



Versuchsanleitung

Michelson-Interferometer

Nummer: 19
Kompiliert am: 25. November 2024
Letzte Änderung: 25.11.2024
Beschreibung: Quantitative Erfassung von Interferenzerscheinungen verschieden kohärenter Quellen.
Webseite: <https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-quantenoptik/ag-prof-jelezko/lehre/grundpraktikum-physik-physwiphs-la-phys/>

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	2
2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung	2
2.1 Theorie	2
2.2 Beispiele aus Natur und Alltag	3
3 Versuchsdurchführung	3
3.1 Justage des optischen Aufbaus	3
3.2 Quecksilberdampf Lampe ($\lambda = 546.1 \text{ nm}$)	4
3.3 Natriumdampf Lampe	5
3.4 Wolframhalogenlampe	5
3.5 Häufige Fehler	5
4 Versuchszubehör	5
5 Hinweise zur Ausarbeitung	6
5.1 Versuchsspezifisch	6
5.2 Allgemein	6
Literatur	7

1 Einführung

Der Interferenz kommt insbesondere in der Optik eine entscheidende Bedeutung zu, da sich mit ihrer Hilfe z.B. die Wellennatur des Lichts nachweisen lässt. Unter Interferenz versteht man zunächst einfach die Überlagerung mehrerer Wellen. Da zum Auftreten besonderer Phänomene jedoch gewisse Bedingungen erfüllt werden müssen, spielen diese Phänomene im Alltag eine eher untergeordnete Rolle. Damit Interferenz für uns beobachtbar wird, muss die verwendete Lichtquelle über eine gewisse Länge (*Kohärenzlänge*) und Zeit (*Kohärenzzeit*) *kohärent* sein, das heißt eine räumliche und zeitliche Phasenbedingung erfüllen.

Im Versuch wird mit verschiedenen kohärenten Licht-Quellen gearbeitet, unter anderem um aus den auftretenden Interferenzerscheinungen auf Eigenschaften der Quellen zurückschließen zu können. Abb. 1 zeigt das Schema eines Michelson-Interferometers.

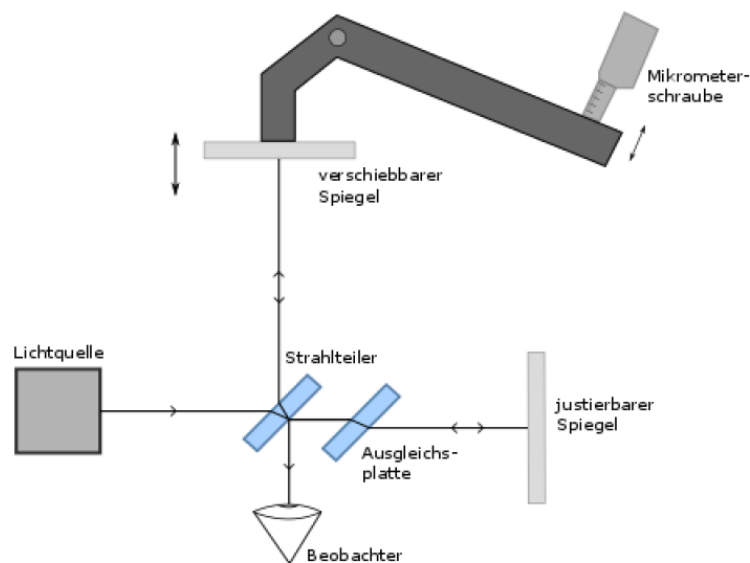


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Michelson-Interferometers. Die Ausgleichsplatte wird in unserem Aufbau nicht benötigt.

2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung

2.1 Theorie

Zur Versuchsdurchführung sollten folgende Punkte vorbereitet werden:

- Maxwell-Gleichungen mit kurzer Erläuterung
- Wellengleichung (Herleitung, reelle und komplexe Lösungen) [BS04, Dem13]
- Superpositionsprinzip (Gültigkeit, Anwendung)
- Intensität elektromagnetischer Wellen (Definition, Zusammenhang mit Poynting-Vektor) [Dem13, ST07]
- Kohärenz und Erzeugung von kohärentem Licht [Dem13, ST07]

- Zeitliche und räumliche Kohärenz (Unterschiede, Anwendungsbeispiele), Kohärenzzeit (Zusammenhang mit spektraler Bandbreite), Kohärenzlänge
- Quantitative Formulierungen des Kohärenzbegriffs (z.B. mittels Phasenbeziehung in [Dem13], oder mittels Korrelationsfunktion in [ST07])
- Interferenz [BS04, Dem13, ST07]
 - Ursache, Beispiel Überlagerung ebener Wellen gleicher Ausbreitungsrichtung
 - Interferenz an planparallelen Platten (Herleitung) mit Skizze, Interferenzordnungen
- Funktionsweise des Michelson-Interferometers sowie zwei weiterer Interferometer mit Skizze [BS04, Dem13]
- Funktionsweise von HeNe-Laser und Dampfampfen [BS04]
- Mögliche Auswertformeln und deren Herleitungen

