



Physikalisches Praktikum II

Bachelor Physikalische Technik: Lasertechnik
Prof. Dr. H.-Ch. Mertins, MSc. M. Gilbert

007 Michelson-Interferometer

(Pr_PhII_007_Michelson_7, 25.10.2015)

Name	Matr. Nr.	Gruppe	Team
1.			
2.			
Protokoll ist ok	<input type="radio"/>	Datum	Abtestat
Folgende Korrekturen nötig	<input type="radio"/>		

Hinweis

Lesen Sie die Versuchsanleitung (inkl. Versuchsdurchführung & Auswertung!) gründlich durch und machen sich mit den Begrifflichkeiten vertraut. Die Teilnahme am Praktikum erfordert das erfolgreiche Beantworten der Zulassungsfragen am Versuchstag (siehe Anleitung) oder alternativ eine kurze Vorstellung eines Themengebietes an der Tafel.

1. Ziel

Michelson entwickelte dieses Interferometer 1881 um den Einfluß der Erdbewegung auf die Lichtgeschwindigkeit zu untersuchen. Heute wird es zur Messung von sehr kleinen Längenänderungen in der Größenordnung der Lichtwellenlänge verwendet. Das Grundprinzip besteht in der Erzeugung und Auswertung von Interferenzmustern. In diesem Praktikum nutzen Wir das Interferometer zur Kalibrierung einer Mikrometerschraube und zur Bestimmung des Brechungsindex n von Luft.

2. Theorie

Die Grundlagen der Interferenz von Wellen sind im Praktikum „Beugung“ behandelt worden und werden hier vorausgesetzt. Der Aufbau des Interferometers ist in Abb. 1 dargestellt. Von der Lichtquelle aus trifft ein Strahl auf einen Strahlteiler. Dies ist ein Spiegel, der das einfallende Licht zur Hälfte reflektiert, und die andere Hälfte durchlässt. Der Strahl spaltet in zwei Teilstrahlen auf. Einer durchläuft den Strahlteiler in Richtung des Spiegels M2, der andere wird zum Spiegel M1 reflektiert. An M1 und M2 finden je vollständige Reflexionen statt. Beide Strahlen kehren je auf ihrem Einfallsweg zurück. In der Abbildung sind diese nur zur Verdeutlichung getrennt dargestellt. Am Strahlteiler werden sie wiederum teilweise reflektiert, teilweise durchgelassen, so dass zwei interferierende Strahlen in das Fernrohr eintreten. Der Beobachter sieht ein Muster aus Interferenzringen bzw. Streifen.

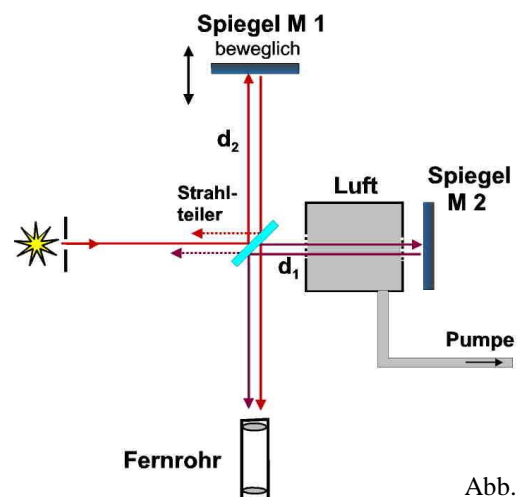


Abb. 1

Wenn sich beide Strahlen im Fernrohr treffen, beträgt ihre Weglängendifferenz $\Delta = 2(d_2 - d_1)$. Dieser Gangunterschied entscheidet über das Interferenzmuster. Beträgt er ein ganzzahliges Vielfache der Wellenlänge, so erhalten wir konstruktive Interferenz und beobachten im Fernrohr einen hellen Lichtstreifen. Beträgt er ein ungerades Vielfaches der halben Wellenlänge, so sehen wir einen dunklen Streifen:

$$(1) \quad \Delta = m\lambda = 2(d_2 - d_1) \quad \text{hell:} \quad \text{Interferenz konstruktiv}$$

$$\Delta = \frac{1}{2}(2m + 1)\lambda = 2(d_2 - d_1) \quad \text{dunkel:} \quad \text{Interferenz destruktiv}$$

Jede Änderung, der Weglängendifferenz $2(d_2 - d_1)$ ändert gleichzeitig das Interferenzmuster. Beachte: wir können also nur Änderungen der Weglängen d_1, d_2 messen, nicht die Absolutwerte. In diesem Praktikum ändern wir die Weglängendifferenz auf 2 Arten:

