

MIN — Michelson Interferometer

P3A — Praktikum

20. Februar 2021

Ziele

In diesem Experiment lernt man das Michelson Interferometer und drei Anwendungen kennen.

Teilversuche

1. **Aufbau** eines Michelson Interferometers

Vertrautmachen mit den unterschiedlichen **Bestandteilen** und **qualitative Beobachtung** der Abhängigkeit des **Interferenzmusters** vom **Armlängenunterschied**

2. **Anwendung 1: Bestimmung der Wellenlänge** des Laserlichtes

Verwenden der Eigenschaften eines Interferometers für eine erste Messung

3. **Anwendung 2: Messung des Doppler-Effektes**

Mithilfe eines mit **konstanter Geschwindigkeit bewegten Spiegels** eines Interferometerarms wird der Doppler-Effekt von Licht gemessen.

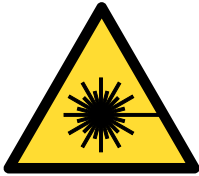
4. **Anwendung 3: Magnetostriktion**

Die Deformation magnetischer Körper infolge eines angelegten Magnetfeldes wird mit dem Michelson Interferometer untersucht.

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalischer Hintergrund	3
1.1	Stichworte zur Vorbereitung	3
1.2	Physikalische Methode	4
1.2.1	Aufbau eines Michelson Interferometers	4
1.2.2	Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichtes	5
1.2.3	Messung des Doppler-Effektes	6
1.2.4	Magnetostriktion	11
2	Durchführung	12
2.1	Aufbau eines Michelson Interferometers	13
2.2	Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichtes	14
2.3	Messung des Doppler-Effektes	15
2.4	Magnetostriktion	16

Sicherheitshinweise



- Vor Versuchsbeginn müssen Sie die Laserbelehrung zur Kenntnis genommen haben!
- Bei Verwendung von Lasern oberhalb von Klasse 2 muss jede Person im Raum eine Justierbrille tragen! Trotz Justierbrille ist darauf zu achten, nicht in den Laserstrahl hineinzusehen.
- Die Justierbrillen sind auch für Brillenträger geeignet, es empfiehlt sich jedoch, falls möglich, Kontaktlinsen zu verwenden.
- Niemals absichtlich in den Strahl blicken. Die Augen bewusst schließen und den Kopf abwenden, wenn der Laserstrahl ins Auge trifft.
- Zur Überprüfung der Position des Laserstrahls ist es ratsam, ein Stück Papier in den Strahl zu halten.
- Uhren sowie Schmuck müssen abgelegt werden, um Reflexionen zu vermeiden.
- Berührungen des Laserstrahls mit der Haut sind zu vermeiden. Tragen Sie daher bitte Baumwollhandschuhe!

1 Physikalischer Hintergrund

1.1 Stichworte zur Vorbereitung

- Interferenz
- Wellenlänge und Phase
- Interferenz am Beispiel des Michelson-Interferometers
- Kohärenzlänge
- Überlagerung von Schwingungen gleicher und verschiedener Frequenz (Schwebung)
- virtuelle Lichtquelle/virtuelles Bild
- optischer Doppler-Effekt
- spezielle Relativitätstheorie, Lichtgeschwindigkeit
- Lorentz-Transformation
- Magnetostriktion

1.2 Physikalische Methode

1.2.1 Aufbau eines Michelson Interferometers

Im ersten Teilversuch soll ein Michelson-Interferometer aufgebaut werden. Im Versuch wird das Licht durch einen **halbdurchlässigen Spiegel (Strahlteiler, BS)** in zwei Teilstrahlen aufgespalten. Die beiden Teilwellen werden an zwei **Spiegeln reflektiert**, an der Glasplatte wieder vereinigt und dann dahinter auf einem Schirm (SC) zur Interferenz gebracht (Abbildung 1 links).

Weil die Interferenzen vor allem bei ausgedehnten Lichtstrahlen beobachtbar sind, wird der Lichtstrahl zwischen dem Laser und der Glasplatte durch eine **Linse L aufgeweitet**.

