

V401

Das Michelson Interferometer

Amelie Hater
amelie.hater@tu-dortmund.de

Ngoc Le
ngoc.le@tu-dortmund.de

Durchführung: 28.05.2024

Abgabe: 04.06.2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Michelson Interferometer	3
2.2 Vorbereitungsaufgaben	4
3 Durchführung	4
3.1 Versuchaufbau	4
3.2 Versuchsdurchführung	5
4 Auswertung	5
4.1 Berechnung der Wellenlänge	5
4.2 Berechnung des Brechungsindex von Luft	6
5 Diskussion	7
Literatur	7
Anhang	7
Originaldaten	7

1 Zielsetzung

Ziel des Versuchs ist die Bestimmung der Wellenlänge eines Lasers und des Brechungsindex von Luft mithilfe eines Michelson-Interferometers.

2 Theorie

Das Michelson Interferometer nutzt die Eigenschaft von kohärenten Licht, dass es interferieren kann. Kohärentes Licht ist Licht, welches monochromatisch und in Phase ist. Für die Intensität I zweier überlagernder Wellen gilt

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \cos(\phi_{12}) \quad (1)$$

mit I_1 als Intensität der 1. Welle, I_2 als Intensität der 2. Welle und ϕ_{12} als Phasenunterschied. Für die Intensität einer Welle gilt

$$I \propto |E(x, t)|^2. \quad (2)$$

Für Licht gilt die Beziehung $\Delta\nu \cdot \Delta l = c$ mit Δl als Länge des Wellenzuges, $\Delta\nu$ als spektrale Bandbreite und c als Lichtgeschwindigkeit. Daraus lässt sich schließen, dass nur eine unendlich ausgedehnte Welle monochromatisch sein kann. Allerdings lassen sich realistisch auch Kohärenzlängen von 1000 km mithilfe eines HeNe - Lasers erzeugen.

2.1 Michelson Interferometer

Das Michelson Interferometer nutzt die Interferenzerscheinungen, um bei bekannter Wellenlänge des Lasers eine Längenänderung oder Brechungsindex genau zu bestimmen. Der schematische Aufbau ist in Abbildung (1) zu sehen.

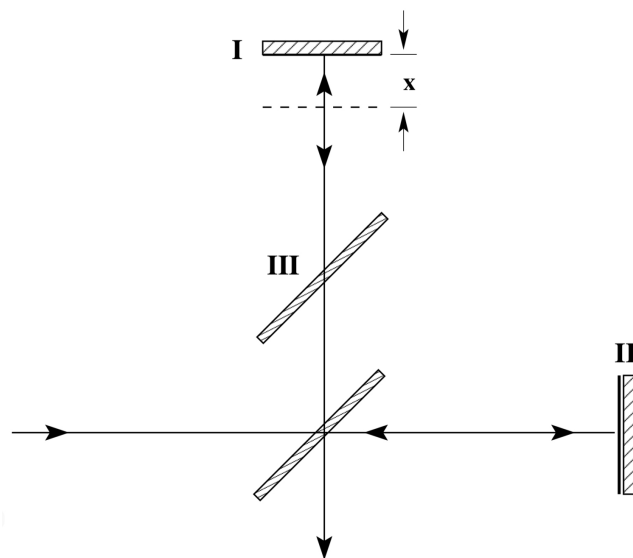


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Michelson Interferometer [4].

Das Michelson Interferometer funktioniert dadurch, dass der eingehende Laserstrahl mithilfe einer Teilerplatte in zwei Strahlen aufgeteilt wird, die sich senkrecht zueinander ausbreiten. Der eine Strahl, der am Spiegel reflektiert wird, wird durch eine Glasplatte (III) geleitet, um auszugleichen, dass der andere Teil des Strahls die Teilerplatte durchdringen musste auf seinem Weg. Dann werden beide Strahlen an einem Spiegel reflektiert. Durch die Teilerplatte werden beide Strahlen wieder zusammengeführt, können interferieren und fallen auf einen Schirm. Der Spiegel (I) kann verschoben werden, wodurch sich die Länge, die der Lichtstrahl zurücklegen muss verändert. Durch eine Verschiebung um eine halbe Wellenlänge wird ein Interferenzmaximum zu einem Interferenzminimum und umgekehrt. Dadurch kann der Abstand x zu

$$x = \frac{2}{\lambda \cdot z} \quad (3)$$

mit z als Häufigkeit der Wechsels zwischen Minimum und Maximum bestimmt werden. Zur Bestimmung des Brechungsindices von Luft wird die Formel

$$D \cdot \Delta n = \frac{z \cdot \lambda}{2} \quad (4)$$

verwendet. D ist dabei die Länge der Gaszelle (in diesem Experiment 50 mm). Mithilfe des idealen Gasgesetzes

