

## Normaler Zeeman-Effekt

### UNTERSUCHUNG DES NORMALEN ZEEMAN-EFFEKTS IN LONGITUDINALER UND TRANSVERSALER KONFIGURATION

- Beobachtung der Dublett- und Triplet-Aufspaltung der roten Cadmium-Linie im äußeren Magnetfeld
- Untersuchung der Polarisation der Dublett- und Triplet-Komponenten

UE5020850

09/24 TL/UD

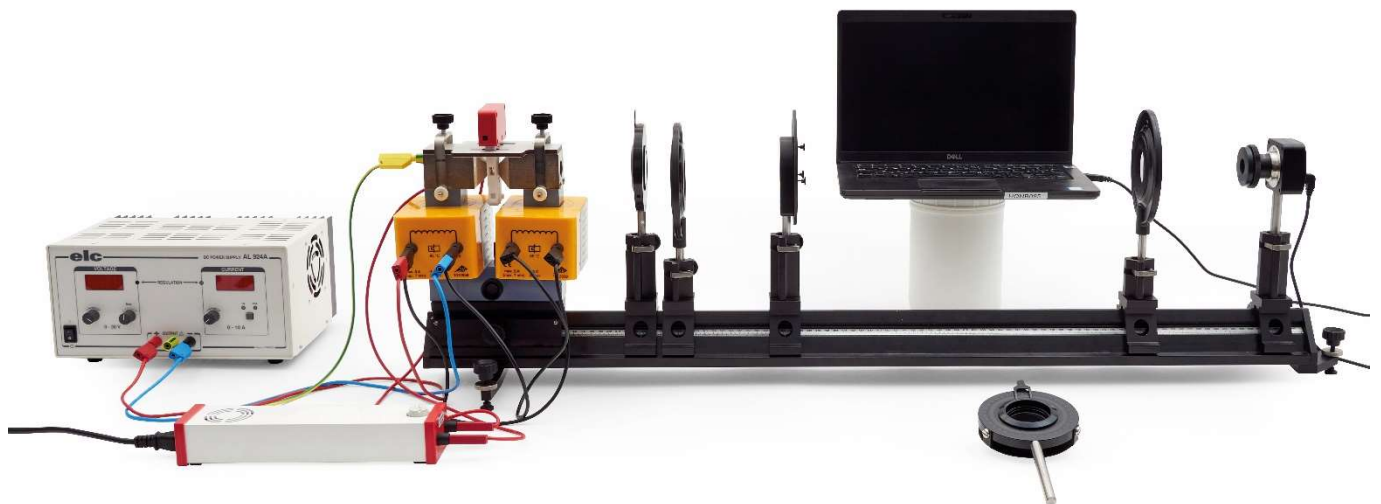


Fig. 1: Experimenteller Aufbau für den normalen Zeeman-Effekt in longitudinaler Konfiguration

### ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Der Zeeman-Effekt bezeichnet die Aufspaltung von atomaren Energieniveaus bzw. Spektrallinien unter Einwirkung eines äußeren Magnetfeldes. Er wurde 1896 von seinem Namensgeber Pieter Zeeman als Verbreiterung der Natrium D-Linien entdeckt und von Hendrik Antoon Lorentz klassisch mit Hilfe der Lorentzkraft erklärt, die das Magnetfeld auf die Elektronen in der Atomhülle ausübt. Bei diesem so genannten normalen Zeeman-Effekt, wie er z.B. für die rote Cadmium-Linie ( $\lambda = 643,8 \text{ nm}$ ) vorliegt, wird parallel zum Magnetfeld (longitudinal) eine zweifache Aufspaltung in ein Liniendublett und senkrecht zum Magnetfeld (transversal) eine dreifache Aufspaltung in ein Linientriplett beobachtet. Als anomaler Zeeman-Effekt werden komplexere Aufspaltungen bezeichnet, die erst mit Hilfe der von Goudsmit und Uhlenbeck 1925 postulierten Existenz des Elektronenspins erklärt werden konnten. Quantenmechanisch beruht der anomale Zeeman-Effekt auf der Wechselwirkung des Magnetfelds mit dem von Bahndrehimpuls und Spin der Elektronen erzeugten magnetischen

Moment der Elektronenhülle. In dieser Hinsicht stellt der anomale Zeeman-Effekt den Normalfall dar, der normale Zeeman-Effekt einen Spezialfall.

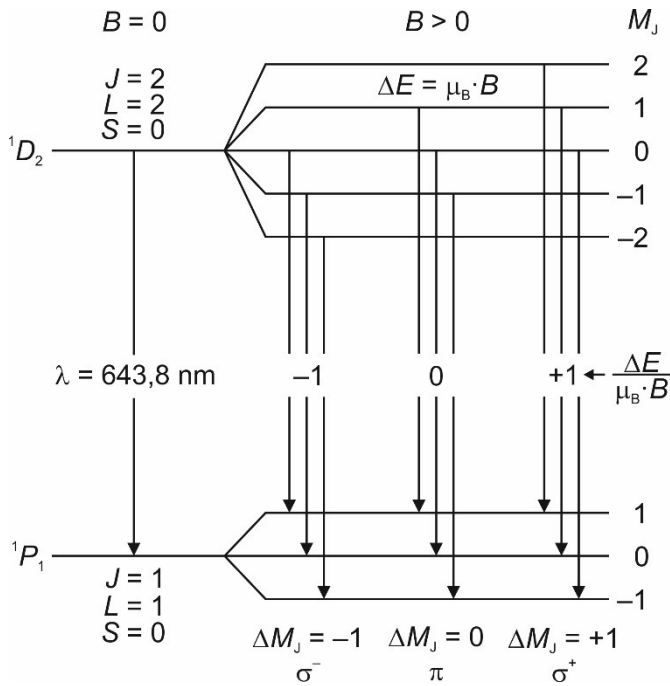


Fig. 2: Normaler Zeeman-Effekt an der roten Cadmium-Spektallinie. Aufspaltung der Energieniveaus und nach den Auswahlregeln für elektrische Dipolstrahlung erlaubte Übergänge

