

Der Zeeman-Effekt

Mit Hilfe des Bruker-Magneten und dem Fabry-Perot-Interferometers des PL's untersuchten wir bei einer Cd-Lampe die Aufspaltung der entarteten n,l -Energieniveaus in die aufgespalteten n,l,m -Energieniveaus. Nach langem Justieren konnte der Zeeman-Effekt qualitativ nachgewiesen werden.

PI-Gruppe:

268

Tutor:

Cornelia Sing

Gruppe:

Diana Bednarczyk

Matthias Sturm

Heinrich Südmeyer

Ramin Torabi

Fabian Fleischer

René Könnecke

<u>1.</u>	<u>KURZE UMRANDUNG</u>	2
<u>2.</u>	<u>DER ZEEMAN-EFFEKT</u>	2
<u>3.</u>	<u>DAS FABRY-PEROT-INTERFEROMETER</u>	5
	<u>Aufbau:</u>	5
	<u>Funktionsweise:</u>	5
<u>4.</u>	<u>AUFBAU</u>	7
	<u>Geräteliste:</u>	7
	<u>Letztendlicher Versuchsaufbau:</u>	7
<u>5.</u>	<u>DURCHFÜHRUNG</u>	10
	<u>1.Versuchstermin:</u>	10
	<u>2.Versuchstermin:</u>	12
	<u>3.Versuchstermin:</u>	15
<u>6.</u>	<u>AUSWERTUNG</u>	16
<u>7.</u>	<u>RESÜMEE</u>	16
<u>8.</u>	<u>LITERATURVERWEIS:</u>	17

1. Kurze Umrandung

In dem letzten Jahrhundert entdeckte man, dass der Zustand eines Elektrons mit vier Quantenzahlen beschrieben werden kann. Das war zu dieser Zeit revolutionär. Man konnte sich nicht richtig vorstellen oder schwer vorstellen, ein Elektron oder überhaupt Materie habe Welleneigenschaften. Heute ist es bereits selbstverständlich. Die aus der Quantenmechanik folgenden Bedingungen werden benutzt, wie ein ganz normales Hilfsmittel. Sie finden Anwendung in täglich gebrauchten physikalischen Geräten, wie z.B. dem Rastertunnelmikroskop. Doch was beschreiben die vier Quantenzahlen nun wirklich? Alle vier Quantenzahlen beschreiben genau den energetischen Zustand eines Elektrons. Wir wollten eine Quantenzahl, besser gesagt, das was sie beschreibt, näher untersuchen.

Die Magnetquantenzahl. Die Magnetquantenzahl beschreibt Energiezustände in n, l, m – Energieniveaus. Das Schöne an dieser Quantenzahl ist die Tatsache, dass sie mit relativ einfachen Mitteln nachgewiesen werden kann. Es reichen die Geräte des PI's um einen qualitativen Nachweis zu erbringen. Jedoch wird man im Laufe des Protokolls feststellen, dass relativ einfach nicht gleich einfach ist. Dazu jedoch später.

Hat man den Aufbau des Versuches beendet und alles richtig justiert, so erkennt man im Fabry-Perot-Interferometer Ringe. Je mehr sich die Radien der Ringe unterscheiden, um so besser war das Justieren. Ideal wäre natürlich nur einen scharf abgegrenzten Ring zu sehen, doch ist das nur sehr schwer möglich.

Schaltet man nun den Bruker-Magneten ein, so spalten sich die Ringe in jeweils drei neue Ringe auf. Diese drei Ringe zeigen die zwei Schwingungsebenen des elektrischen Feldes. Mit einem Polarisationsfilter konnten die zwei Schwingungsebenen des elektrischen Feldes unterschieden werden. Die Aufspaltung der Ringe ist ein Beweis für die Aufspaltung der Energieniveaus in einem Magnetfeld.

Dieser Effekt der Aufspaltung der Energieniveaus in einem Magnetfeld nennt man Zeeman-Effekt.

2. Der Zeeman-Effekt

Eine tiefere Beschreibung des Effektes, als wir sie hier wiedergeben werden, findet man im Demtröder Seite 139 bis Seite 141.

Wichtig zu wissen ist vor allem, dass der Bahndrehimpuls \vec{l} gequantelt ist.

Es gilt: $|\vec{l}| = \sqrt{l(l+1)} \cdot \hbar$ mit l – Drehimpulsquantenzahl.

Dies führt dazu, dass auch das magnetische Moment gequantelt ist:

$$\mu_e = -\frac{e}{2m_e} \cdot \vec{l} \quad \text{mit } e \text{ – Elementarladung und } m_e \text{ – Masse des Elektrons.}$$

Das wiederum führt zu der Quantelung der potentiellen Energie eines magnetischen Dipols in einem äußeren Magnetfeld B .

Es gilt nämlich unter der Annahme, dass das Magnetfeld parallel zur z – Richtung ausgerichtet ist: $\Delta E_{pot} = \mu_B \cdot m \cdot B$

wobei $\mu_B = 9,274015 \text{ J/T}$ ist und als Bohrsche Magneton bezeichnet wird.

Das Formelzeichen „ m “ steht in dieser Gleichung für die magnetische Quantenzahl und kann die ganzzahligen Werte $-l \leq m \leq l$ annehmen.

Ein Zustand (n,l,m) erhält somit, durch das angelegte Magnetfeld B , eine Zusatzenergie der Größe: $\Delta E_m = \Delta E_{pot}$.