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (5)$$

kann die Druckdifferenz Δp bestimmt werden. Der Brechungsindex n wird daher durch

$$n = 1 + \Delta n \cdot \frac{T}{T_0} \cdot \frac{p_0}{\Delta p} \quad (6)$$

berechnet. T_0 und p_0 sind dabei die Temperatur und der Druck bei Normalbedingung.

2.2 Vorbereitungsaufgaben

Zur Vorbereitung sollten die Brechungsindices von Luft, CO und CO₂ recherchiert werden. Der Brechungsindex von Luft ist 1,000292 [1], der von CO ist 1,0003 [2] und der von CO₂ ist 1,0004 [3].

3 Durchführung

3.1 Versuchaufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung (2) zu sehen. Dieser besteht aus einem Michelson Interferometer in welches eine Gaszelle eingebaut ist, sodass der Lichtstrahl durch die Gaszelle fällt, der vom verschiebbaren Spiegel reflektiert wird. Außerdem fällt das Interferenzmuster auf eine Photodiode, die die Minima und Maxima Wechsel misst. Die Messung aus der Photodiode wird mithilfe eines Schmitt-Triggers in einen Puls umgewandelt. Die Anzahl der Pulse werden auf einem Bildschirm angezeigt.

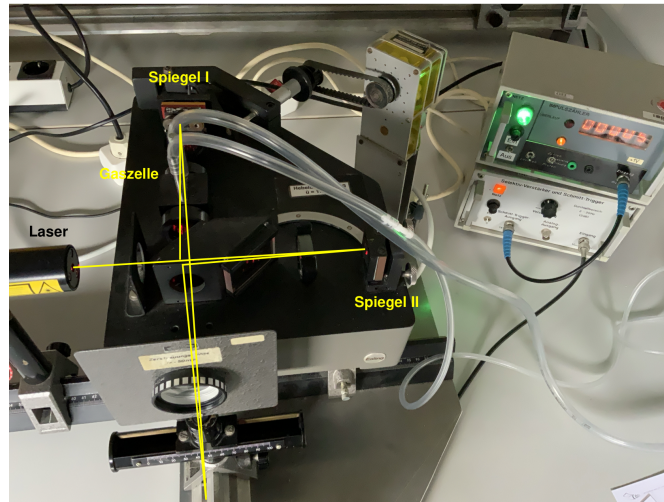


Abbildung 2: Foto des Versuchsaufbau mit Strahlengang [4].

3.2 Versuchsdurchführung

Zu Beginn des Versuchs wird der Spiegel, dessen Abstand sich im Verlauf des Versuchs nicht ändert, justiert, sodass ein Interferenzmuster auf der Photodiode entsteht. Im Anschluss wird der bewegbare Spiegel mithilfe einer motorisierten Mikrometerschraube im Bereich von 6 bis 11 cm kontinuierlich verschoben. Währenddessen werden von der Photodiode die Minimums und Maximumswechsel gemessen und die Gesamtanzahl dargestellt. Diese Messung wird insgesamt 10 Mal gemacht.

Danach wird die Gaszelle evakuiert und die Pulszahl während der Evakuierung und beim Lufthereinlassen notiert. Beide Anzahlen werden jeweils 5 Mal gemessen.