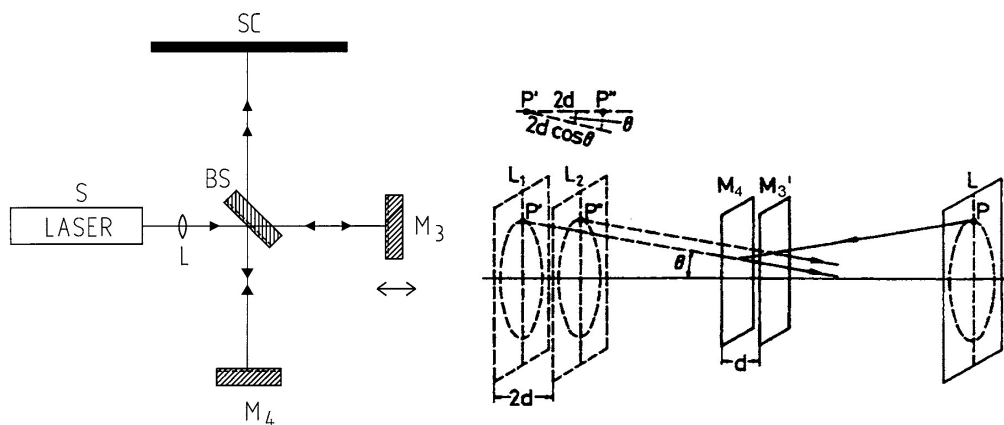


Abbildung 1:

links: Schematischer Aufbau eines Michelson-Interferometers

rechts: zur Entstehung der Interferenzkreise

Wenn man sich den realen Spiegel M_3 als ein virtuelles Bild M_3' vorstellt, welches durch Reflexion an der Glasplatte entsteht, wird ein Punkt P der Lichtquelle als Punkte P' und P'' der virtuellen Lichtquellen L_1 und L_2 erscheinen. Als Folge des unterschiedlichen Lichtweges kann man die **Phasenverschiebung δ** , wenn die Bezeichnungen wie in der Abbildung 1 (rechts) gewählt werden, folgendermaßen beschreiben:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2d \cos \theta \quad (1)$$

mit $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ als Wellenlänge des verwendeten He-Ne Lasers.

Zur Erinnerung:

Wenn sich zwei Wellen gleicher Frequenz ω , verschiedener Amplitude a_i und Phase α_i in einem Punkt überlagern, so gilt:

$$Y = a_1 \cdot \sin(\omega t - \alpha_1) + a_2 \cdot \sin(\omega t - \alpha_2)$$

Die resultierende Schwingung kann durch

$$Y = A \cdot \sin(\omega t - \alpha)$$

beschrieben werden, mit der **Amplitude**

$$A = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos \delta} \quad (2)$$

und dem **Phasenunterschied**

$$\delta = \alpha_1 - \alpha_2$$

Im Versuch gilt für das aufzubauende Michelson-Interferometer, dass $a_1 = a_2 = a$, da der Strahlteiler jeweils **50% transmittiert** und **reflektiert** und die beiden Interferometerarme (näherungsweise) gleich lang sind. Nach (2) ist die Intensitätsverteilung dann

$$I \sim A^2 = 4a^2 \cos^2 \frac{\delta}{2}$$

Maxima entstehen dann, wenn δ ein **ganzzahliges Vielfaches von 2π** ist, also mit (1)

$$2d \cos \theta = m\lambda ; \quad m = 1, 2, \dots \quad (3)$$

Dies ergibt **kreisförmige Ringe** für die gewählten Werte von m und d , da θ konstant bleibt (siehe Abbildung 1, rechts).

Wenn man die Position des beweglichen Spiegels M_3 so verändert, dass d z. B. abnimmt, verkleinert sich entsprechend der Durchmesser der Ringe, gemäß (3). Jedes Mal wenn d um $\Delta d = \lambda/2$ **verringert** wird verschwindet ein Ring. Bei $d = 0$ **verschwindet** das **kreisförmige Muster**.

Wenn die Spiegeloberflächen M_4 und M_3 im Sinne von Abbildung 1 (rechts) nicht zu einander parallel sind, erhält man gebogene Streifen.

1.2.2 Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichtes

Aufgrund der Abhängigkeit der Radien der Beugungsstrukturen von der Wellenlänge des Lichtes lässt sich das Michelson-Interferometer dazu nutzen Wellenlängen zu messen.

- Während man die optische Weglänge ändert, sieht man wie Maxima und Minima sich im Zentrum der Interferenzringe abwechseln. Die Zu- oder Abnahme der Weglänge erzeugt unterschiedliche Erscheinungen auf dem Schirm: Erscheint das Zentrum der Ringe als Quelle von Maxima und Minima wird die Weglänge kleiner. Andersherum verschwinden die Extrema im Zentrum bei Vergrößerung der Wegstrecke.
- Nach (3) wird ein solcher Zyklus (Minimum zu Minimum oder Maximum zu Maximum) durchlaufen, wenn sich d um $\lambda/2$ und damit die optische Weglänge gerade um λ ändert. Im Experiment wird dafür die Strecke zwischen Strahlteiler BS und Spiegel M_3 um Δd geändert.
- Um die Wellenlänge zu bestimmen, muss die Entfernung zwischen dem Spiegel M_3 und dem Strahlteiler BS in Größenordnungen von Nanometern kontrolliert geändert und gemessen werden können. Dafür wird die Position des Spiegels M_3 mit Hilfe eines Hebelarmes (Hebel-Übertragungsverhältnis ungefähr 20:1) verändert, der wiederum von einer Mikrometerschraube (2 Umdrehungen entsprechen 1 mm) bewegt wird.