Die Gesamtenergie lautet damit, ohne Betrachtung der Spinquantenzahl:

$$E_{n,l,m} = E_{Coul}(n,l) + \mu_B \cdot m \cdot B$$

Liegt kein äußeres Magnetfeld an, so sind die $(2l + 1)$ – Zustände bzw. m – Zustände entartet. Das heißt alle m – Zustände mit gleicher Haupt- und Nebenquantenzahl haben die gleiche Energie.

Liegt ein äußeres Magnetfeld an, so spalten sich die entarteten Zustände in die $(2l + 1)$ Zeeman – Komponenten auf, deren Abstand ΔE sich berechnet durch

$$\Delta E = E_{n,l,m} - E_{n,l,m-1} = \mu_B \cdot B$$

Da ΔE unabhängig von den Quantenzahlen ist, müssten die Zeeman-Komponenten immer die gleiche Energiedifferenz haben, egal welche Zustände wir in den Haupt- bzw. Nebenquantenzahlen betrachten. Dies gilt jedoch nur, wenn der Gesamtspin Null beträgt. Tiefere Betrachtungen und die Erklärung des anomalen Zeeman-Effekt werden in diesem Protokoll vorenthalten. Es sei nur erwähnt, dass der anormale Zeeman-Effekt auftritt, wenn der Gesamtspin ungleich Null ist.

„Diese Aufspaltung von entarteten Energieniveaus in $(2l + 1)$ Komponenten auf Grund des mit dem Bahndrehimpuls $|\vec{l}| = \sqrt{l(l+1)} \cdot \hbar$ verknüpften magnetischen Moments, heißt **normaler Zeeman – Effekt**“ (Demtröder Seite 140).

Betrachtet man sich nun die aufgespalteten Zustände, so können Atome wie folgt in den angeregten Zustand übergehen:

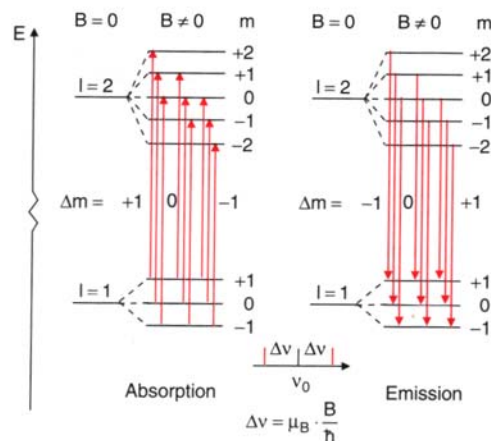


Abb. 5.12. Termschema für Zeeman-Übergänge mit $\Delta m = \pm 1, 0$ in Absorption und Emission

Abbildung aus dem Demtröder Experimentalphysik 3

Dabei ist zu beachten, dass die Übergänge nur zwischen unterschiedlichen Nebenquantenzahlen stattfinden und $-1 \leq \Delta m \leq 1$ ist, da das Photon $l = 1$ hat.

Dieses Termschema gilt vorerst nur dann, wenn eine zirkular polarisierte Lichtwelle sich längs des Magnetfeldes, also längs der z-Richtung bewegt. Auf andere Betrachtungen möchten wir hier nicht weiter eingehen.

Je nachdem wie Δm aussieht, so hat die z-Komponente der jeweiligen Photonen einen unterschiedlichen Spin. Bei $\Delta m = +1$ hat sie einen Spin von $+\odot$ (σ^+ - Polarisation), bei $\Delta m = -1$ einen Spin von $-\odot$ (σ^- - Polarisation) und bei $\Delta m = 0$ einen Spin von 0 (π - Polarisation).

In dem folgenden Schema ist zu erkennen, unter welcher Beobachtung welche Polarisation zu sehen ist.

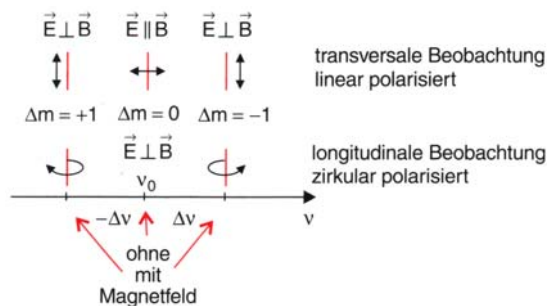


Abb. 5.11. Normaler Zeeman-Effekt. Aufspaltungsbild und Polarisation einer Spektrallinie mit der Mittenfrequenz ν_0 bei transversaler und longitudinaler Beobachtung. Die Aufspaltung ist $\Delta\nu = \mu_B \cdot B / \hbar$

Abbildung aus dem Demtröder Experimentalphysik 3

Unter Zuhilfenahme eines Fabry-Perot-Interferometers sieht man die entarteten Zustände als Ringe. Die aufgespalteten m-Zustände werden durch das FPI auch als Ringe abgebildet, die sich in ihren Radien nur etwas unterscheiden. Die unterschiedlichen Radien entstehen durch unterschiedliche Wellenlängen, die das FPI durchqueren. Die unterschiedlichen Wellenlängen basieren wiederum auf unterschiedlichen Energien. Also sind die Differenzen der Radien innerhalb der nun aufgespalteten Ringe proportional zu den Energiedifferenzen, die durch den Zeeman-Effekt hervorgerufen wurden.

