eine unerwartet große Differenz aufwiesen ($\Delta m_{min-max} = 24,89$), weshalb die darauf folgende Mittelwertbildung nur für die jeweiligen Paare berechnet wurde. Aufgrund dessen ergaben sich 2 Steigungen welche für die passenden Spiegelabstände eingesetzt werden können. Die Verschiebungen Δv der Spiegelabstände ($11,53 \pm 0,01$) mm und ($15,93 \pm 0,01$) mm wurden daher mit der geringeren Steigung $m = (16,554 \pm 0,070)$ berechnet. Analog dazu wurde die größere Steigung $m = (41,445 \pm 0,184)$ für die geringeren Spiegelabstände ($4,91 \pm 0,01$) mm und ($7,93 \pm 0,01$) mm verwendet. Aus allen vier Messungen konnte bestätigt werden, dass die Isotopieverschiebung mit $I1 = (5,34 \pm 0,31) \text{ m}^{-1}$ und $I2 = (6,43 \pm 0,45) \text{ m}^{-1}$ um ein Vielfaches kleiner ist als die Hyperfeinstruktur mit $H1 = (36,47 \pm 4,33) \text{ m}^{-1}$ und $H2 = (37,54 \pm 4,32) \text{ m}^{-1}$. Außerdem konnte die Theorie dahingehend bestätigt werden, dass sich bei immer größer werdenden Spiegelabstand die Aufspaltungen mit den nächst höheren Ordnungen überlappen. Als Abschluss des Versuches wurde die Finesse des *Fabry-Pérot-Interferometers* zu $F = (319,76 \pm 19,31)$ (vgl. Abschnitt 4.2) bestimmt. Verglichen mit den Beugungsmustern der vorherigen Messungen erklärt diese Finesse die scharfe Auflösung dieser und der geringen Fehlern der Verschiebungen Δv . Abschließend kann behauptet werden, dass der Versuch erfolgreich durchgeführt worden ist und die Hyperfeinstruktur sowie die Isotopieverschiebung der grünen Thalliumlinie beobachtet werden konnten.

A. Anhang

Hier befinden sich die jeweiligen Messwerttabellen zu den unterschiedlichen Spiegeleinstellungen des FPI.

Geradenfits einfügen

Hallo Welt!

Tabelle 8.: d₁

p	A	A^2	a	a^2	\hat{B}	\hat{B}^2	\hat{b}	$\hat{\theta}^2$
1	4,35 ± 0,20	18,92 ± 1,74	4,75 ± 0,20	22,56 ± 1,90	6,40 ± 0,10	40,96 ± 1,28	6,73 ± 0,15	45,290 ± 2,02
2	7,40 ± 0,10	54,76 ± 1,48	7,62 ± 0,10	58,06 ± 1,52	8,65 ± 0,05	74,820 ± 0,87	8,90 ± 0,10	79,21 ± 1,78
3	9,40 ± 0,10	88,36 ± 1,88	9,60 ± 0,10	92,16 ± 1,92	10,40 ± 0,10	108,16 ± 2,08	10,55 ± 0,10	111,303 ± 2,11
4	11,05 ± 0,10	122,10 ± 2,21	11,20 ± 0,10	125,44 ± 2,24	13,00 ± 0,10	169,00 ± 2,60	13,15 ± 0,10	172,923 ± 2,63

Tabelle 9.: d₂

p	\hat{B}_n	$\hat{b}_{n+1} + A_{n+1}$	($a_n + \hat{B}$) ²	a	a^2
0	2,10 ± 0,30	4,41 ± 1,26	2,75 ± 0,15	7,563 ± 0,83	
1	4,85 ± 0,10	23,52 ± 0,97	5,10 ± 0,05	26,010 ± 0,51	3,03 ± 0,30
2	6,45 ± 0,10	41,60 ± 1,29	6,65 ± 0,10	44,22 ± 1,33	5,25 ± 0,10
3	7,80 ± 0,10	60,84 ± 1,56	7,95 ± 0,05	63,203 ± 0,80	6,85 ± 0,10
4	8,93 ± 0,60	79,75 ± 1,79	9,05 ± 0,05	81,903 ± 0,91	8,10 ± 0,10
5					9,18 ± 0,07

Tabelle 10.: d₃

p	A	A^2	$a_{n+1} + \hat{B}$	$(a_{n+1} + \hat{B})^2$	a	\hat{b}	$\hat{\theta}^2$
0		0,7225 ± 0,60	1,75 ± 0,25	3,0625 ± 0,88	2,40 ± 0,20	5,76 ± 0,96	
1	0,85 ± 0,35	14,823 ± 0,77	4,15 ± 0,10	17,223 ± 0,83	4,50 ± 0,10	20,25 ± 0,90	
2	3,85 ± 0,10	29,16 ± 1,08	5,60 ± 0,10	31,36 ± 1,12	5,90 ± 0,10	34,81 ± 1,18	
3	5,40 ± 0,10	43,56 ± 1,32	6,80 ± 0,10	46,24 ± 1,36	7,00 ± 0,10	49,00 ± 1,40	
4	6,60 ± 0,10	58,22 ± 0,76	7,78 ± 0,05	60,528 ± 0,78	7,95 ± 0,05	63,203 ± 0,79	
5		7,63 ± 0,05					

Tabelle 11.: d₄

p	A	A^2	a	a^2	\hat{B}	\hat{B}^2	\hat{b}	$\hat{\theta}^2$
0	2,60 ± 0,15	6,760 ± 0,78	3,05 ± 0,20	9,303 ± 1,22	4,85 ± 0,15	23,523 ± 0,023	5,10 ± 0,17	26,01 ± 0,03
1	7,25 ± 0,05	52,563 ± 0,73	7,45 ± 0,05	55,503 ± 0,75	8,32 ± 0,05	69,222 ± 0,003	8,50 ± 0,05	72,250 ± 0,003
2	9,95 ± 0,005	99,00250 ± 0,10	10,05 ± 0,005	101,003 ± 0,10	10,70 ± 0,05	114,490 ± 0,003	10,90 ± 0,05	118,810 ± 0,003
3	12,05 ± 0,05	145,20 ± 1,21	12,15 ± 0,05	147,623 ± 1,22	12,65 ± 0,05	160,023 ± 0,003	12,75 ± 0,05	162,563 ± 0,003

Literaturverzeichnis

- [1] MELANIE JOAN WEITZ, Jan Mathis G.: *Protokoll Fabry-Perot-Interferometer: Zeeman und Hyperfeinstruktur*
- [2] Finesse:. <https://de.wikipedia.org/wiki/Fabry-P%C3%A9rot-Interferometer>