1.2.3 Messung des Doppler-Effektes

In diesem Teilversuch wird das Michelson-Interferometer dazu benutzt, um den Doppler-Effekt an Licht zu untersuchen. Dabei wird der Spiegel M_3 kontinuierlich mit Hilfe eines Motors verschoben. Das am bewegten Spiegel reflektierte Licht wird nun Doppler-verschoben. Die Interferenz von hin- und rücklaufenden Wellen mit der Differenzfrequenz Δf führt zu einer Schwebung und ist auf dem Schirm durch eine periodische Intensitätsmodulation beobachtbar und messbar. Das Ergebnis wird mit dem theoretischen Wert für Δf , bestimmt aus einer direkten Geschwindigkeitsmessung des Spiegels M_3 , verglichen.

Akustischer Doppler-Effekt

Um die Besonderheiten beim Dopplereffekt an Licht zu verstehen ist es gut sich zuerst den akustischen Doppler-Effekt in Erinnerung zu rufen. Der Effekt beschreibt den Unterschied bei Frequenzmessungen, die vom Sender und vom Empfänger durchgeführt werden, wenn sie sich relativ zueinander bewegen. Betrachtet man nur Inertialsysteme, bewegen sich Sender (T) und Empfänger (R) mit konstanter Geschwindigkeit auf geraden Bahnen. Bei Wellen, die zur Ausbreitung ein Medium benötigen, wie Schallwellen, muss man dabei zwei Fälle unterscheiden:

- (a) T ist in Ruhe zum Medium und R bewegt sich durch das Medium
- (b) R ist in Ruhe zum Medium und T bewegt sich durch das Medium

In Abbildung 2 sind beide Fälle abgebildet:

Im ersten Quadranten (Fall (a)) ist die Weg-Zeit Gerade vom bewegten Empfänger (R) mit der Steigung v (Geschwindigkeit des Empfängers) und dem stationären Sender (T) als Quelle dargestellt (t -Achse).

Im vierten Quadranten (Fall (b)) ist die Weg-Zeit Gerade der bewegten Quelle (T) mit der Steigung $-v$ und einem stationären Empfänger (R) zu sehen. In beiden Fällen ist die relative Geschwindigkeit $|v|$ und das Koordinaten-System bzgl. des Mediums in Ruhe.

Für weitere Überlegungen soll gelten, dass die Quelle eine harmonische Welle aussendet und die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellenbergen (Amplitudenmaxima) gemessen wird, wobei T_T die Messung des Senders (T) und T_R die Messung des Empfängers (R) darstellt.

Die Schallwelle bewegt sich selbst mit Schallgeschwindigkeit c fort. Der erste Wellenberg wird vom Koordinatenursprung gesendet und ohne Verzögerung vom Empfänger gemessen. Für die Übertragung des zweiten Wellenberges sieht man einen Unterschied zwischen T_T und T_R :

Im Fall (a) folgt aus

$$v \cdot T_R = c \cdot (T_R - T_T)$$

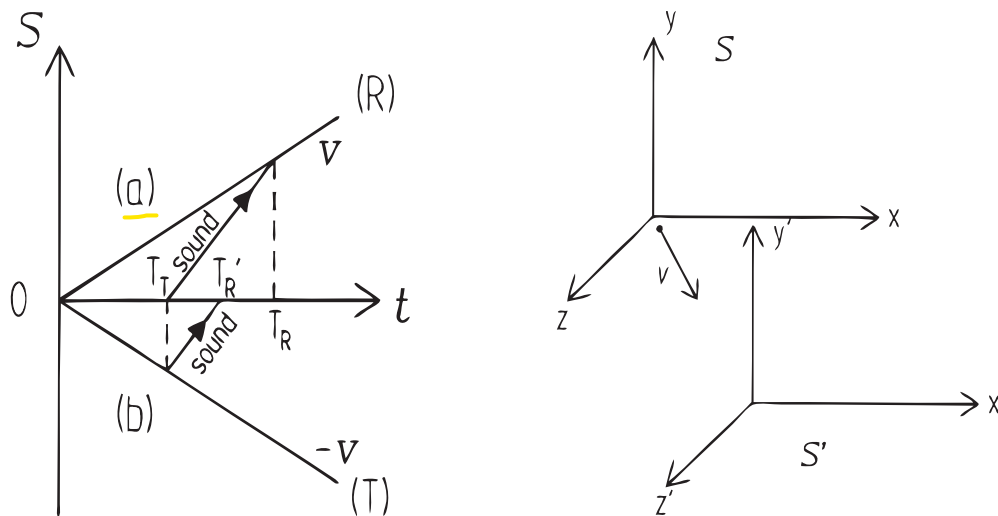


Abbildung 2: links: Doppler-Effekt, rechts: zwei relativ zueinander bewegte Inertialsysteme