Wichtig ist vor allem, dass beim Anlegen eines Magnetfeldes sich aus einem Ring 3 Ringe herauskristallisieren.

3. Das Fabry-Perot-Interferometer

Aufbau:

Das Fabry-Perot-Interferometer besteht aus 2 planen halbdurchlässigen Spiegeln. Eine der beiden halbdurchlässigen Spiegel ist fest an einem Winkelstück montiert. Der 2. Spiegel ist auf einem Schlitten bewegbar befestigt, der mittels einer Mikrometerschraube auf dem Winkelstück bewegt werden kann. Die Bewegung des Schlittens ist orthogonal zur Oberfläche des 1. Spiegels. 2 weitere Mikrometerschrauben sind für die Auslenkung des 2. Spiegels gedacht. Sie dienen dazu, die 2 Spiegel parallel zu stellen.

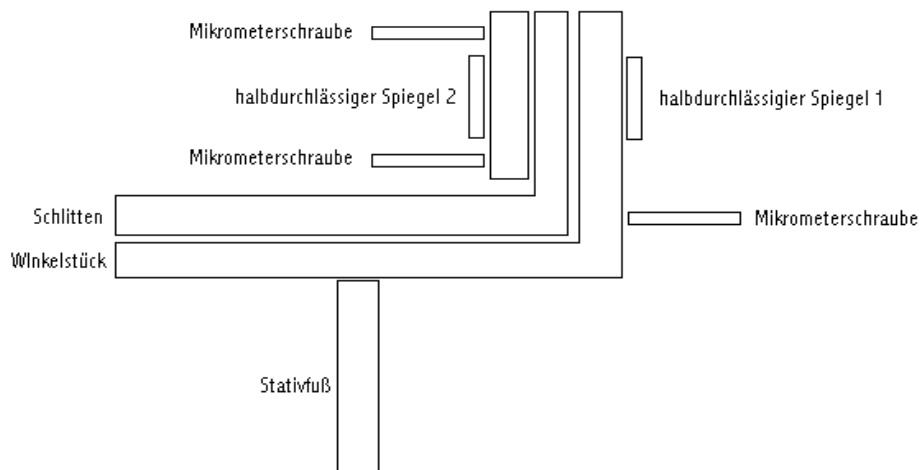


Abb. 1: Fabry-Perot-Interferometer

Funktionsweise:

Dieses Interferometer funktioniert nur dann, wenn beide Spiegel parallel und nicht parallelisiertes Licht auf den 1. Spiegel auftrifft. Für eine vernünftige Auswertung ist es am

besten das Licht in einem geraden Kreiskegel, mit Grundfläche voran, auf den 1.Spiegel auftreffen zulassen. So ist garantiert, dass die folgende eindimensionale Erklärung, rotiert um eine Achse, dreidimensionale Bedeutung gewinnt. Als Rotationsachse dient die Höhe des geraden Kreiskegels.

Ein Lichtstrahl trifft unter einem bestimmten Winkel auf dem 1.Spiegel auf. Da das Medium vor und hinter dem Spiegel das selbe ist, ist der Austrittswinkel gleich dem Eintrittswinkel. Der Lichtstrahl ist lediglich etwas parallel verschoben, welches keinen Einfluss auf zukünftige Betrachtungen hat. Das gilt auch für alle weiteren Spiegeldurchgänge.

Die Reflexion des einfallenden Lichtes an dem 1.Spiegel wird vernachlässigt, so auch alle kommenden Durchgänge am 1.Spiegel.

Befindet sich nun ein Lichtstrahl zwischen den beiden Spiegeln, so wird dieser nach dem Gesetz „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“ oft hin und her reflektiert. Da die beiden Spiegel parallel sind, sind die in dem 2.Spiegel durchtretenen Lichtstrahlen auch parallel und interferieren. Sobald der Gangunterschied ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge λ ist, entsteht konstruktive Interferenz. Bei halbzahligem Vielfachen der Wellenlänge λ entsteht destruktive Interferenz. Der Gangunterschied lässt sich durch den Abstand der beiden Spiegel variieren. Dabei sei $d = \frac{1}{2} n * \lambda * \frac{1}{\cos(\alpha)}$, wobei α der Winkel, unter dem der Lichtstrahl auf den ersten Spiegel trifft, λ die Wellenlänge des einfallenden Lichtes und n eine natürliche Zahl ist.

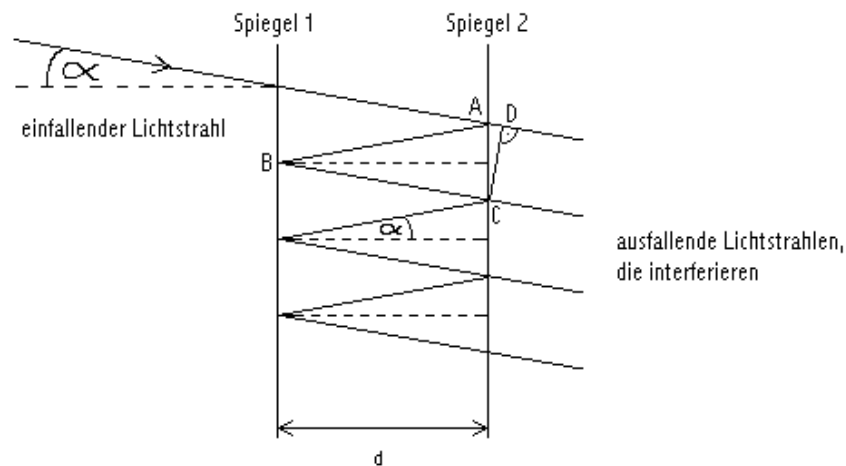


Abb. 2: Prinzip der Reflexion des Lichtes innerhalb des FPI's

Die Formel für den Abstand d erhält man, indem man beachtet, dass die Wellenzüge durch die Punkte C und D zur gleichen Zeit gleiche Phase haben müssen. Nur so entsteht konstruktive Interferenz. Also muss gelten: $n\lambda = \overline{AB} + \overline{BC} - \overline{AD}$.