2.2 Beispiele aus Natur und Alltag

- Spektrometer (Wellenlängenbestimmung)
- Bestimmung des Brechungsindex
- Falsifizierung der Äther-Theorie
- Gravitationswellendetektor

3 Versuchsdurchführung

ACHTUNG: Der verwendete Laser mit $P < 1 \text{ mW}$ ist für das Auge zwar nicht unmittelbar gefährlich (Laserschutzverordnung, Klasse 2). Ein Abschwächer (Graufilter) oder Schutzbrillen sind nicht nötig. Eine unnötige Exposition des Auges sollte man dennoch vermeiden. **Gehen Sie also mit den Augen nie unter die Ebene des Laserstrahls!**

Untenstehende Abbildung 2 zeigt den Versuchsaufbau mit seinen Komponenten.

3.1 Justage des optischen Aufbaus

Verwenden Sie zur Justage des Lasers den Schreiner-Anschlagwinkel (90°-Winkel mit Längenskala) oder das Massband, das Sie ca. 20 cm ausziehen und feststellen. Sie können auch mit einem Stück Papier die Ausrichtung des Strahls überprüfen. Lassen Sie Sorgfalt walten: der Versuch ist mechanisch extrem empfindlich und gelingt nur, wenn die Optik gut justiert ist. **Fassen Sie die optischen Komponenten (Spiegel, Linse, Strahlteiler) nie an den 'aktiven' Flächen an!**

- Richten Sie den Laser LA so aus, dass er möglichst horizontal und parallel zur Kante der Grundplatte nach links gerichtet ist. Positionieren Sie grob alle Füße mit den Halteklammern und den Schrauben. Die Linse L1 darf noch nicht montiert werden. Stecken Sie erst dann das Netzteil des Lasers in die Steckdose und schalten den Laser ein.

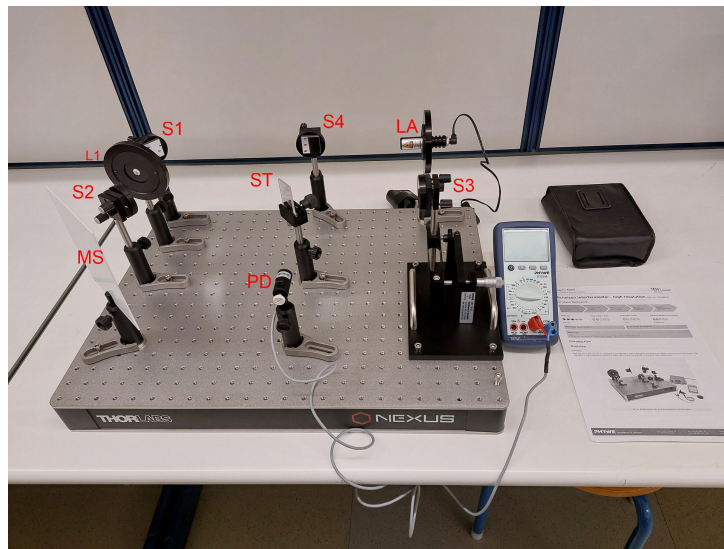


Abbildung 2: Blick auf den Versuchsaufbau: Laser (LA), Spiegel 1-4 (S1...S4), Linse (L1), Strahlteiler (ST), Photodetektor (PD) und Mattscheibe (MS). S3 befindet sich auf einem Feintrieb mit Mikrometerschraube und Hebeluntersetzung.

- Richten Sie den Spiegel S1 so aus, dass der Laserstrahl möglichst horizontal und parallel zur Grundplatte nach vorne gerichtet ist.
- Richten Sie den Spiegel S2 so aus, dass der Laserstrahl möglichst horizontal und parallel zur Grundplatte nach rechts gerichtet ist.
- Richten Sie den Spiegel S3 so aus, dass der von ihm reflektierte Strahl S2 möglichst im selben Punkt trifft.
- Montieren Sie den Strahlteiler ST mit seiner metallisierten Seite zu S2 zeigend und um 45° gegen ihn gedreht, so dass der hintere Teilstrahl senkrecht auf Spiegel S4 fällt. Montieren Sie nun die Mattscheibe MS.
- Richten Sie den Spiegel S4 so aus, dass der Strahl in sich reflektiert wird und MS im selben Punkt trifft wie der von S3 kommende.
- Nehmen Sie die Feinjustage vor. Die Laserpunkte müssen auf MS und auch auf S1/S2 zusammenfallen. Montieren Sie dann die Linse L1. Durch L1 entsteht eine Kugelwelle und im Idealfall auf MS ein konzentrisches Ringmuster. Justieren Sie L1 ohne die Spiegel zu verstellen so, dass die 'Lichtscheiben' S3/S4 abdecken und auf MS eine einzige 'Scheibe' entsteht. Wenn nötig, kann durch vorsichtiges Nachjustieren von S3/S4 ein Wellenmuster und schließlich das Ringmuster erzeugt werden.
Hinweis: Für zunehmenden Weg in ST-M3 laufen die Wellen ins Zentrum, für abnehmenden umgekehrt.