$$\frac{T_T}{T_R} = 1 - \frac{v}{c} \quad (4)$$

und analog folgt für den Fall (b) mit T'_R aus

$$-v \cdot T_T = c \cdot (T_T - T'_R)$$

$$\frac{T_T}{T'_R} = \frac{1}{1 + \frac{v}{c}}$$

Wegen $f = 1/T$ folgt für das Verhältnis der Frequenzen:

$$\frac{f_R}{f_T} = \frac{T_T}{T_R}$$

Kombiniert man beide Fälle (a) und (b) bekommt man:

$$\frac{f_R}{f_T} = \left(\frac{c \pm v_R}{c \mp v_T} \right)$$

wobei v_R und v_T jeweils die Geschwindigkeiten bzgl. des ruhenden Mediums sind. Die **oberen Zeichen** gelten für **relative Annäherung**, die **unteren** bei **Entfernung** v von Sender (T) und Empfänger (R). Es ist wichtig, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit c nur vom **Medium** abhängig ist, nicht vom Bewegungszustand des Senders oder Empfängers.

Relativistischer Doppler-Effekt

Beim optischen Doppler-Effekt muss eine andere Beziehung gelten, da **kein Medium** zur Ausbreitung nötig ist. Deswegen sollte der Doppler-Effekt hier allein von der relativen Geschwindigkeit von Sender und Empfänger abhängen, **ohne Bezug zu einem Medium** (Äther) nehmen zu müssen. Dies führt zu den Grundgedanken der Speziellen Relativitätstheorie:

- (i) Die **Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit c vom Bezugssystem.**
- (ii) Die **Äquivalenz aller Inertialsysteme**

Man betrachte zwei Inertialsysteme S und S' (siehe Abbildung 2), die sich mit **konstanter Geschwindigkeit** relativ zueinander bewegen und zur Zeit $t = 0$ **zusammenfallen**. Im **Ursprung** von S ist eine **stationäre Lichtquelle**, welche eine **Kugelwelle** zur Zeit $t = 0$ aussendet. In S' **bewegt sich** zwar diese **Lichtquelle**, jedoch breitet sich das Signal auch in S' als **Kugelwelle** (ii) mit der **selben Geschwindigkeit c** (i) aus:

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2 \quad \text{und} \quad x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2 \quad (5)$$

Da die **klassischen Galilei-Transformationen nicht** mit einer in allen Bezugssystemen konstanten Geschwindigkeit **verträglich** sind und außerdem $t = t'$ gilt, sind sie auch mit (5) unverträglich. Man benötigt eine andere mit ihnen verträgliche Gruppe von Transformationen: die **Lorentz-Transformationen**:

$$x' = \gamma(x - \beta \cdot ct); \quad y' = y; \quad z' = z; \quad ct' = \gamma(ct - \beta x) \quad (6)$$

mit

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}; \quad \beta = \frac{v}{c}$$

Der Longitudinale Doppler-Effekt

Man betrachte eine **Relativbewegung in Richtung** des **Lichtstrahls**: **Zwei Lichtpulse** (oder Wellenberge) werden durch einen **stationären Sender im Bezugssystem S** am **Ort $x = 0$** zur Zeit $t_1 = 0$ und $t_2 = \tau$ ausgestrahlt. **System S' bewegt sich relativ zu S** mit der **Geschwindigkeit v** . Der **erste Lichtimpuls** wird in S' bei $x' = 0$ und $t' = 0$ **empfangen**. Mit Hilfe der Lorentz-Transformation (6) ist der Punkt S' , der mit $x = 0$ zur Zeit $t = \tau$ zusammenfällt, gegeben durch:

$$x' = -v\gamma\tau$$

Die damit verbundene Zeit in S' ist

$$t' = \gamma\tau$$

Der **zweite Puls** benötigt die Zeit

$$\Delta t' = \gamma \tau \beta$$

um von x' zum **Ursprung** in S' zu gelangen.

Damit folgt, dass die **Zeitdifferenz** zwischen dem Empfang von zwei Pulsen am Punkt x' in S' durch

$$t' + \Delta t' = \tau \cdot \gamma(1 + \beta) = \tau \cdot \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}}$$

gegeben ist.

Die Frequenz ist der Kehrwert der Schwingungsdauer der Welle, also:

$$f' = f \cdot \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}}$$

In diesem Fall ist f' die Frequenz, die in S' empfangen und f diejenige, die in S gesendet wurde. Wenn der **Empfänger** sich **von der Lichtquelle entfernt**, ist f' **kleiner** als f . Wenn der **Empfänger** sich dem **Sender nähert**, wird f' **größer** als f .