Die Strecken \overline{AB} und \overline{BC} sind gleich lang. Die Summe von beiden Strecken ergibt $2d \cdot (\cos(\alpha))^{-1}$. Die Strecke \overline{AD} lässt sich berechnen aus $\sin(\alpha) = \frac{\overline{AD}}{2e}$ mit $e = d \cdot \tan(\alpha)$.

Damit erhalten wir $n\lambda = \frac{2d}{\cos(\alpha)} - \frac{2d \cdot (\sin(\alpha))^2}{\cos(\alpha)} = \frac{2d \cdot (1 - (\sin(\alpha))^2)}{\cos(\alpha)} = 2d \cdot \cos(\alpha)$. Durch Umstellen der Gleichung ergibt sich die Formel für den Abstand d.

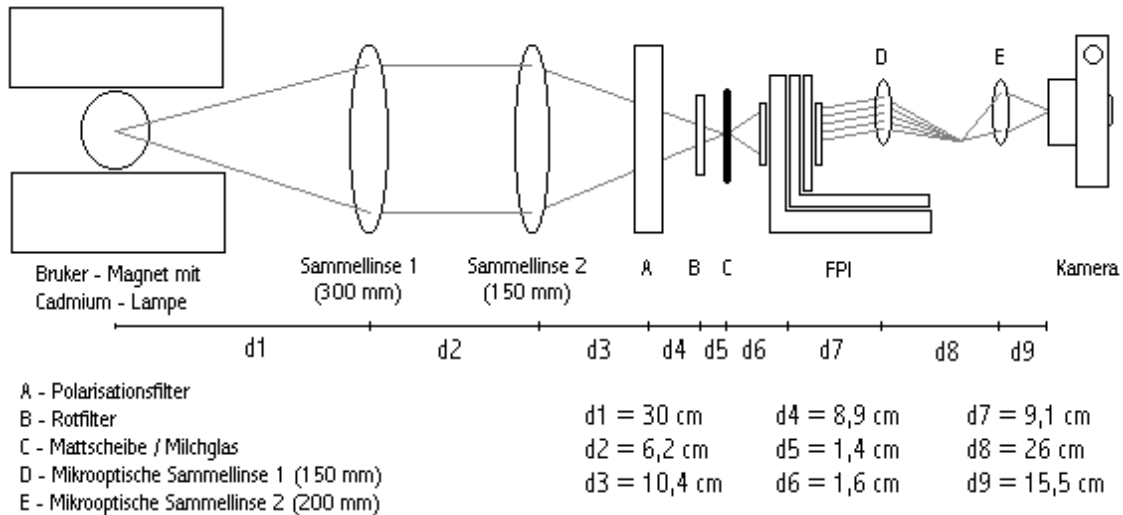
4. Aufbau

Geräteliste:

Geräte	PI - Nummer / Raum
Optikkästen	721a
HeNe – Laser (Melles-Griot)	731b
FPI	713a
Sammellinse mit $f = 200$ mm	723c
Sammellinse mit $f = 150$ mm	723c
rote Scherbe	Optik-Raum
Polarisationsfilter	723a
Cadmium-Spektrallampe	736b
Kamera	100
Mattscheibe	728b
250Ω Widerstände	663a
Optische Bank, Reiter	Optik-Raum
Universalklemmen, Gestänge	Mechanik-Raum

Letztendlicher Versuchsaufbau:

Abb. 3: letztendlicher Versuchsaufbau



Der optimierte Versuchsaufbau entwickelte sich innerhalb von zwei Versuchsterminen.

Er besteht im Wesentlichen aus einer Cadmiumlampe, umschlossen von einem starken Magnetfeld und einem Rotfilter plus Linse mit dahinter liegenden Fabry-Perot-Interferometer.

Als Rotfilter lassen sich unterschiedliche Dinge einsetzen, einmal eine rote Scherbe, ein Rotfilter aus dem Optikkasten oder etwas ähnliches dieser Art.

Der detaillierte Aufbau ist in der Abbildung 3 zu erkennen. Dieser enthält neben den erwähnten notwendigen Apparaturen, zusätzliche Apparaturen, die zur besseren Abbildung der Ringe führen, wie zum Beispiel ein Teleskop zur Vergrößerung der Ringe.

Die Cadmium-Lampe wird mit Stangen und Universalklemmen unterschiedlicher Größe in dem Bruker-Magneten befestigt. Am Bruker-Magnet befindet sich eine Halterung an der Stangen durchgeschoben und mit Universalklemmen befestigt werden können. Damit die Cadmium-Lampe durch das starke Magnetfeld nicht an einen der beiden Polschuhen gedrückt wird, wurde sie durch Polyesterol in ihrer Position gehalten. Das Polyesterol wurde so befestigt, dass dieses nicht von der Hitze der Cadmium-Lampe geschmolzen wurde.