A) Bewegt man den Spiegel M1 um die Strecke $\frac{1}{4} \lambda$, so ändert sich der Weglängenunterschied um $\frac{1}{2} \lambda$. Als Folge verschiebt sich das Interferenzmuster um einen Streifen, d.h. ein heller Streifen wandert bis zum nächsten benachbarten dunklen Streifen (Abb. 2). Aus konstruktiver Interferenz wird destruktive Interferenz. Verschieben wir Spiegel M1 um $\frac{1}{2} \lambda$, so ändert sich der Weglängenunterschied um λ und aus konstruktiver wird wieder konstruktive Interferenz. Als Folge verschiebt sich das Muster um zwei Streifen, z.B. schiebt der helle Streifen auf den nächsten benachbarten hellen Streifen. Zählt man nun ab, wie weit die Streifen gewandert sind, kann man mit Gl. 1 die eingestellte Weglängendifferenz direkt berechnen.

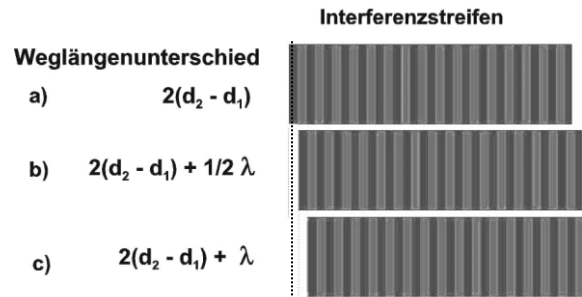


Abb. 2

B) Das Streifenmuster verschiebt sich auch, wenn die Spiegel fest bleiben, aber ein dünnes, transparentes Material der Dicke L in *einen* der

Lichtwege gebracht wird, beispielsweise vor Spiegel M2. Die geometrische Weglänge bleibt zwar konstant, aber die optische Weglänge vergrößert sich aufgrund des Brechungsindex n des Materials.

(2) nL optische Weglänge im Material der Dicke L

Diesen Sachverhalt kann man ausnutzen um den Brechungsindex von schwach brechenden Substanzen wie z.B. Gasen zu ermitteln. Im Praktikum untersuchen wir den Brechungsindex von Luft wie folgt:

Das Interferometer wird einjustiert, wobei vor dem Spiegel M2 eine transparente, mit Luft gefüllte Box steht. Das Interferenzmuster wird beobachtet und die Luft abgepumpt. Dabei wandern die Streifen des Interferenzmusters, woraus sich direkt der Brechungsindex von Luft bestimmen lässt. Die optische Weglänge in der mit Luft gefüllten Box der geometrischen Länge L ist durch nL gegeben. Ist die Box evakuiert, so läuft das Licht durch Vakuum mit dem Brechungsindex $n = 1$. Der Brechungsindex $n(p)$ hängt linear von der Teilchendichte und damit vom Luftdruck p in der Box ab. Wir ändern die optische Weglänge also durch Variation des Brechungsindex $n(p)$. Zur Messung notieren wir während des Evakuierens der Box die Zahl N der wandernden Interferenzstreifen als Funktion des Drucks und erhalten folgende Funktion

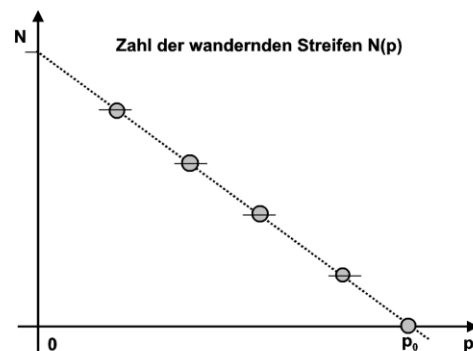
$$(3) \quad N\lambda = 2L(n(p_0) - n(p))$$

mit p_0 Normaldruck. Durch Extrapolation auf

$n(p = 0) = 1$ für Vakuum erhalten wir

$$(4) \quad N\lambda = 2L(n(p_0) - 1)$$

$$n(p_0) = 1 + \frac{N\lambda}{2L}$$



Gleichung 4 zeigt, dass die Kenntnis der absoluten Weglängen d für die Messung unwichtig ist, denn wir führen eine Relativmessung durch und beobachten nur die *Änderung* des Interferenzmusters.

Mit der Entwicklung des Interferometers ist es Michelson also damals gelungen, Strecken in Einheiten der Lichtwellenlänge zu messen, also extrem genau. Der zweite Vorteil war, dass dies überall auf der Welt möglich war, und man an das Urmeter in Paris als Vergleichsnormale nicht mehr angewiesen war. Ein Meter war nun das 1 553 163,5fache der Wellenlänge einer bestimmten Spektrallinie von Cd. Dafür erhielt er 1907 den Nobelpreis.