Formt man diese Gleichung etwas um, erhält man

$$f' = f \cdot \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}} = f \cdot \frac{1 - \beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \gamma \cdot f \cdot (1 - \frac{v}{c})$$

Das ist (4) mit einem γ verziert. Für kleine Geschwindigkeiten geht $\gamma \rightarrow 1$ und es gilt:

$$\frac{f - f'}{f} = \frac{\Delta f}{f} = \beta \quad (7)$$

Für den Versuch gilt:

$$v = \frac{2 \cdot \Delta d}{t} \quad (8)$$

mit der Spiegelverschiebung Δd . Der Faktor 2 in (8) ist auf zwei Arten einzusehen:

1. Der sich mit Geschwindigkeit $v_S = \Delta d/t$ bewegende Spiegel empfängt ein Dopplerverschobenes Signal und verschiebt die Frequenz beim Emittieren noch einmal um den gleichen Betrag in die selbe Richtung:

$$\text{Empfang: } \frac{\Delta f_E}{f} = \frac{v_S}{c} \quad \text{Senden: } \frac{\Delta f_S}{f} = \frac{v_S}{c} \quad \Rightarrow \quad \Delta f = \Delta f_E + \Delta f_S = 2 \frac{v_S}{c} f$$

2. In Abbildung 1 (rechts) sieht man, dass sich die virtuellen Lichtquellen P' und P'' mit der doppelten Geschwindigkeit nähern/entfernen, da der Abstand zwischen ihnen $2d$ ist. Es interferiert also Licht des ruhenden Senders P' mit dem Dopplerverschobenen Licht des bewegten Senders P'' , dessen Relativgeschwindigkeit gerade $v = 2\Delta d/t$ ist.

v ist also die doppelte Spiegelgeschwindigkeit!

Beobachtung und Messung der Doppler-Verschiebung mit dem Michelson-Interferometer

Im Interferometer wird der am bewegten Spiegel reflektierte und Doppler-verschobene Teilstrahl mit dem vom stationären Spiegel M_4 kommenden Teilstrahl überlagert. Durch die leicht unterschiedlichen Frequenzen der Teilstrahlen entsteht eine Schwebung mit kleiner Frequenz, die als periodische Intensitätsschwankung auf dem Schirm (SC) beobachtet wird.

Die beobachtete Schwebungsfrequenz $\hat{\nu}$ lässt sich folgendermaßen mit der durch den Dopplereffekt entstehenden Differenzfrequenz Δf in Verbindung bringen:

Zwei Schwingungen unterschiedlicher Frequenz f und f' überlagern sich zu:

$$\begin{aligned} Y(t) &= Y_0 \sin(\omega t) + Y_0 \sin(\omega' t) \\ &= 2Y_0 \cos(\hat{\omega} t) \cdot \sin(\bar{\omega} t) \end{aligned}$$

Das entstehende Signal (siehe Abbildung 3) ist eine harmonische Schwingung mit einer mittleren Frequenz

$$\bar{\omega} = \frac{\omega + \omega'}{2} = 2\pi \bar{\nu}$$

und der Amplitude $2Y_0 \cos(\hat{\omega} t)$, die mit der **halben Differenz der Kreisfrequenzen** $\hat{\omega}$ moduliert ist:

$$\hat{\omega} = \frac{1}{2} |\omega - \omega'| = 2\pi \hat{\nu}. \quad (9)$$

Also gilt:

$$\Delta f = |f - f'| = 2\hat{\nu}$$

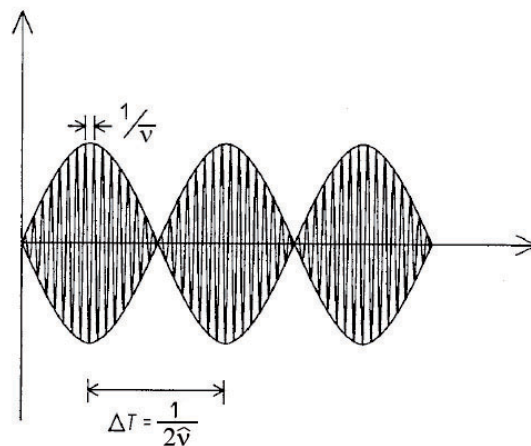


Abbildung 3: Aus der Doppler-Verschiebung resultierende Schwebung

Im Experiment sieht man jedoch nicht die Amplitude, sondern die Intensität, welche ja proportional zum Amplitudenquadrat ist. Damit ist die beobachtete Frequenz der Intensitätsschwankungen gerade $2\hat{\nu}$, also Δf .

1 Physikalischer Hintergrund

Um den Frequenzunterschied Δf zu bestimmen, werden die Veränderungen im Signal von Maximum zu Maximum, welche sich während der Spiegelverschiebung ereignet haben, gezählt.