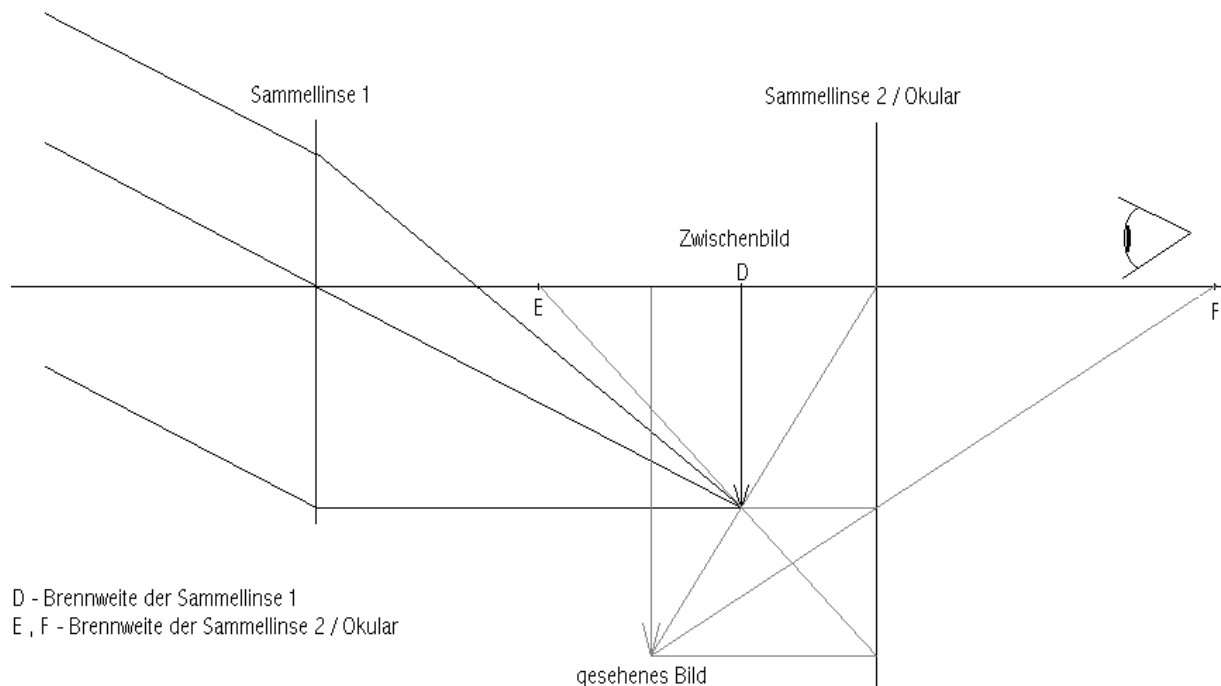
Nun zur Optik:

Auf einer optischen Bank wurden mit Reitern zwei Linsen befestigt, die durch ihren Abstand und ihre Brennweiten so viel Licht wie nur möglich auf das Milchglas fokussieren. Die erste Linse mit einer Brennweite von 300 mm dient zur Parallelisierung des aus der Cadmium-Lampe austretenden Lichtes. Die zweite Linse mit der Brennweite von 150 mm fokussiert das Licht auf das Milchglas, welches genau im Brennpunkt der zweiten Linse steht. Das Milchglas hat die Aufgabe das eintretende Licht in alle Raumrichtungen zu streuen und gleichzeitig das Bild der Cd-Lampe in eine Ebene parallel zum FPI zu bringen. Es hat nun die Wirkung einer neuen Lichtquelle. Wird das Milchglas weggelassen, so tritt aufgrund der

Form der Cadmium-Lampe und durch die Fokussierung dessen Lichtes, nun direkt auf das FPI, ein ovales verzerrtes Lichtbündel in das Interferometer. Die Auswertung wird damit erschwert.

Damit nicht zu viel Licht in unserem Strahlengang verloren geht, wird das Interferometer so nah wie möglich hinter, also weg vom Magneten, dem Milchglas platziert. Ein Rotfilter lässt nur eine Wellenlänge und zwar die rote Cd-Linie durch. Andere Wellenlängen und damit andere Ringe würden bei der Auswertung stören. Der Rotfilter kann vor oder direkt hinter dem Milchglas eingesetzt werden. Anhand diesem Filter erhalten wir durch konstruktive Interferenz im FPI rote Ringe. Die Spiegel des Interferometers stehen parallel und haben einen wohldefinierten Abstand zueinander. Auch das Interferometer ist mit einem Reiter auf der optischen Bank befestigt. Am Interferometer direkt befinden sich Löcher, an denen sich mikrooptische Stangen aus dem Optikkasten befestigen lassen. Das Teleskop wird von solch befestigten Stangen getragen. Zwei Linsen mit einer Brennweite von 150 mm und einer Brennweite von 200 mm erzielen, nach dem Prinzip eines Teleskop (siehe Abb.4), eine zwei- bis dreifache Vergrößerung.