Der normale Zeeman-Effekt tritt nur für Übergänge zwischen atomaren Zuständen auf, deren Gesamtspin sich zu  $S = 0$  addiert. Die rote Cd-Linie entspricht dem Übergang  $^1D_2 \rightarrow ^1P_1$  mit der Wellenlänge  $\lambda = 643,8 \text{ nm}$  (Fig. 2). Da beide Niveaus einen Gesamtspin mit der Quantenzahl  $S = 0$  besitzen, kann der normale Zeeman-Effekt hier beobachtet werden. Der Gesamtdrehimpuls  $J = L + S$  entspricht dann dem gesamten Bahndrehimpuls, d.h.  $J = L$ . Er erzeugt ein magnetisches Moment

$$(1) \mu = \frac{\mu_B}{\hbar} \cdot J$$

mit dem Bohrschen Magneton

$$(2) \mu_B = \frac{e}{2 \cdot m_e} \cdot \hbar = 9,274 \cdot 10^{-24} \frac{\text{J}}{\text{T}}$$

$e$ : Elementarladung

$m_e$ : Masse des Elektrons

$\hbar = h/2\pi$ : reduzierte Planck-Konstante

In einem äußeren Magnetfeld

$$(3) \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ B \end{pmatrix}$$

ist mit dem magnetischen Moment die Energie

$$(4) E = \mu \cdot \mathbf{B} = \mu_z \cdot B$$

verbunden. Aufgrund der Richtungsquantelung kann die Komponente  $J_z$  des Gesamtdrehimpulses parallel zum Magnetfeld nur die Werte

$$(5) J_z = M_J \cdot \hbar \text{ mit } M_J = -J, -(J-1), \dots, (J-1), J$$

$J$ : Gesamtdrehimpuls-Quantenzahl

annehmen. Das Energieniveau zur Gesamtdrehimpulsquantenzahl  $J$  spaltet also in  $2J+1$  äquidistante Komponenten auf, die sich in der magnetischen Quantenzahl  $M_J$  unterscheiden (Fig. 2). Mit Gl. (1) folgt

$$(6) \mu_z = \frac{\mu_B}{\hbar} \cdot J_z,$$

damit nach Gl. (4)

$$(7) E = \mu_z \cdot B = \frac{\mu_B}{\hbar} \cdot J_z \cdot B$$

und schließlich mit Gl. (5):

$$(8) E = \mu_B \cdot M_J \cdot B.$$

Der Energieabstand zweier Niveaus mit Energien  $E_1$  und  $E_2$  ( $E_1 > E_2$ ) ergibt sich also zu:

$$(9) \Delta E = E_1 - E_2 = (M_{J,1} - M_{J,2}) \cdot \mu_B \cdot B = \Delta M_J \cdot \mu_B \cdot B.$$

Nach Gl. (5) wird das Niveau  $^1D_2$  in fünf und das Niveau  $^1P_1$  in drei Komponenten aufgespalten, jeweils mit dem durch Gl. (9) gegebenen äquidistanten Energieabstand.

Nach den Auswahlregeln für elektrische Dipolstrahlung sind zwischen diesen Niveaus Übergänge erlaubt mit

$$(10) \Delta M_J = \begin{cases} +1 & (\text{rechts zirkular polarisiertes Licht, } \sigma^+) \\ 0 & (\text{linear polarisiertes Licht, } \pi) \\ -1 & (\text{links zirkular polarisiertes Licht, } \sigma^-) \end{cases}$$

wobei das emittierte Licht wie oben angegeben polarisiert ist. Da von den neun theoretisch möglichen Übergängen jeweils drei energetisch zusammenfallen, können insgesamt also drei Spektrallinien beobachtet werden (Fig. 2), eine unverschobene  $\pi$ -Komponente und gemäß  $E = \hbar \cdot \omega$  zwei um

$$(11) \Delta \lambda = -\frac{\lambda^2}{2 \cdot \pi \cdot \hbar \cdot c} \cdot \Delta E$$

$c$ : Vakuum-Lichtgeschwindigkeit

verschobene  $\sigma$ -Komponenten mit einer entsprechend höheren bzw. niedrigeren Wellenlänge. Aus Gleichung (11) ergibt sich durch Einsetzen der Gleichungen (9) und (2) für die im Experiment eingestellte Flussdichte  $B = 334 \text{ mT}$  eine Verschiebung um  $|\Delta \lambda| = 0,0065 \text{ nm}$ .

Die räumliche Verteilung des emittierten Lichts ist für die  $\pi$ - und die beiden  $\sigma$ -Komponenten unterschiedlich. Der Fall  $\Delta M_J = 0$  entspricht klassisch einem parallel zum Magnetfeld schwingenden Hertz'schen Dipol. Dementsprechend wird senkrecht zum Magnetfeld (transversal) linear polarisiertes Licht abgestrahlt, parallel zum Magnetfeld (longitudinal) kein Licht (Fig. 3). Die Fälle  $\Delta M_J = \pm 1$  entsprechen jeweils zwei zueinander mit einer Phasendifferenz von  $90^\circ$  senkrecht schwingenden Dipolen. Dementsprechend wird sowohl parallel als auch senkrecht zum Magnetfeld Licht abgestrahlt, das parallel zum Magnetfeld zirkular polarisiert ist, und zwar links zirkular polarisiert für  $\Delta M_J = -1$  und rechts zirkular polarisiert für  $\Delta M_J = +1$ .