Der Zeitraum ΔT zwischen zwei Maxima ist nach Abbildung 3 gegeben durch

$$\Delta T = \frac{1}{2\hat{v}} = \frac{1}{\Delta f}$$

Die so bestimmte Differenzfrequenz $\Delta f = |f - f'|$ kann nun mit der sich aus (7) ergebenden Dopplerverschiebung verglichen werden.

1.2.4 Magnetostriktion

Die Deformation magnetischer Körper infolge eines angelegten Magnetfeldes nennt man **Magnetostriktion**. Besonders gut geeignet sind **ferromagnetische Materialien**. Ein Zylinder aus Eisen oder Nickel kann so z.B. in der Länge geändert werden. Die **Längenänderung** $\Delta l/l$ liegt dabei in der Größenordnung von **10^{-8} bis 10^{-4}** . Diese kleinen Längenänderungen sollen im Versuch qualitativ mit dem Michelson-Interferometer beobachtet werden. Hierzu wird ein Spiegel des Interferometers durch eine **Spule** mit einem **ferromagnetischen Probekörper** als Kern ersetzt. Am Ende des Probekörpers ist ein **Spiegel** befestigt. Bei Anlegen eines Magnetfeldes erfolgt aufgrund der Magnetostriktion eine winzige Verschiebung des Spiegels, die sich in einem **veränderten Interferenzmuster** bemerkbar macht.

2 Durchführung

Material

Grundplatte mit Gummifüßen	08700.00
HeNe Laser, 5 mW (632.8 nm)	08701.00
oder Lasermodule Diodenlaser <1.0 mW; 520 nm (Klasse 2)	PL201
oder Lasermodule Diodenlaser <1.0 mW; 635 nm (Klasse 2)	PL202
Netzgerät und Schalter für 5 mW Laser	08702.93
Justierhalterung, 35 x 35 mm	08711.00
Oberflächenspiegel, 30 x 30 mm	08711.01
Magnetfuß	08710.00
Blendenhalter	08719.00
Strahlteiler, 50:50	08741.00
Linse in Fassung, f = +20mm	08018.01
Linsenhalter	08723.00
Blende, weiß 150 x 150 mm	09826.00
Digital Multimeter	
Maßband, 2 m	
Gabellichtschranke mit Zähler	11207.30
Netzgerät für Motor (5V-10A)	11076.93
Feinjustierung des Halters	08715.00
Motor, 1.7-2.3 V-, für Zahnrad und Riemenscheibe	08738.00
Zahnrad und Riemenscheibe	08738.01
Netzgerät für Magnetfeld der Spule (18V-5A)	13500.93
Faraday-Modulator	08733.00
Metallstäbe für Magnetostriktion (Eisen, Nickel, Kupfer)	08733.01