Abb. 4: Prinzip eines Teleskops



Die optische Bank mit den Linsen und dem Interferometer wird nun so platziert, dass das Maximum an Lichtintensität in das Milchglas hineingelangt. Das heißt die Cadmium-Lampe muss genau im Brennpunkt der ersten Linse stehen. Da wir den Zeeman-Effekt transversal beobachten, muss die Bank seitlich zu den Magnetfeldspulen gestellt werden. Vorher sollte

jedoch darauf geachtet werden, worauf die optische Bank steht. Sie sollte auf einem schwingungsarmen Tisch stehen, zum Beispiel auf dem Marmor-Tisch im Optik-Raum.

Folgt man diesem Aufbau, so erhält man gute Ringe. Diese Ringe können jedoch noch vom Licht überschattet werden, welches seitlich am Aufbau vorbei geht. Jede Abdeckung, von dunkler Jacke über schwarzem Stoff bis hin zum schwarzen Papier hält das störende Licht ab. Unerwünschte Streuung vom Milchglas kann durch Polysterol abgeschirmt werden.

Für eine Auswertung ist die Kamera am Ende des Strahlenganges vorgesehen. Hinter der Linse, die als letztes am Interferometer befestigt wird, steht die Kamera und zwar so, das ein scharfes Bild auf dem Film projiziert wird. Das heißt die Brechungen der Linsen innerhalb der Kamera sollten beachtet werden.

Nun noch ein kurzes Wort zur Cadmium-Lampe. Damit diese beim Experimentieren nicht zu warm wird, werden zwei große Widerstände mit 250Ω in ihrem Schaltkreis in Reihe geschaltet.

Um nur ein paar Ringe zu sehen, kann eine Blende vor dem Milchglas oder nach dem FPI eingebaut werden.

5. Durchführung

Für das ganze Experiment brauchten wir 3 Versuchstermine.

1. Versuchstermin:

Unser Wissen beschränkte sich auf ein starkes Magnetfeld mit der Cadmium-Lampe innerhalb dessen, einer Linse zum Parallelisieren des Lichtes, dem Rotfilter, einem Polarisationsfilter und dem Fabry-Perot-Interferometer.

Für das starke Magnetfeld nahmen wir sofort den Bruker-Magneten in Augenschein, da wir schon Erfahrung mit diesem Gerät hatten. Zuerst schlossen wir den Bruker-Magneten im Mechanik-Raum an den ersten oberen Wasserkreislaufverteiler an. Beachtung sollte dabei die Reihenfolge des Anschließen finden. Der Schlauch für die Wasserabfuhr sollte vor dem Schlauch für die Wasserzufuhr angeschlossen werden, nur der Schweinerei wegen. Für die spätere Freiheit am Experimentierplatz sollte nichts im Weg stehen oder behindern, so auch nicht falsch angebrachte Schläuche.

Der Bruker-Magnet wurde so ausgerichtet, das der experimentelle Aufbau in den Raum in Richtung Notausgang zeigte. An den Magneten wurde nun zwischen den Polschuhen in der Mitte eine lange Stange befestigt. Kurze Zeit später wurde uns jedoch klar, das eine Stange

keine Stabilität bezüglich der Seitenlage gibt. Somit wurden zwei lange Stangen, jeweils auf der Seite der Polschuhen, befestigt. Sieht man die Seite des Bruker-Magneten, die in Raumrichtung zeigt, als vorn an, so wurden hinten am Magneten zwei Stangen befestigt, die zur Halterung der Cadmium-Lampe dienten. Mit einer weiteren Stange und drei großen Universalklemmen wurde die Cadmium-Lampe zwischen den zwei Polschuhen befestigt und zwar so, dass die Leuchtquelle innerhalb der Lampe genau zwischen den zwei Polschuhen hing. Damit die Lampe nicht an einen der beiden Polschuhen gedrückt wird und dabei das Glas zerbrochen werden könnte, wurde sie mit Polyesterol an ihrem Platz gehalten. Dabei achteten wir darauf, dass das Polyesterol nicht von der Cd-Lampe geschmolzen wurde.

Die zwei Stangen direkt am Bruker-Magneten wurden auch so befestigt, dass nur ein kleines Stück für die Cd-Lampe hinten herausragte und der Rest nach vorn zeigte. Das Ende dieser Stangen wurde durch Polyesterol von einem Tisch getragen. Dies hinderte die noch hinzukommende Apparatur daran sich leicht in Schwingung zu versetzen. Auf diesen zwei Stangen wurde dann das Interferometer befestigt. Wie in der Theorie erwähnt, besteht das FPI aus einem Winkelstück, an dem ein Spiegel fest montiert ist. Unter diesem Spiegel befindet sich eine optische Bank, die direkt am FPI befestigt ist. An dieser Bank montierten wir eine Linse zum Parallelisieren des Cd-Lichtes und eine Linse zum Fokussieren des Lichtes in den ersten Spiegel vom Interferometer. Zwischen diesen zwei Linsen aus dem Optikkasten steckten wir einen Rotfilter. Nach einem anderen Protokoll sollte die rote Cd-Linie kurz neben unserem Durchlassbereich liegen. Nichtsdestotrotz probierten wir diesen Filter und sahen tatsächlich rote Linien bzw. irgend etwas kurvenartiges. Über eine genaue Erklärung dessen haben wir uns keine Gedanken gemacht. Dennoch versuchten wir mit einem Spektrometer die Linien zu bestimmen, scheiterten jedoch.