2.2 Kohärenz

Interferenzen lassen sich nur dann beobachten, wenn die überlagernden Wellenzüge kohärent sind. Dies bedeutet sie müssen gleiche Frequenz und eine zeitlich konstante Phasenbeziehung besitzen. Dies ist in unserem Experiment mit einer monochromatischen Lichtquelle der Fall. Kohärenz ist z.B. nicht gegeben wenn in einem Doppelspaltexperiment beide Spalte durch je eine kleine Glühlampe realisiert sind. Die Lampen emittieren statistisch Wellenzüge einer bestimmten, aber zufälligen Länge und Phase. Treffen z.B. zwei Wellenzüge mit dem Weglängenunterschied von $\lambda/2$ am selben Ort des Beobachtungsschirmes ein, so überlagern sie sich zu destruktive Interferenz. Diese Phasenbeziehung muß aber nicht mehr für das darauf folgende Paar von Wellenzügen gelten. Da die Wellenzüge statistisch emittiert werden, kann sich die Phase der Wellenzüge geändert haben und es tritt z.B. konstruktive Interferenz ein. Im zeitlichen Mittel beobachtet man also gleichermaßen konstruktive und destruktive Interferenz und damit keine Interferenzfigur. Entstammen aber, wie in unserem Experiment, die beiden sich später überlagernden Wellenzüge ein und der selben Ursprungswelle, so ist immer die selbe Phasendifferenz gegeben. Damit beobachten wir immer den gleichen Typ von Interferenz, konstruktiv oder destruktiv.

Während Laser in der Regel kohärentes Licht emittieren, gilt das für die meisten anderen Lichtquellen nicht, außer es handelt sich um exakt punktförmige Lichtquellen. Wie „exakt“ der Punkt sein muss, wird durch die Kohärenzbedingung angegeben. Hat die punktförmige Lichtquelle einen Durchmesser d und strahlt unter dem Winkel θ ab, so beobachten wir Interferenz für Licht der Wellenlänge λ wenn gilt

$$(5) \quad d \frac{\theta}{2} \ll \frac{\lambda}{2}.$$

Fragen Zulassung

- Wie ist ein Michelson-Interferometer aufgebaut?
- Wie entstehen Interferenzfiguren im Michelson-Interferometer?
- Was ist die optische Weglänge von Licht?
- Was kann mit dem Michelson-Interferometer gemessen werden?

3. Durchführung

- 3.0 Notieren Sie die Wellenlänge der Lichtquelle.
- 3.1 Justieren Sie das Michelson-Interferometer. Beobachten Sie die Bilder der beiden Spiegel M1 und M2 auf dem Strahlteiler, bzw. auf dem Schirm. Durch Nachjustierung der beiden Stellschrauben an den Spiegeln versuchen Sie zunächst, die Bilder der Spiegel auf dem Strahlteiler zur Deckung zu bringen. Beobachten Sie dabei auch die Bilder am Schirm. Versuchen Sie durch Feinjustage möglichst kreisförmige, kontrastreiche Interferenzringe zu erzeugen. Vor Justage Betreuer fragen! Skizzieren Sie qualitativ die Interferenzfigur.
- 3.2 Bestimmen Sie das Übersetzungsverhältnis des Systems Mikrometerschraube-Hebel-Spiegel. Verfahren Sie dazu den einen Spiegel in durch Drehung an der Mikrometerschraube und zählen Sie die wandernden Interferenzstreifen.
- 3.3 Die Vakuumzelle wird evakuiert bis der minimal erreichbare Druck konstant ist. Dann wird die Pumpe abgesperrt und ausgeschaltet. Mit dem Dosierventil wird so langsam Luft eingelassen, dass die wandernden Streifen (Ringe) gezählt werden können. Nachdem 5 Ringe während des Druckanstiegs gezählt wurden wird das Ventil geschlossen und der Druck notiert. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis sich der Normaldruck $p_0 = 1,013$ bar in der Vakuumzelle eingestellt hat. Notieren Sie die Messgenauigkeiten. Notieren (erfragen) Sie die Länge der Vakuumzelle.

4. Auswertung

- 4.1 Skizzieren Sie die Interferenzfigur. Beschreiben Sie, was bei der Justage der Spiegel bzgl. der Interferenz der beiden Bilder genau passiert.
- 4.2 Ermitteln Sie aus 3.2 die Skalierungsvorschrift der Spiegelverschiebung, d.h. geben Sie das Übersetzungsverhältnis der Verschiebung von Mikrometerschraube zur Verschiebung des Spiegels an.
- 4.3 Tragen Sie N über p auf, incl. Fehlerbalken. Bestimmen Sie $n(p_0)$ incl. Fehlerrechnung. Vergleichen Sie mit dem Literaturwert.