2.1 Aufbau eines Michelson Interferometers

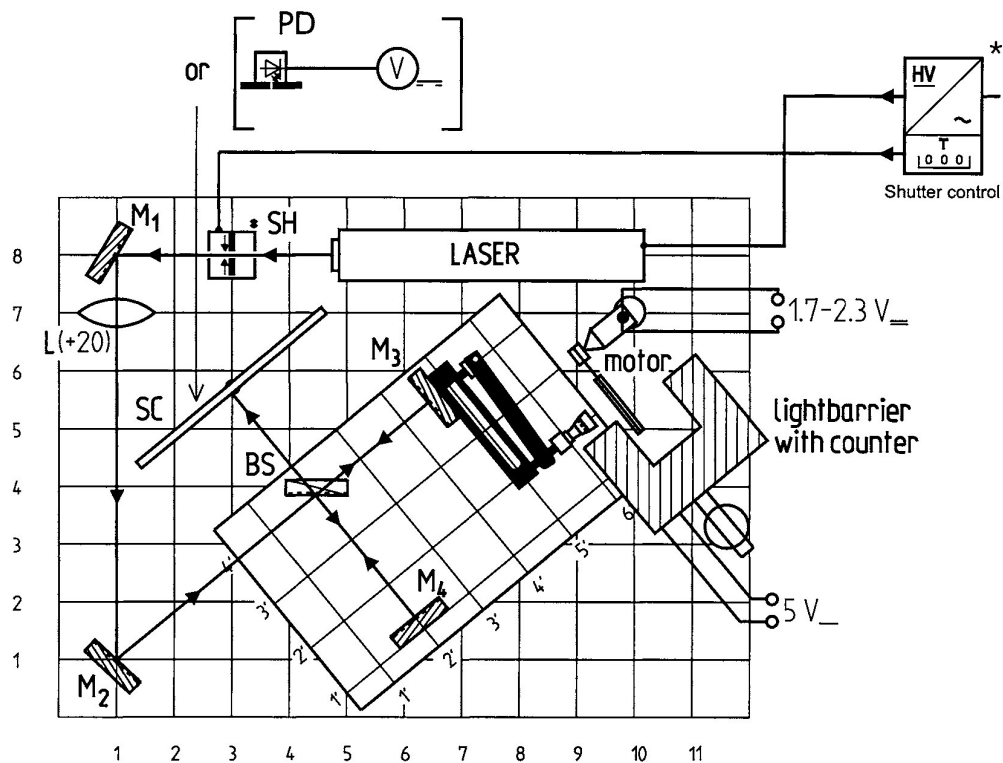


Abbildung 4: Experimenteller Aufbau des Michelson-Interferometers

Im Folgenden beziehen sich die Paare von Zahlen in Klammern [...] auf die Koordinaten der optischen Basisplatte in Übereinstimmung mit der Abbildung 4; die Koordinaten der Extraplatte werden mit Strichindizes versehen. Diese Koordinaten sollen nur eine ungefähre Richtlinie sein.

Bauen Sie das Experiment nach Abbildung 4 auf. Die empfohlene Aufbauhöhe (Strahlengang) liegt bei 130 mm:

- Die Linse L [1,7] sollte beim Justieren des Aufbaus herausgenommen werden.
- Indem Sie den Strahlengang mit den verstellbaren Spiegeln M₁ [1,8] und M₂ [1,1] lenken, richten Sie den Strahl diagonal über die Basisplatte entlang der 4' y Koordinate der Zusatzplatte aus.
- Anfangs sollten die Spiegel M₃ [5',4'] ohne Strahlteiler so eingestellt werden, dass der reflektierte Strahl denselben Punkt auf dem Spiegel M₂ trifft, von dem er auch ausgeht.
- Jetzt setzen Sie den Strahlteiler an der Position [1',4'] so in den Strahl, dass dieser, mit der metallischen Oberfläche dem Spiegel M₂ zugewandt, einen Teilstrahl auf den Spiegel M₃ und den anderen Teilstrahl im Rechten Winkel zur 1' x-Achse der Zusatzplatte auf den Spiegel M₄ [1',1'] reflektiert.

2 Durchführung

- Richten Sie jetzt den Strahl, der am Spiegel M_4 reflektiert wird mit den Verstellsschrauben so aus, dass er denselben Punkt auf dem Schirm SC [3,5.5] trifft, wie der Teilstrahl, der am Spiegel M_3 und dann am Strahlteiler [1', 4'] reflektiert wird. Ein Flackern der Leuchtpunkte, die zur Koinzidenz gebracht wurden, zeigt die korrekte Einstellung an.
- Durch Einfügen der Linse L in den Strahlengang werden die Leuchtpunkte aufgeweitet.
- Nun beobachten Sie Interferenzmuster (Streifen, Kreise) auf dem Schirm SC.
- Richten Sie nun die Spiegel M_3 und M_4 genau so ein, dass Sie konzentrische Kreise erhalten.

Verhalten des Interferometers für gleich lange Interferometerarme: $d = 0$

- Um solch eine Einstellung zu erreichen, müssen die zwei Lichtwege von den jeweiligen Spiegeln M_3 und M_4 zum Strahlteiler BS genau dieselbe Länge haben.
- Dabei wird die Position des Spiegels M_4 zuerst ungefähr auf die Koordinaten [2', 1'] eingestellt. Dann wird feinjustiert, bis die Interferenzstreifen wieder erscheinen. Nötigenfalls führen Sie die Justierung erstmal ohne Linse L durch, um eine grobe Koinzidenz der Leuchtpunkte zu erreichen.
- Jetzt schon erscheinen die Interferenzmuster größer (größere Radien der kreisförmigen Interferenzstreifen) als im ersten Teil des Experimentes. Warum?
- Nach der Anpassung der Weglängen zwischen den Spiegeln und dem Strahlteiler, bewegen Sie den Spiegel M_4 wieder, bis exakte Gleichheit der Weglängen erreicht ist und nur unbestimmte Interferenzerscheinungen auf dem Schirm sichtbar werden.
- Wegen der nicht ideal ebenen Oberfläche des Spiegels und der ungleichförmigen Dicke des Strahlteilers ist es unmöglich, ein Bild auf dem Schirm zu erhalten, das frei von Interferenzstreifen ist.
- Wenn der Spiegel M_4 und der Strahlteiler BS an Positionen [3',2'] und [3',4'] bewegt werden, und die vorher beschriebene Justierung durchgeführt wird, wird klar, dass die Größe der Radien der Interferenzstreifen auf dem Schirm nur eine Funktion des Wegunterschiedes zwischen den zwei Spiegeln und dem Strahlteiler, aber nicht der gesamten Weglänge ist.