Bevor wir das FPI montierten, parallelisierten wir dessen zwei Spiegel. Im Optik-Raum setzten wir einen Laser gemeinsam mit dem FPI auf eine kleine optische Bank und schickten das Laserlicht durch die zwei Spiegel. Logischerweise wurden die Komponenten weggelassen, die bei einer solchen Messung nicht gebraucht werden, z.B. Rotfilter. Nachdem wir an allen drei Mikrometerschrauben drehten, fanden sich bald Interferenz-Ringe auf dem dahinterliegenden Bildschirm ein. Nun wussten wir, dass die Spiegel parallel sind und bauten das FPI mit allen Teilen wieder ein.

Beim ersten Probieren bemerkten wir, dass zuviel Cd-Licht am Aufbau vorbei ging. Mit Aluminium-Folie wurde die Vorderseite des Magneten so verkleidet, das nur noch durch ein kleines Loch Cd-Licht auf das FPI gelang.

Beim Abdunkeln des Mechanik-Raumes bemerkten wir, dass das Streulicht der Cd-Lampe immer noch zu hell war. Das Problem war schnell behoben. Es wurde eine schwarze Jacke über den Magneten gelegt.

Nun endlich, nach langem Aufbau, begann unser Experiment. Wir schalteten die Cd-Lampe an und sahen tatsächlich rote Streifen, also ein Interferenzmuster. Nach wiederum sehr langem Drehen an den Mikrometerschrauben, ungefähr zwei Stunden oder sogar noch länger, sahen wir endlich Ringe. Jedoch waren diese ziemlich unscharf und wir hatten keine Idee, besonders nicht zu der bereits ziemlich weit vorangeschrittenen Zeit, wie eine Verbesserung des Aufbaues aussehen sollte.

Der Vorschlag ein Milchglas vor das FPI zusetzen, führte jedoch zu keinem besserem Ergebnis, eher zu einem schlechteren. Später sollten wir erfahren, dass das Milchglas, mit Klebestreifen befestigt, windschief vor der Cd-Lampe hing.

Irgendwann am Abend kam ein äußerst hilfsbereiter Tutor, Tutor Christian, vorbei. Er wies uns darauf hin, dass eine optische Bank günstiger zu handhaben und schwingungsärmer ist als die zwei von dem Bruker-Magneten kommenden Stangen. Somit wurde der Aufbau schnell ummodifiziert. Glücklicherweise wurde das FPI sehr sanft behandelt, so dass die Platten beim Umbau parallel blieben. Kurz zuvor erhielten wir bereits von unserer Tutorin Nele sein Protokoll, indem ein verbesserter Versuchsaufbau beschrieben war und gute Messergebnisse anhand von Photos gezeigt wurden.

Nichtsdestotrotz konnte am Ende des Versuchstages Ringe gezeigt werden. Aus reiner Neugierde und damit wir ihn nicht umsonst aufbauten, wurde der Bruker-Magnet trotzdem angeschaltet. Sobald der Magnet auf volle Leistung war, konnte man mit etwas Phantasie aufgespaltete Ringe sehen. Die aufgespalteten Ringe waren nicht überdeutlich zu sehen. Lediglich sah man verschwommene Ringe, die schärfer wurden, sobald der Magnet heruntergefahren wurde.

An diesem Tag konnten wir jedenfalls sagen, da ist irgend etwas, was unserer Theorie ähnelt.

2. Versuchstermin:

Trotz des teilweisen Erfolges des alten Aufbaues wurde beschlossen, auf der sicheren Seite zuarbeiten. Das heißt es wurde der Aufbau aus dem Protokoll von Christian genommen.

Dieser Aufbau stimmte nur in der Befestigung der Cd-Lampe und in der Verwendung des FPI überein.

Zuerst wurden zwei große Schiebe-Widerstände in den Schaltkreis der Cd-Lampe zwischengeschaltet. Sie sorgten dafür, dass die Cd-Lampe nicht zu warm werden kann. Als

nächstes befestigten wir zwei Linsen auf einer langen optischen Bank, die das Licht aus dem Bruker-Magneten sammelten. Das FPI wurde dann in die nun endgültige Position gesetzt. Die Abstände und die Funktionsweise sind im „letztendlichen Versuchsaufbau“ (siehe oben) erläutert. An dem FPI, auf der mikrooptischen Bank, wurden nun eine Mattscheibe bzw. Milchglas und der Rotfilter aus dem Optikkasten gesetzt.

Hinter dem FPI befand sich das Teleskop, welches auf einer mikrooptischen Bank über dem zweiten Spiegel befestigt war. Genauere Erläuterungen zum Teleskop siehe „letztendlicher Versuchsaufbau“.

Die optische Bank wurde nun wie am ersten Versuchstag auf einen Tisch vor dem Magneten gestellt. Damit alles richtig in Position steht, wurde die Cd-Lampe noch einmal kurz herausgenommen und ein Laser, von der Position der Lampe aus, durch den Aufbau geschickt. Dabei konnten kleine Justierarbeiten vorgenommen werden.

Die Abdunklung des Magneten entfiel aufgrund der ersten Sammellinse beim Magneten.

Nun fingen wir wieder an zu experimentieren. Genau wie am Experimentiertag zuvor sahen wir nur Streifen, jedoch keine Ringe. Auch an diesem Tag saßen wir ewig am Einstellen der gehofften Ringe.