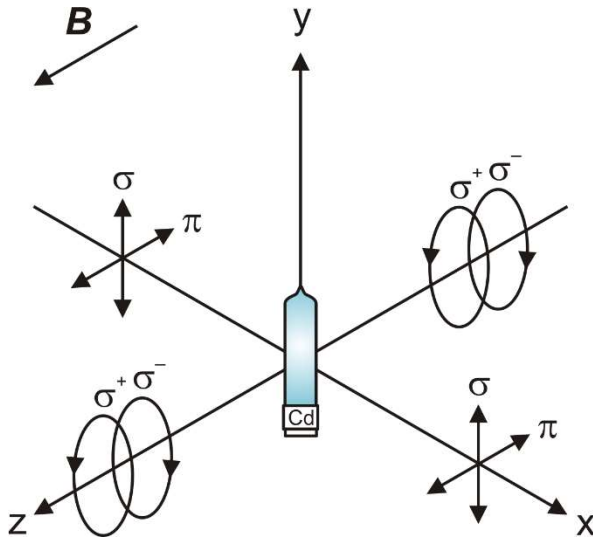


Fig. 3: Polarisation der elektrischen Dipolstrahlung in Abhängigkeit von der Ausbreitungsrichtung

Für die Analyse der Lichtpolarisation wird bei Beobachtung in longitudinaler Richtung also ein Viertelwellenlängenfilter mit nachgeschaltetem Polarisationsfilter benötigt, da die Beobachtung senkrecht zur Polarisationsebene der  $\sigma$ -Komponenten erfolgt (Fig. 3). Der Viertelwellenlängenfilter wandelt das zirkular polarisierte Licht in linear polarisiertes um, das dann mit Hilfe des Polarisationsfilters analysiert werden kann. Bei Einstellung des Viertelwellenlängenfilters auf  $-45^\circ$  wird entsprechend die  $\sigma^+$ -Komponente umgewandelt und kann beobachtet werden, während die  $\sigma^-$ -Komponente verschwindet. Bei Einstellung des Viertelwellenlängenfilters auf  $+45^\circ$  verhält es sich genau umgekehrt. Für die Beobachtung in transversaler Richtung wird nur ein Polarisationsfilter benötigt, da die Beobachtung parallel zur Polarisationsebene der  $\sigma$ -Komponenten erfolgt und diese linear polarisiert erscheinen (Fig. 3). Die  $\pi$ -Komponente ist stets linear polarisiert. Bei Einstellung des Polarisationsfilters auf  $0^\circ$  können entsprechend die  $\sigma$ -Komponenten beobachtet werden, während die  $\pi$ -Komponente verschwindet. Bei Einstellung des Polarisationsfilters auf  $90^\circ$  verhält es sich genau umgekehrt.

Im Experiment erfolgt die Beobachtung der Aufspaltung mit Hilfe einer Digitalkamera, der ein Fabry-Pérot-Etalon und eine Abbildungsoptik vorgeschaltet sind. Das Fabry-Pérot-Etalon ist so ausgelegt, dass es die Resonanzbedingung für die spezifische Wellenlänge 643,8 nm der roten Cd-Linie erfüllt. Beim Durchgang des Lichts der Cadmium-Lampe durch das Fabry-Pérot-Etalon entstehen Interferenzringe, die wie die Spektrallinie in Abhängigkeit des äußeren Magnetfeldes aufspalten und durch die Optik auf den Kamerasensor abgebildet werden. Die Beobachtung parallel oder senkrecht zum äußeren Magnetfeld wird durch einen drehbar gelagerten Elektromagneten ermöglicht. Die Aufspaltung wird qualitativ beobachtet und die Polarisation der Dublett- und Triplet-Komponenten mit Hilfe eines Viertelwellenlängenfilters mit Polarisationsaufsatz und eines Polarisationsfilters untersucht.

Die Spektroskopie mit einem Fabry-Pérot-Etalon ist Gegenstand des Experiments UE5020900, in dem die Interferenzringe in Abhängigkeit des äußeren Magnetfeldes ausgemessen werden und das Bohrsche Magneton bestimmt wird.

### GERÄTELISTE

1 Cd-Lampe mit Zubehör @230 V	1021366
oder	
1 Cd-Lampe mit Zubehör @115 V	1021747
1 Fabry-Pérot-Etalon 644 nm	1020903
1 DC-Netzgerät, längsgeregelt, 1 – 30V, 0 – 10A @230V	1025380
oder	
1 DC-Netzgerät 20 V, 5 A @115 V	1003311
1 U-Kern D	1022663
2 Spulen D 900 Windungen	1012859
1 Elektromagnet-Zubehör für Zeeman-Effekt	1021365
1 Mikroskopkamera Bresser MikroCam SP 3.1	1024060
1 Linse 12 mm für die Bresser Mikroskopiekamera	1024059
1 Stativstange mit 1/4 Zoll Gewinde, 100 mm	1025431
1 Roter Farbfilter in Fassung	1025376
2 Sammellinsen auf Stiel, f = 100 mm	1003023
1 Viertelwellenlängenfilter auf Stiel	1021353
1 Polarisationsaufsatz	1021364
1 Polarisationsfilter auf Stiel	1008668
1 Optische Bank D, 100 cm	1002628
1 Satz Füße für Optische Bank D	1012399
1 Optikfuß D	1009733
3 Optikreiter D 90/36	1012401
2 Optikreiter D 60/36	1002639
1 Paar Sicherheitsexperimentierkabel, 75 cm, rot, blau	1017718
1 Paar Sicherheitsexperimentierkabel, 75 cm, schwarz	1002849