4 Auswertung

4.1 Berechnung der Wellenlänge

Die Messung wird von $x_1 = (6 \pm 0,01) \text{ mm}$ bis $x_2 = (11 \pm 0,01) \text{ mm}$ durchgeführt. Außerdem besitzt die Mikrometerschraube ein Hebeluntersetzungsverhältnis von 1 : 5,046. Demnach ergibt sich für die gemessene Distanz $x = (0,09909 \pm 0,0020) \text{ mm}$. Die gemessenen Impulszählraten über diese Distanz sowie die daraus gemittelte Impulszählrate sind in der Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Gemessene Impulszählraten über eine Distanz von $x = (0,09909 \pm 0,0020)$ mm zur Bestimmung der Wellenlänge des Diodenlasers.

z
3000
3004
3001
2986
2997
2854
3006
3008
3070
3057
$\bar{z} = 3000 \pm 50$

Anhand von \bar{z} , der Distanz x und der Gleichung (3) wird die Wellenlänge des Diodenlasers bestimmt. Daraus folgt

$$\lambda_{\text{exp}} = (661 \pm 12) \text{ nm}.$$

Die Wellenlänge des Diodenlasers laut Herstellerangabe lautet

$$\lambda = 645 \text{ nm}.$$

4.2 Berechnung des Brechungsindex von Luft

Die Messwerte zur Bestimmung der Brechungsindices und die gemittelten Werte sind in der Tabelle 2 aufgeführt. Bei dieser Messung wird eine Gaszelle mit einer Länge von $D = 50$ mm verwendet.

Tabelle 2: Gemessene Impulszählraten bei der Evakuierung von der Gaszelle zur Bestimmung der Brechungsindices.

$z_{\text{Evak.}}$	$z_{\text{Belüft.}}$
10	22
13	29
9	29
8	29
9	26
$\bar{z}_{\text{Evak.}} = 9,8 \pm 1,7$	$\bar{z}_{\text{Belüft.}} = 27,0 \pm 2,8$

Die Brechungsindices werden mithilfe der Gleichung (6) berechnet. Hierbei ist $T_0 = 0\text{ °C} = 273,15\text{ K}$ die Temperatur bei Normalbedingung und $\rho_0 = 1019,2\text{ hPa}$ der Umgebungsdruck. Außerdem ist die Umgebungstemperatur $T = 21,6\text{ °C} = 294,75\text{ K}$ und der Druck durch die Pumpe lautet $\Delta\rho = 500\text{ mmHg} = 666,50\text{ hPa}$. Das benötigte Δn wird durch die Gleichung (4) und der theoretischen Wellenlänge bestimmt. Demnach ergeben sich

$$\begin{aligned}\Delta n_{\text{Evak.}} &= (6,3 \pm 1,1) \cdot 10^{-5} \\ \Delta n_{\text{Belüft.}} &= (17,4 \pm 1,8) \cdot 10^{-5} .\end{aligned}$$

Somit folgt für die Brechungsindices

$$\begin{aligned}n_{\text{Evak.}} &= (1,000104 \pm 0,000018) \\ n_{\text{Belüft.}} &= (1,000287 \pm 0,000029) .\end{aligned}$$

5 Diskussion

Die relative Abweichung der Wellenlänge beträgt 2,5 %. Die relative Abweichung des 1. Brechungsindex $n_{\text{Evak.}}$ ist 0,0188 %, die für den 2. Brechungsindex $n_{\text{Belüft.}}$ ist 0,0005 %. Dies sind überraschend geringe Abweichungen, vor allem da während der Durchführung mehrfach Probleme aufgetreten sind. So musste die Sensitivität des Schmitt-Triggers maximal gestellt werden. Trotzdem konnten manche Interferenzmusterwechsel nicht erkannt werden und die Pulsanzahl blieb konstant. Diese Messreihen wurden abgebrochen. Aufgrund der anfänglichen Probleme wurde allerdings genau auf die Entwicklung der Messergebnisse geachtet, weshalb alle nicht funktionierenden Messreihen aussortiert wurden. Als Reaktion auf diese nicht funktionierenden Messreihen wurde das Interferenzmuster neu justiert. Dadurch lässt sich eine hohe Präzision erklären. Beim 2. Teil des Versuchs bestand kein ähnliches Problem. Die geringen Fehler dieses Teils lassen sich durch den Versuchsaufbau erklären, der nicht stark modifiziert werden musste.

Literatur

- [1] Chemie.de. *Harmonische Schwingung*. URL: <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/harmonische-schwingung-1504>.
- [2] chemicalbook. *Harmonische Schwingung*. URL: <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/harmonische-schwingung-1504>.
- [3] chemicalbook. *Harmonische Schwingung*. URL: <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/harmonische-schwingung-1504>.
- [4] Unknown. *Das Michelson Interferometer*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2024.

Anhang

Originaldaten