3.2 Quecksilberdampfampe ($\lambda = 546.1 \text{ nm}$)

- Zunächst soll der Spiegel durch einen Schrittmotor mit konstanter Geschwindigkeit bewegt werden und eine feste Anzahl von Interferenzextrema (etwa 200) gezählt werden; die jeweilige Differenz der Positionen der Mikrometerschraube werden notiert.
- Die Messung wird dreimal durchgeführt.

3.3 Natriumdampflampe

- Bei dieser Quelle werden die Messungen zuerst analog zur Hg-Dampflampe durchgeführt. Anschließend sollen „von Hand“ (ohne Schrittmotor) Positionen herausgesucht werden, in denen das Interferenzmuster verschwindet.
- Es sollen je fünf aufeinanderfolgende Positionen, in denen das Interferenzmuster verschwindet, notiert werden.
- Diese Messung wird zweimal durchgeführt.

3.4 Wolframbandlampe

- Durch Nullstellung des verschiebbaren Spiegels und anschließendem Vorschub von Hand mithilfe der Mikrometerschraube soll die Stellung gefunden werden, in der der Gangunterschied in beiden optischen Pfaden des Interferometers verschwindet. Diese Position wird notiert.
- Es wird im Strahlengang mit festem Spiegel ein Objektträger eingebracht und erneut die Stellung gesucht, bei dem der Gangunterschied der optischen Pfade verschwindet. Auch diese Position wird notiert.

3.5 Häufige Fehler

- Die Justage der Optik verlangt viel Fingerspitzengefühl. Haben Sie Geduld! Der Aufbau ist gut justiert so empfindlich, dass jedes Geräusch, Pusten über den Aufbau, Auf-den-Boden-Stampfen im und vor dem Labor zu Störungen des Interferenzmusters führt.

4 Versuchszubehör

- Grundplatte mit
 - 4 Spiegel, justierbar
 - Feintrieb mit Mikrometerschraube $\Delta s < 10 \text{ mm}$ und Untersetzung 20:1
 - Strahlteilerplatte
 - Beobachtungsschirm und Photosensor
- Grüner Laser (Nd:YAG frequenzverdoppelt, 532 nm)
- Lochblende, konvexe Linse ($f = 20 \text{ mm}$)
- Wolfram-Lampe mit Netzteil
- Quecksilber- und Natriumdampflampe mit Netzteil
- Interferenzfilter ('Bandpass') für $\lambda = 546.1 \text{ nm}$, Halbwertsbreite $\Delta\lambda \approx 10 \text{ nm}$
- Schrittmotor mit zwei Schrauben und passendem Inbusschlüssel
- Objektträger

5 Hinweise zur Ausarbeitung

5.1 Versuchsspezifisch

- Herleitung der zur Auswertung benötigten Gleichungen
 - Kalibrierung/ Bestimmung der Wellenlänge der Na-Dampflampe
 - Bestimmung der Wellenlängendifferenz zwischen den Spektrallinien der Na-Lampe
 - Bestimmung des Brechungsindex durch Verlängerung des optischen Weges im Interferometer
- Gemessene Werte in Tabelle darstellen und berechneten Mittelwert mit Fehler angeben
- Fehler mit Gauss-Fehlerfortpflanzung berechnen und die verwendete Formel angeben (Ableitungen sollen ausgeführt werden)
- Bei Wolframbandlampe: Sichtbaren Effekt erläutern und Herkunft erklären
- Sinnvoller Vergleich mit Literaturwerten und Diskussion der Ergebnisse mit Fehlerdiskussion

5.2 Allgemein

- Kopie des Laborbuchs anhängen
- Fehlerbalken in den Schaubildern
- Fehler des Mittelwerts richtig berechnen und Ergebnisse richtig runden (siehe Anleitung Limmer und/oder Folien zu unserem Statistik-Workshop)
- Gute Skizzen und Abbildungen verwendet (z.B. deutsche Beschriftung, Skizzen entsprechen den Erläuterungen, ...); Skizzen dürfen gerne selbst angefertigt werden
- Vergleich mit Literaturwerten
- Diskussion und/oder Wertung der Ergebnisse

Literatur

- [BS04] BERGMANN, Ludwig ; SCHAEFER, Clemens: *Lehrbuch der Experimentalphysik*. Bd. 3: *Optik: Wellen- und Teilchenoptik*. 10. Auflage. Berlin, New York : Walter de Gruyter Verlag, 2004
- [Dem13] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2013
- [ST07] SALEH, Bahaa E. A. ; TEICH, Malvin C.: *Fundamentals of Photonics*. 2nd edition. Weinheim : Wiley-VCH Verlag, 2007