### SICHERHEITSHINWEISE

- Vor dem Aufbau des Experiments die Bedienungsanleitungen der Geräte und insbesondere die darin formulierten Sicherheitshinweise lesen und beachten.
- Die Cd-Lampe vor mechanischen Stößen schützen. Den Glaskolben der Cd-Lampe nicht mit bloßen Händen berühren.
- Die Cd-Lampe nur mit dem mitgelieferten Vorschaltgerät betreiben. Vor Inbetriebnahme der auf dem Elektromagnet montierten Cd-Lampe unbedingt die Schutzerdung herstellen. Dazu die PE-Buchsen an Vorschaltgerät und Polschuh des Elektromagnet-Zubehörs für Zeeman-Effekt (1021365) mit Hilfe des mitgelieferten gelb-grünen Sicherheitsexperimentierkabels (Schutzleiter) miteinander verbinden.
- Vor Inbetriebnahme des Elektromagneten die korrekte Lage der Polschuhe sicherstellen, wie in der Bedienungsanleitung zum Elektromagnet-Zubehör für Zeeman-Effekt (1021365) beschrieben.

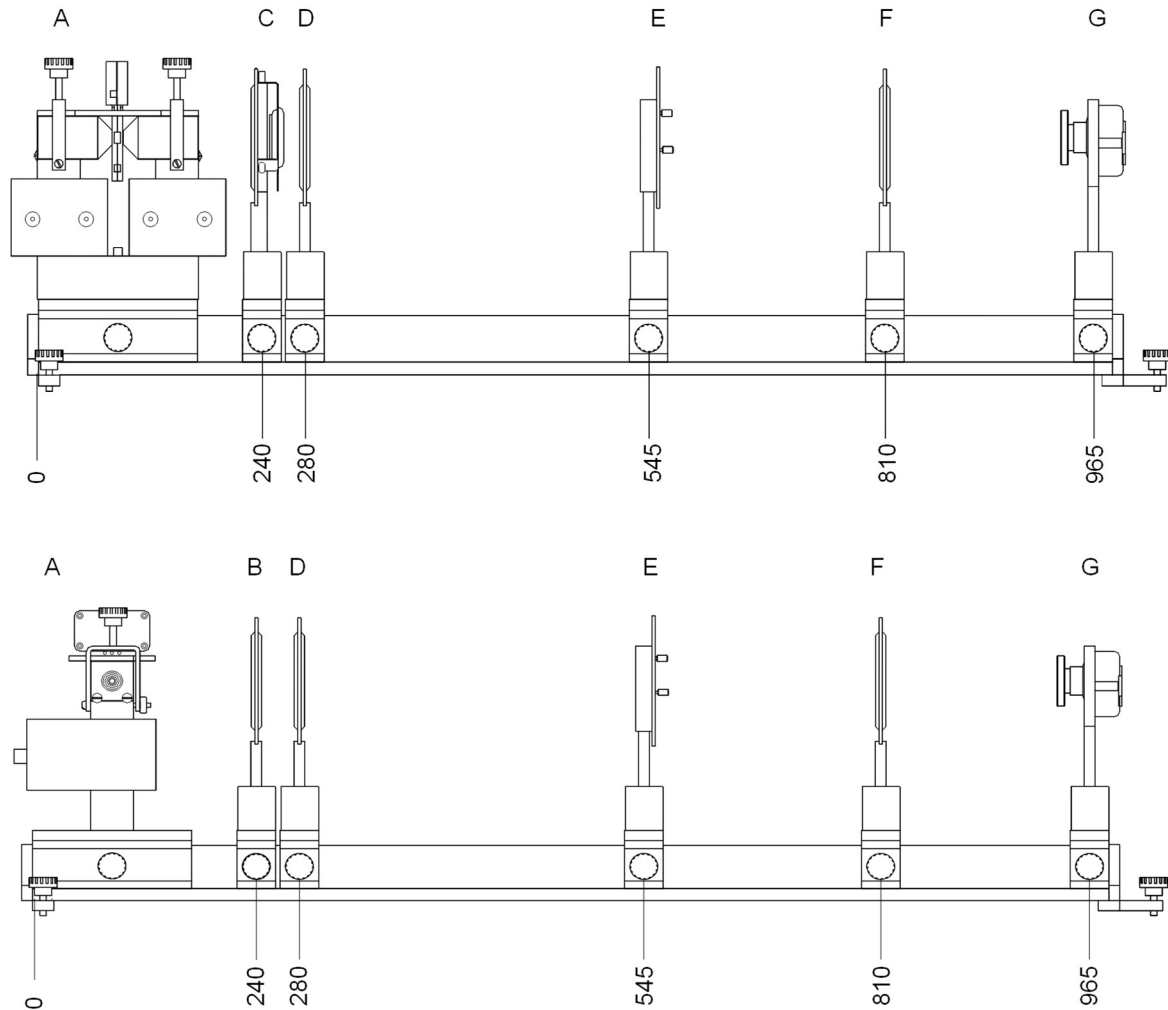


Fig. 4: Experimenteller Aufbau für den normalen Zeeman-Effekt in longitudinaler (oben) und transversaler (unten) Konfiguration. A: Elektromagnet mit Cd-Lampe, B: Polarisationsfilter, C: Viertelwellenlängenfilter mit Polarisationsaufsatz, D: Sammellinse  $f = 100 \text{ mm}$  (Kondensorlinse), E: Fabry-Pérot-Etalon, F: Sammellinse  $f = 100 \text{ mm}$  (Abbildungslinse), G: Kamera mit 12-mm-Linse. Genaue Positionierung der Komponenten siehe Text.