Für ein besseres, lichtintensiveres Bild probierten wir zwischendurch auch mal eine rote Scherbe als Rotfilter, was auch gut funktionierte, aber nur eine geringfügige Verbesserung brachte. Nichtsdestotrotz wurde diese Scherbe für den Rest des Tages verwendet.

Am Abend dann geschah das gleiche Phänomen wie am letzten Versuchstag, unser hilfsbereiter Tutor Christian kam vorbei. Er sah unsere Misere und beschloss diesmal nicht nur Tipps zugeben, sondern direkt Hand anzulegen. Als er anfang zu justieren, verriet er uns auch einen kleinen Trick, wie wir die Spiegel des Interferometers ohne Laser parallel bekommen. Man halte das FPI in das Licht der Deckenleuchte und dreht so lange an den Mikrometerschrauben bis keine doppelten Linien mehr zu sehen sind. Diese Einstellung ist leicht, effektiv und geht um so schneller, umso dichter die zwei Spiegel aneinander sind.

Nachdem Christian etwas am FPI justierte, erhielten wir gut sichtbare Ringe. Jedoch schwangen die Ringe zu stark. Wir hatten vorher gedacht, das liege nur am Auge, weil dieses ja nicht fest im Aufbau integriert ist und sich logischerweise immer bewegt. Dieser Gedanke ist zwar auch richtig, nur nicht in dem Maßen, wie wir es uns vorstellten. Vielleicht war das auch ein Grund für die unscharfen Ringe am ersten Versuchstermin.

Das Schwingen rührte von der langen optischen Bank her. Wir sollten eine kleinere optische Bank verwenden und dabei, um besser arbeiten zu können, den Tisch vor dem Bruker-Magneten quer stellen. Vier Stunden später, ungefähr um ein Uhr, kehrte Christian zurück. In

dieser Zeit schafften wir es leider nicht erneut Ringe einzustellen. Glücklicherweise packte Christian erneut der Ergeiz und stellte uns nach einer Weile wieder Ringe ein.

Nun wollten wir nur noch ein paar Bilder knipsen. Dazu positionierten wir die Kamera hinter dem Teleskop so, dass ein scharfes Bild in der Kamera zu sehen ist. Gut ist es, die Kamera zu benutzen, bei der man von oben hineinschauen kann. Sie ist zweckmäßiger bzgl. des Hineinschauens, wenn hinter der Kamera kein Platz ist.

Zuerst nahmen wir zwei Bilder ohne Magnetfeld und dann ein paar mit Magnetfeld. Zum besseren Sehen der aufgespalteten Ringe setzten wir ein Polarisationsfilter vor die Mattscheibe. Die entsprechenden Ergebnisse sieht man hier:

3. Versuchstermin:

Diesmal experimentierten wir im Optik-Raum. Die Bedingungen waren gut. Wir hatten einen sehr schwingungsarmen Tisch von Anfang an benutzt, wir kannten einen sehr guten Versuchsaufbau und wir waren nicht total am Ende mit unserer Hoffnung. Also beste Voraussetzungen. Diese Voraussetzungen sollten sich im Laufe des Tages bezahlt machen. Es wurden schöne, klare und scharfe Ringe gezeigt. Selbst ohne Polarisationsfilter konnten bei eingeschalteten Magnetfeld aufgespaltete Ringe gesehen werden.

Das Experiment verlief fabelhaft. Wir verknipsten einen ganzen Film mit guten Bildern.

Nur eines klappte an diesem Tag nicht, die Eichung. Sie wurde mit dem Laser vollzogen. Doch blieben die Ringe verschwunden. Die Eichung wurde damit gestrichen. Nichtsdestotrotz wäre noch eine Auswertung möglich gewesen, wären die Bilder etwas geworden. Aus irgend einem Grund, wahrscheinlich zu geringe Belichtung, blieb der Film größtenteils weiß. Man sah nur ganz wenig oder konnte es nur erahnen. Das war wiederum sehr schade, besonders weil wir es diesmal schafften und zwar allein.

6. Auswertung

An den Bildern in der Durchführung ist zu erkennen, dass diese keiner nennenswerten Auswertung unterzogen werden können. Man könnte zwar die Ringe mit Hilfe eines Zirkels schließen und somit den Radius bestimmen, doch fehlen hier jegliche Eichungen.

Nichtsdestotrotz konnten wir zeigen, auch auf den Bildern oben, dass die entarteten Energiezustände, ohne Polarisationsfilter, bei Anlegen eines Magnetfeldes in die drei Zeeman-Komponenten aufspalten. An den folgenden Bildern ist dies relativ gut zu sehen. Hier jedoch mit einem Polarisationsfilter, damit die Ringe besser zu erkennen sind.

7. Resümee

Ganz am Schluss lässt sich sagen, wir haben das Versuchsziel erreicht. Quantitativ konnten wir zeigen, dass sich die entarteten Energiezustände in einem Magnetfeld in die drei Zeeman-Komponenten aufspalten lassen. Teilweise konnte dies sogar auf Bildern festgehalten werden, siehe Durchführung - zweiter Versuchstag.

Qualitativ war keine Auswertung möglich, weder konnte wir die aufgenommenen Ringe eichen, noch ist keines der vielen Bilder vom dritten Versuchstag etwas geworden.

8. Literaturverweis:

Demtröder, Experimental Physik 3

Protokoll von Christian Punckt

Anhang:

Bilder vom zweiten Aufbau zum Zeeman-Effekt: