

Versuch 402

Das Michelson-Interferometer

Jonah Nitschke
lejonah@web.de

Sebastian Pape
sepa@gmx.de

Durchführung: 02.05.2017

Abgabe: 09.05.2017

1 Zielsetzung

Der Versuch V401 setzt sich in erster Linie mit dem Michelson–Interferometer auseinander. Die Wellenlänge der verwendeten Lichtquelle, wowie der Brechungsindex verschiedener Gase sollen im Laufe des Versuches bestimmt werden.

2 Theorie

Das Michelson-Interferometer ist ein Messgerät, welches auf dem Interferenzprinzip beruht. Das Ausbreitungsverhalten von Licht kann sehr gut durch das Verhalten von elektromagnetischen Wellen beschrieben werden. Da die Maxwell'schen-Gleichungen durch lineare Differentialgleichungen gegeben sind, können ihre Lösungen, welche auch elektromagnetische Wellen sind, superponiert werden. Der \vec{E} -Feld Vektor kann jedoch nicht direkt bestimmt werden, sondern lediglich seine Intensität, die gegeben ist durch

$$I = |\vec{E}|^2. \quad (1)$$

Aus der Superposition zweier Wellen mit verschiedenen Phasen (δ_1, δ_2) entsteht neben der Summe der Einzelintensitäten noch ein Interferenzterm, der das Verhalten der Überlagerung der beiden Wellen beschreibt. Dieser Term weist die folgende Gestalt auf.

$$2k\vec{E}_0^2 \cos(\delta_2 - \delta_1), \quad k \in \mathbb{R} \quad (2)$$

Da der Kosinus beschränkt ist, ist auch der Interferenzterm beschränkt durch $\pm 2k\vec{E}_0$. Wenn das Argument ein Vielfaches von $\frac{n\pi}{2} + \pi$ mit $n \in \mathbb{N}$ ist verschwindet der Interferenzterm.

Bei den alltäglichen Lichtquellen treten keine Interferenzeffekte auf, da die Phasenbeziehungen δ_i normalerweise Funktionen der Zeit sind. Dies ist auf den statistischen Prozess der Lichterzeugung zurückzuführen. Licht, dessen Phasenbeziehung nicht konstant ist wird als inkohärent bezeichnet.

Damit Interferenzeffekte auftreten muss die Phasenbeziehung unabhängig von der Zeit t sein. Solch ein Licht wird als kohärent bezeichnet.

Nur Licht aus der selben Quelle weist die gleiche Phasenbeziehung auf. Damit dies möglich ist, wird ein Strahlteiler verwendet. Die geteilten Strahlen legen im Allgemeinen unterschiedliche Strecken zurück, weshalb sie eine Phasenverschiebung zueinander aufweisen. Der Emissionsakt aus der Lichtquelle ist ein endlicher Prozess, dessen Zeitdauer als Kohärenzzeit τ bezeichnet wird. Ist die Kohärenzzeit kleiner klein gegenüber $\propto \lambda$ verschwinden die Interferenzeffekte, da aufgrund der endlichen Lichtgeschwindigkeit Licht aus

verschiedenen Quellen an dem Detektor registriert wird. Daraus folgt, dass eine notwendige Bedingung für das Erscheinen von Interferenzeffekten, ein geringer Wegunterschied zwischen den geteilten Strahlen ist. Der Wegunterschied, bei dem die Interferenzeffekte verschwinden wird als Kohärenzlänge ℓ bezeichnet. Diese wird charakterisiert über

$$\ell = N\lambda, \text{ (N: Anzahl der am Detektor beobachteten Intensitätsmaxima).} \quad (3)$$

Die Kohärenzzeit hängt mit der Kohärenzlänge eng zusammen. Die beiden Größen sind über den folgenden Zusammenhang (4) erklärt.

$$\tau = \frac{\ell}{c} \quad (4)$$

Die verwendete Lichtquelle sollte möglichst als punktförmig approximiert werden können, da ansonsten der Kontrast des Interferenzmusters verschlechtert wird. Als angemessene Forderung die Ungleichung (5).

$$a \sin(\zeta) << \frac{\lambda}{2} \quad (5)$$

In (5) ist a die räumliche Ausdehnung der Lichtquelle und ζ der Richtungsunterschied. Die Größen sind in Abb. 1 abgebildet.

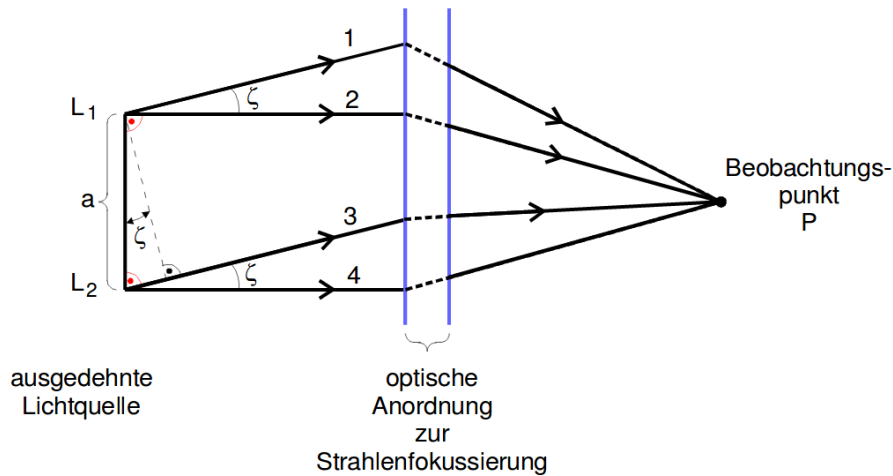


Abbildung 1: Darstellung der Winkelbeziehungen einer ausgedehnten Lichtquelle[Dor17]

Die Bedingung (5) lässt sich aus der Forderung folgern, dass das ausgesendete Licht in dem Punkt P interferenzfähig ist.

3 Durchführung

Der Versuch ist mit der in Abb.2 durchzuführen. Die Lichtquelle ist ein Laser, der kohärentes Licht gewährleistet. Eine konstante Phasenbeziehung zwischen den interferierenden Lichtstrahlen ist durch den Strahlteiler gegeben. Die geteilten Strahlen entstammen der selben Quelle und haben somit eine zueinander konstante Phasenbeziehung. Die Messzelle kann mit Gasen befüllt werden und dient zur Bestimmung des Brechungsindex des Füllgases. Die Messzelle ist mit einer Vakuumpumpe und einer Gasflasche über Schlauchsysteme verbunden. Der justierbare Spiegel ist notwendig für die Kalibrierung der Apparatur. Der Synchromotor verstellt den verschiebbaren Spiegel, sodass die Weglänge und somit die Phasenverschiebung zwischen den geteilten Strahlen präzise und kontinuierlich verändert werden kann. Als Detektor fungiert ein Photoelement, dass die veränderlichen Intensitätsmaxima registriert und über eine Zählwerk abzählbar darstellt.

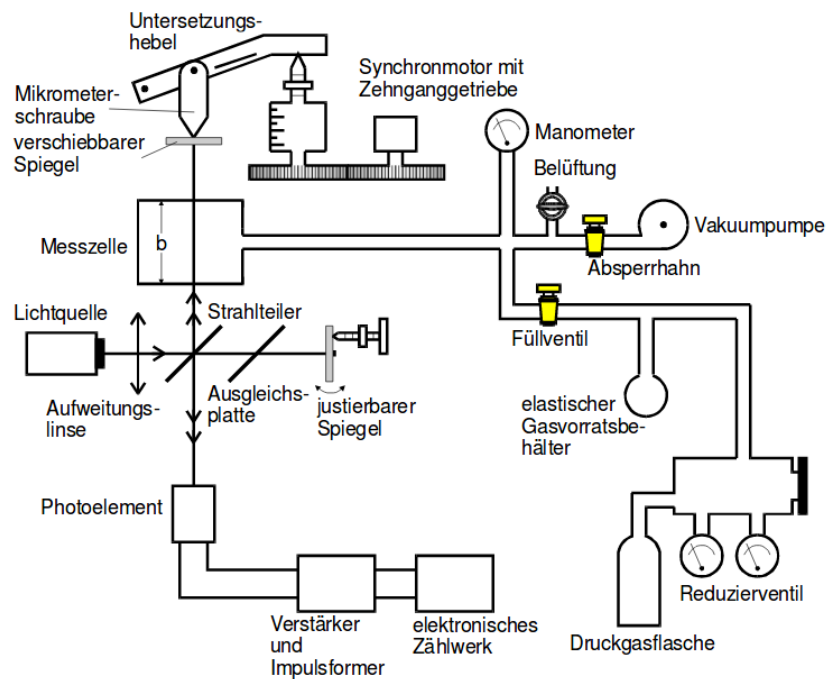


Abbildung 2: Schematische Darstellung der verwendeten Apparatur[Dor17]

Zu Beginn des Versuches ist die Apparatur zu kalibrieren. Dabei kann eine Mattscheibe, oder ein Blattpapier verwendet werden, um die Interferenzmaxima sichtbar zu machen. Über eine Schraube an dem justierbaren Spiegel wird die Apparatur kalibriert. Die Kalibrierung ist abgeschlossen, wenn die beiden geteilten Strahlen auf dem Detektor zusammengeführt sind und ein Interferenzmuster ausbilden. Je größer das Interferenzmuster ist, desto besser, weil das Zählwerk die auftretende Maximafluktuation zuverlässiger zählen kann.

Für die erste Messung wird zuerst die Startposition des Motors notiert. Dieser wird danach angeschaltet und während dieser läuft zählt das Zählwerk die auftretenden Intensitätsmaxima. Die Messung ist abgeschlossen, wenn ≈ 1000 Werte genommen sind. Abschließend ist die Endposition des Motors an der Millimeterschraube abzulesen. Der Messvorgang wird zehn mal wiederholt. Durch die erste Messung ist die Wellenlänge der verwendeten Lichtquelle zu bestimmen.

Die zweite Messung zielt darauf ab, die Brechungsindizes verschiedener Gase zu ermitteln. Als erstes wird der Brechungsindex von Luft ermittelt. Dafür wird die Messzelle, die in Abb. 2 dargestellt ist evakuiert. Bei ausreichender Evakuierung wird eine Stellschraube an der Vakuumpumpe gelockert, sodass Luft in die Messzelle eindringen kann. Die Druckdifferenz, sowie die abgezählten Intensitätsmaxima sind zu notieren. Die Messung wird zehn mal wiederholt und daraufhin mit CO_2 wiederholt. Dafür ist eine CO_2 -Flasche an die Messzelle angeschlossen. Nach Evakuierung der Zelle kann so das Gas in diese eingefüllt werden. Auch hier sind zehn Messungen durchzuführen.

Literatur

[Dor17] TU Dortmund. *V401 Das Michelson-Interferometer*. 2017.