Die maximale Stromstärke durch die Spulen D mit 900 Windungen beträgt 5 A (7 Minuten). Sie kann kurzfristig (30 Sekunden) auf das Doppelte angehoben werden. Die Spulen verfügen über eine interne reversible Temperatursicherung, die bei einer Wicklungstemperatur von  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  auslöst. Die Rückstellzeit beträgt 10-20 Minuten, je nach Umgebungstemperatur.

- Die Messung entsprechend zügig durchführen, so dass ein Auslösen der Temperatursicherung durch zu langes Fließen hoher Ströme vermieden wird.
- Die Spulen nicht ohne Trafokern betreiben.

### ALLGEMEINE HINWEISE

Es empfiehlt sich, das Experiment in einem dunklen Raum durchzuführen, um Streulicht aus der Umgebung zu minimieren sowie optimale Belichtung und optimalen Kontrast des Livebildes der Kamera zu erzielen.

Die Software der Kamera ist auf dem Mess-Computer zu installieren.

### AUFBAU

#### Montage des Elektromagneten und der Cd-Lampe

- Den Satz Füße für optische Bank (1012399) montieren, den langen Fuß auf der linken Seite der optischen Bank, den kurzen auf der rechten (Skala vorne). Die optische Bank an einem ebenen Experimentierplatz aufstellen.
- Den Optikfuß (1009733) so auf der optischen Bank positionieren und fixieren, dass er linksbündig mit der Stirnplatte abschließt (Fig. 4).
- Den Elektromagneten in longitudinaler Konfiguration (Fig. 4 oben) auf dem Optikfuß zusammenbauen wie in der Bedienungsanleitung zum Elektromagnet-Zubehör für Zeeman-Effekt (1021365) beschrieben.
- Die Cadmium-Lampe wie in der Bedienungsanleitung zur Cd-Lampe mit Zubehör (1021366 / 1021747) beschrieben auf den Elektromagneten montieren.

- Die PE-Buchsen am Vorschaltgerät der Cd-Lampe und am Polschuh des Elektromagneten mit Hilfe des mitgelieferten gelb-grünen Sicherheitsexperimentierkabels (Schutzleiter) miteinander verbinden.
- Die Cd-Lampe mit Hilfe der 4-mm-Sicherheitsexperimentierkabel an das Vorschaltgerät anschließen. Das Vorschaltgerät mit Hilfe des Netzkabels an das Stromnetz anschließen. Das Vorschaltgerät noch nicht einschalten.
- Den Abgriff "0" der linken Spule mit dem Abgriff "900" der rechten Spule und den Abgriff "0" der rechten Spule mit dem Abgriff "900" der linken Spule verbinden. Anschließend den Abgriff "0" der linken Spule mit dem Ausgang "-" des DC-Netzgerätes und den Abgriff „900“ der linken Spule mit dem Ausgang „+“ des DC-Netzgerätes verbinden (Fig. 1). Das DC-Netzgerät mit Hilfe des Netzkabels an das Stromnetz anschließen. Das DC-Netzgerät noch nicht einschalten.

### Montage der Kamera und der Optiken

- Die Stativstange (1025431) in das 1/4"-Stativgewinde auf der Unterseite der Kamera schrauben.
- Die 12-mm-Linse (1024059) in das C-Mount-Gewinde an der Vorderseite der Kamera schrauben.
- Den roten Farbfilter (1025376) auf die 12-mm-Linse schrauben.
- Den Polarisationsaufsatz (1021364) wie in der Bedienungsanleitung beschrieben auf den Viertelwellenlängenfilter (1021353) montieren.

Der Polarisationsfilter auf Stiel (1008668), die beiden Sammellinsen auf Stiel,  $f = 100$  mm (1003023) und das Fabry-Pérot-Etalon (1020903) bedürfen keiner weiteren Montage.

### Inbetriebnahme des Experiments und Justage

- Das Vorschaltgerät der Cd-Lampe einschalten und ca. 5 Minuten warten.

Nach einer Aufwärmzeit von ca. 5 Minuten hat die Cd-Lampe 90% ihrer Lichtleistung erreicht.

- Einen langen Optikeiter (1012401) für die Kamera so auf der optischen Bank positionieren und fixieren, dass er rechtsbündig mit der Stirnplatte abschließt. Die Kamera bis zum Anschlag in den optischen Reiter einführen, anschließend um ca. 2 cm nach oben schieben und fixieren.
- Die 12-mm-Linse mittig stellen, so dass sie in beide Drehrichtungen ausreichend Spielraum hat.
- Einen kurzen Optikeiter (1002639) für die Abbildungslinse (Sammellinse  $f = 100$  mm, 1003023) bei 810 mm positionieren und fixieren. Die Abbildungslinse bis zum Anschlag in den Optikeiter einführen und fixieren.
- Den Computer starten und die Kamera mit Hilfe des USB-Kabels an den Computer anschließen.
- Die Software starten. Die Kamera wird automatisch erfasst und erscheint in der Kamera-Liste. Die Kamera auswählen und anklicken.

Das Livebild wird im Fenster angezeigt und sieht nach der im Folgenden beschriebenen Optimierung aus wie in Fig. 5.

- Den Raum abdunkeln, falls das Livebild durch Streulicht beeinträchtigt wird.