2.2 Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichtes

Bestimmen Sie die Wellenlänge des Laserlichtes, indem Sie die Weglängenänderung zwischen M_3 und BS messen (Ablesen der Werte auf der Mikrometer-Schraube) und die Anzahl der damit verbundenen Durchläufe von Minimum-Minimum (Maximum-Maximum) zählen. Überlegen Sie sich wo Messfehler auftreten können und berücksichtigen Sie diese in der Rechnung. Machen Sie mindestens 3 Messreihen für unterschiedliche Weglängenänderungen. Das Übersetzungsverhältnis am Spiegelvorschub durch den Hebel beträgt laut Hersteller 1 : (20 ± 1) . Die Auswertung der 3 Messreihen inklusive Messunsicherheiten erfolgt zu Hause.

2.3 Messung des Doppler-Effektes

Um die schnell wechselnden Maxima/Minima im Zentrum des Interferenzmusters zählen zu können muss der Spiegel M_3 mit konstanter und sehr geringer Geschwindigkeit bewegt werden. Dafür treibt der Gleichspannungs-Motor, der an einer Haltestange mit Hilfe eines Magnetfußes auf der Basisplatte [10,6.5] befestigt ist, über ein Gummiband die Riemenscheibe an, welche an der Mikrometerschraube befestigt ist, die wiederum über den Hebelarm (ca. $(20 \pm 1) : 1$) so die Position des Spiegels M_3 langsam verändern kann. Es ist also einiger Aufwand nötig, um so kleine Geschwindigkeiten zu ermöglichen!

- Wenn der Motor an das Netzteil angeschlossen wird, sollte man darauf achten, die Pole richtig anzuschließen, damit der Spiegel in die gewünschte Richtung gedreht wird. Außerdem muss die Mikrometerschraube genügend weit in die Rotationsrichtung gedreht werden können (bitte vorher testen).
- Die Bewegungsstrecke des Spiegels ist eingeschränkt. Der Startpunkt liegt bei ungefähr 5 mm.
- Montieren Sie nun die Lichtschranke [11 ,3] so, dass Sie die Umdrehungen der Mikrometerschraube registrieren kann. Die Löcher im Rand der Schraube teilen eine Umdrehung in 50 Schritte. Bei einer vollen Umdrehung sollte die Lichtschranke 50 Unterbrechungen ihres Lichtstrahls gezählt haben.
- Der Infrarotstrahl muss exakt durch die Löcher passen! Benutzen Sie für die Justierung die dünne Stange.
- Benutzen Sie den Schirm SC, auf welchem das Interferenzmuster erscheint, um die Durchgänge von Maximum zu Minimum im Zentrum der Interferenzringe ab einem bestimmten Zeitpunkt zu zählen. Messen Sie gleichzeitig die Zeit, für diese Durchgänge.
- Die Geschwindigkeit des beweglichen Spiegels wird mit Hilfe einer Stoppuhr und dem mit der Lichtschranke gezählten Wert bestimmt.
- Machen Sie auch hier mindestens drei Messreihen für verschiedene Geschwindigkeiten.

Auswertung (zu Hause)

- Vergleichen Sie die Schwebungsfrequenz im Interferenzbild mit der Dopplerverschiebung.
- Benutzen Sie hierfür Gaußsche Fehlerrechnung und schätzen Sie dafür auftretende Messfehler und -ungenauigkeiten ab.
- Vergleichen Sie anhand der Fehlerrechnung die beiden Methoden zur Bestimmung der Schwebungsfrequenz.

2.4 Magnetostriktion

Testen Sie die drei Probezylinder aus Eisen, Nickel und Kupfer auf Ihre Fähigkeiten bzgl. Magnetostriktion, indem Sie jeweils folgende Schritte durchführen.

- Setzen Sie den Spiegel auf das freie Ende des Probekörpers.
- Stecken Sie den Probekörper in die Spule und befestigen Sie ihn.
- Bauen Sie ein Michelsoninterferometer auf, bei welchem Sie die Spule mit Probekörper und Spiegel als ein Armende verwenden.
- Das Netzteil hat Regler zur Spannungs- und Strombegrenzung. Stellen Sie zunächst beide auf Null.
- Bauen Sie mit dem Netzgerät und Multimeter einen Stromkreis mit der Spule auf, so dass Sie ein Magnetfeld erzeugen können und dabei den in der Spule fließenden Strom messen können.
- Erhöhen Sie die Spannungsbegrenzung auf das Maximum während die Strombegrenzung noch auf Null steht. Erhöhen Sie dann langsam den Strom (maximal bis 5 A, nur kurzzeitig über 3 A) und beobachten Sie dabei das Interferenzbild. Diskutieren Sie Ihre Beobachtungen.

Welches Verhalten zeigen die drei Proben? Wo liegen Unterschiede?