Hinweis:

Die Bildschirmfotos in Fig. 5 – Fig. 7c sind bei vollständig abgedunkeltem Raum aufgenommen worden.

- Im Kamera-Fenster den Menüpunkt „Frequenz (Anti-flicker)“ öffnen (ggf. runterscrollen) und „Wechselstrom (50 Hz)“ bzw. „Wechselstrom (60 Hz)“ anklicken.

Diese Einstellung minimiert den Einfluss der Netzfrequenz auf das Livebild der Kamera.

- Die optimale Belichtungszeit manuell wählen. Nicht den Weißabgleich anwenden, weil sonst die Wirkung des Rotfilters kompensiert wird.
- Ggf. durch Drehen an der 12-mm-Linse die Schärfe optimieren.
- Ggf. die Kamera im Optikeiter etwas nach oben oder unten schieben, so dass das Bild zentriert ist.

Hinweis:

Bedingt durch die optische Abbildung entsteht ein reelles, kopfstehendes Bild. Wird die Kamera im Optikeiter nach oben geschoben, bewegt sich das Bild nach unten und umgekehrt.

- Einen kurzen Optikeiter (1002639) für die Kondensorlinse (Sammellinse  $f = 100$  mm, 1003023) bei 280 mm auf der optischen Bank positionieren und fixieren. Die Kondensorlinse bis zum Anschlag in den Optikeiter einführen und fixieren. Ggf. die Abbildungslinse so verschieben, dass der Lichtfleck bildfüllend erscheint und die Belichtungszeit anpassen (Livebild wie in Fig. 6).
- Einen langen Optikeiter (1012401) für das Fabry-Pérot-Etalon (1020903) bei 545 mm auf der optischen Bank positionieren und fixieren. Das Fabry-Pérot-Etalon bis zum Anschlag in den Optikeiter einführen und fixieren.

Hinweis:

Die Interferenzringe erscheinen ggf. unscharf und zu hell. Zur Optimierung von Schärfe und Belichtung sind Kameraposition, Fokussierung und Belichtungszeit anzupassen.

- Die Kamera nach 965 mm verschieben, ggf. im Optikeiter etwas nach oben oder unten schieben, so dass das Bild wieder zentriert ist, durch Drehen an der 12-mm-Linse die Schärfe optimieren und die Belichtungszeit anpassen (Livebild wie in Fig. 7).
- Den Viertelwellenlängenfilter mit Polarisationsaufsatz bzw. den Polarisationsfilter noch nicht in den Strahlengang stellen.

Der Aufbau ist jetzt für die Durchführung des Experiments fertig konfiguriert.



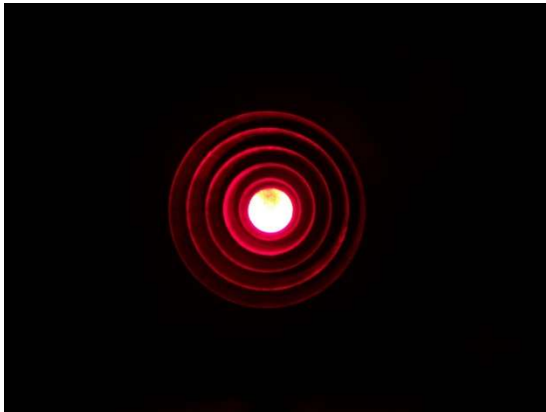


Fig. 5: Livebild mit Kamera und Abbildungslinse. Stufenbohrung des Polschuhs und Lichtfleck der Cd-Lampe erscheinen konzentrisch und zentriert

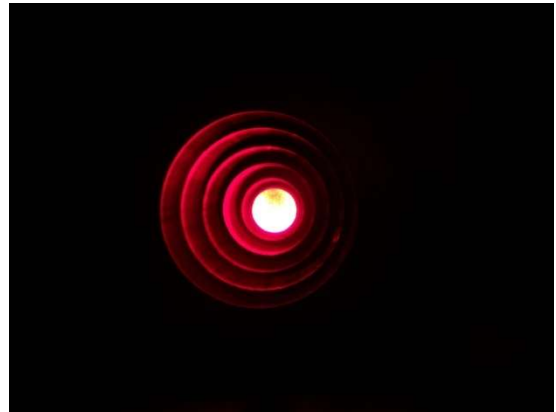


Fig. 5a: Elektromagnet verdreht. Die Stufenbohrung erscheint nicht konzentrisch. Korrektur: Elektromagnet so drehen, dass er mittig ausgerichtet ist

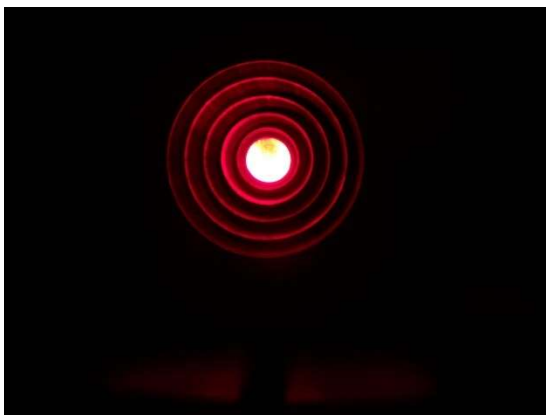


Fig. 5b: Kamera im Optikreiter zu niedrig. Korrektur: Kamera im Optikreiter nach oben schieben, so dass sie mittig ausgerichtet ist

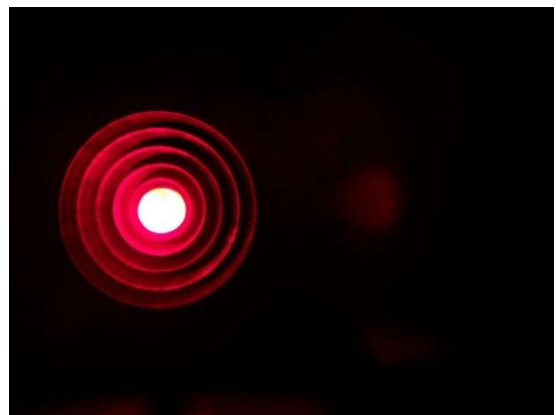


Fig. 5c: Kamera im Optikreiter verdreht. Korrektur: Kamera im Optikreiter so drehen, dass sie mittig ausgerichtet ist

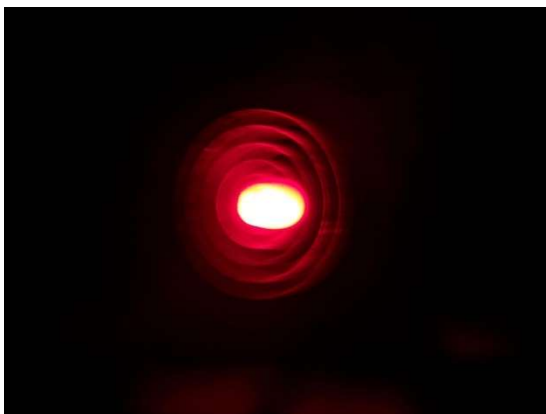


Fig. 5d: Abbildungslinse im Optikreiter verdreht. Korrektur: Abbildungslinse im Optikreiter so drehen, dass sie senkrecht zur optischen Achse ausgerichtet ist



Fig. 6: Livebild mit Kondensorlinse



Fig. 6a: Kondensorlinse im Optikreiter verdreht. Korrektur: Kondensorlinse im Optikreiter so drehen, dass sie senkrecht zur optischen Achse ausgerichtet ist



Fig. 7: Livebild mit Fabry-Pérot-Etalon



Fig. 7a: Schlechte Fokussierung. Korrektur: An der 12-mm-Linse drehen, so dass die Interferenzringe scharf zu sehen sind



Fig. 7b: Etalon im Optikreiter verdreht. Korrektur: Etalon so im Optikreiter drehen, dass es senkrecht zur optischen Achse ausgerichtet ist

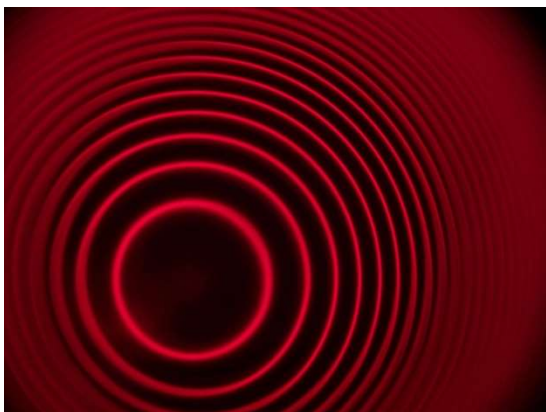


Fig. 7c: Etalon verkippt. Korrektur: Justage mit Hilfe der drei Stellschrauben am Gehäuse.

## DURCHFÜHRUNG, MESSBEISPIEL UND AUSWERTUNG

### Beobachtung in longitudinaler Richtung

Die folgenden Schritte ausführen, beobachten, wie sich die Interferenzringe ändern und Bildschirmfotos anfertigen (Fig. 8).

- Kein äußeres Magnetfeld anlegen.

Es werden nur die vom Fabry-Pérot-Etalon erzeugten Interferenzringe beobachtet, die jeweils der roten Cd-Spektrallinie entsprechen (Fig. 8a).

- Äußeres Magnetfeld anlegen. Dazu DC-Netzgerät einschalten und den Strom durch die Spulen auf 3,5 A ( $B = 334 \text{ mT}$ ) hochregeln.

Hinweis:

Bei angelegtem Magnetfeld sollte die Belichtungszeit  $\geq 20 \text{ ms}$  sein, da es sonst aufgrund einer Beeinträchtigung des „Rolling-Shutter-Sensors“ der Kamera zu „flimmernden Linien“ kommen kann.

Es wird die Aufspaltung in das Liniendublett mit den beiden verschobenen Komponenten  $\sigma^-$  und  $\sigma^+$  beobachtet, die unverschobene  $\pi$  – Komponente wird nicht beobachtet (Fig. 8b).

- Bei angelegtem Magnetfeld den Viertelwellenlängenfilter mit Polarisationsaufsatz mit Hilfe eines langen Optikkreuzers (1012401) zwischen dem Elektromagneten und der Sammellinse positionieren (Fig. 4 C).

Hinweis:

Der Viertelwellenlängenfilter muss sich auf der Seite der Cd-Lampe befinden.

- Bei angelegtem Magnetfeld den Viertelwellenlängenfilter mit Polarisationsaufsatz auf  $-45^\circ$  einstellen.

Die  $\sigma^-$  – Komponente verschwindet (Fig. 8c).

- Bei angelegtem Magnetfeld den Viertelwellenlängenfilter mit Polarisationsaufsatz auf  $+45^\circ$  einstellen.

Die  $\sigma^+$  – Komponente verschwindet (Fig. 8d).

- Den Viertelwellenlängenfilter mit Polarisationsaufsatz aus dem Strahlengang herausnehmen.
- Strom herunterregeln und DC-Netzgerät ausschalten.

### Beobachtung in transversaler Richtung

- Den Elektromagneten so drehen, dass die Polschuhe senkrecht zur Richtung der optischen Achse orientiert sind (Fig. 4).
- Kein äußeres Magnetfeld anlegen.

Es werden nur die vom Fabry-Pérot-Etalon erzeugten Interferenzringe beobachtet, die jeweils der roten Cd-Spektrallinie entsprechen (Fig. 8e).

- Äußeres Magnetfeld anlegen. Dazu DC-Netzgerät einschalten und den Strom durch die Spulen auf 3,5 A ( $B = 334 \text{ mT}$ ) hochregeln.

Es wird die Aufspaltung in das Linientriplett mit der unverschobenen  $\pi$  – Komponente und den beiden verschobenen Komponenten  $\sigma^-$  und  $\sigma^+$  beobachtet (Fig. 8f).

- Bei angelegtem Magnetfeld den Polarisationsfilter zwischen dem Elektromagneten und der Sammellinse positionieren (Fig. 4 B) und auf  $0^\circ$ , d.h. senkrecht zum Magnetfeld einstellen.

Die  $\pi$  – Komponente verschwindet (Fig. 8g).

- Bei angelegtem Magnetfeld den Polarisationsfilter auf  $90^\circ$ , d.h. parallel zum Magnetfeld einstellen.

Die beiden  $\sigma$  – Komponenten verschwinden (Fig. 8h).

- Den Polarisationsfilter aus dem Strahlengang herausnehmen.
- Strom herunterregeln und DC-Netzgerät ausschalten.



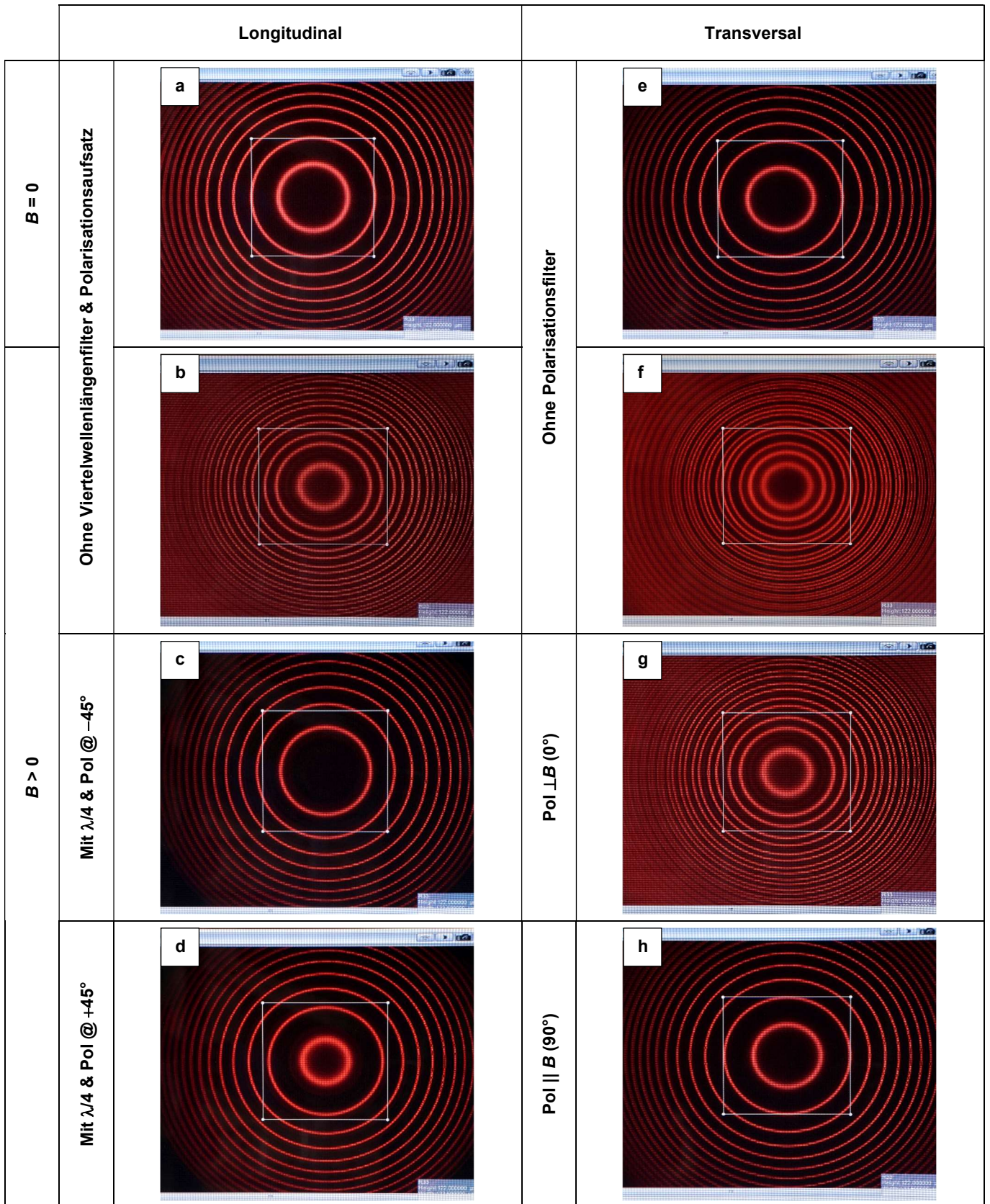


Fig. 8: Beobachtung der Dublett- und Triplet-Aufspaltung der roten Cadmium-Linie im äußeren Magnetfeld und Untersuchung der Polarisation. Zur besseren Orientierung ist der zweite vom Zentrum aus gezählte Interferenzring mit einem Rahmen markiert