

Versuch FPI-4

Michelson - Interferometrie von Infrarotstrahlung

1 Zielsetzung des Versuchs

Der Versuch mit dem Michelson-Interferometer soll in die Fourier-Spektroskopie einführen und mit grundlegenden Arbeitsweisen und Techniken optischer Experimente im Infrarot(IR)-Bereich vertraut machen. Zu den konkreten Zielsetzungen gehört die Aufnahme und anschließende Auswertung von Interferogrammen unterschiedlicher IR-Strahlungsquellen. Zum einen soll die monochromatische Strahlung eines He-Ne-Lasers, zum anderen die ungefilterte Schwarzkörperstrahlung (polychromatisch) eines Muffelofens, sowie auch die durch einen Schmalbandfilter transmittierte Strahlung des Ofens, mit Hilfe eines Michelson-Interferometers im nahen Infrarot ($\lambda = 0.8-5.0 \mu\text{m}$) untersucht werden. Außerdem soll durch die Superposition frequenzmäßig dicht benachbarter Strahlung zweier IR-Quellen, hier He-Ne-Laser bei $3.39 \mu\text{m}$ und gefilterte Schwarzkörperstrahlung des Muffelofens bei $3.31 \mu\text{m}$, eine Schwebung erzeugt und das Schwebungsinterferogramm aufgezeichnet und analysiert werden. Die Auswertung der Interferogramme und die Gewinnung von spektralen Daten der einzelnen Strahlungsquellen soll mittels Fouriertransformation geschehen.

2 Vorkenntnisse

- Aufbau, Funktionsweise und theoretisches Auflösungsvermögen eines Michelson-Interferometers, Abhängigkeit der Strahlungsintensität am Ort des Detektors vom relativen Gangunterschied der Interferometerspiegel bei mono- und polychromatischer Strahlung (vgl. Abbildung 1)
- Funktionsprinzip eines He-Ne-Infrarotlasers ($\lambda = 3.39 \mu\text{m}$)
- Physikalische Grundlagen der Schwarzkörperstrahlung sowie anderer IR-Strahlungsquellen
- Funktionsweise von Interferenzfiltern, Transmissionseigenschaften von CaF_2 , SiO_2 , Si und ZnSe im sichtbaren und im infraroten Spektralbereich
- Funktionsweise eines pyroelektrischen Detektors, Detektorcharakteristika (“responsivity”, “noise-equivalent power” NEP), Unterschied zwischen thermischen und Quantendetektoren
- Lock-in-Verfahren, Funktionsweise eines Choppers und eines Lock-in-Verstärkers
- Fouriertransformation und ihre Anwendung bei der Analyse von Interferogrammen, Verwendung eines Michelson-Interferometers als Fourier-Spektrometer

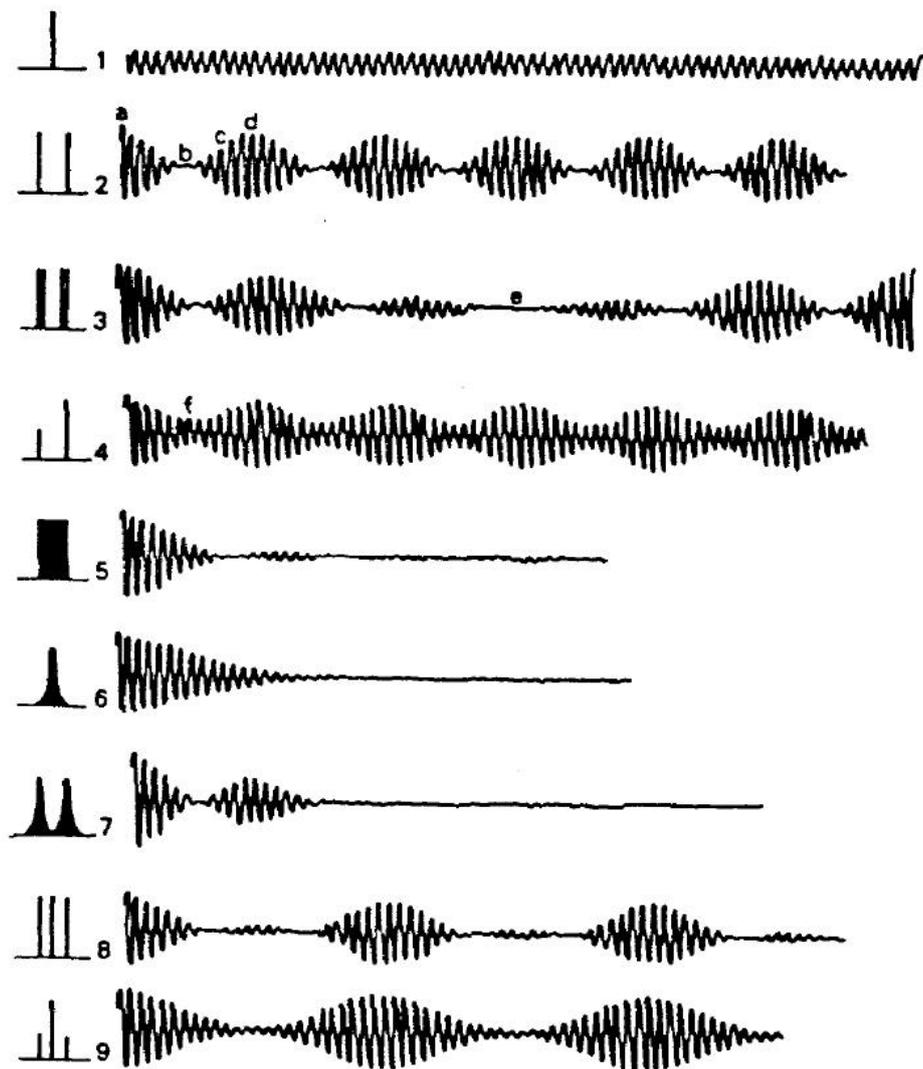


Abbildung 1: Interferogramme einfacher Spektren

3 Literatur

Der Praktikumsversuch wurde im Rahmen der Staatsexamensarbeit "Aufbau eines Michelson-Interferometer-Versuchs im nahen Infrarotbereich für das Physikalische Praktikum für Fortgeschrittene" von U. Grubert ausführlich dokumentiert (das Lesen dieser Arbeit VOR der Versuchsdurchführung ist SEHR zu empfehlen!!!).

Im Folgenden ist eine Auswahl an weiterführender Literatur zu den angegebenen Themenbereichen aufgelistet:

1. P.R Griffiths: "Chemical Infrared Fourier Transform Spectroscopy" (Bib.: UKP 125, UKP 159)

2. O. Svelto, ins Englische übersetzt von D.C. Hanna: "Principles of Lasers" (UGA 136, UGA 151)
3. J.A. Jamieson, R.H. McFee, G.N. Plass, R.H. Grube und R.G. Richards: "Infrared Physics and Engineering" (UKP 147)
4. R.D. Hudson, Jr. und J. Wordsworth Hudson: "Infrared Detectors" (UGL 113)
5. D. Munroe: "The Heterodyning Lock-in Amplifier", Informationsheft der Ithaco Inc., Ithaca, New York, März 1973
6. J.M. Stone: "Radiation and Optics" (UGJ 116) sowie alle Lehrbücher zur Fourieranalyse

4 Messaufbau

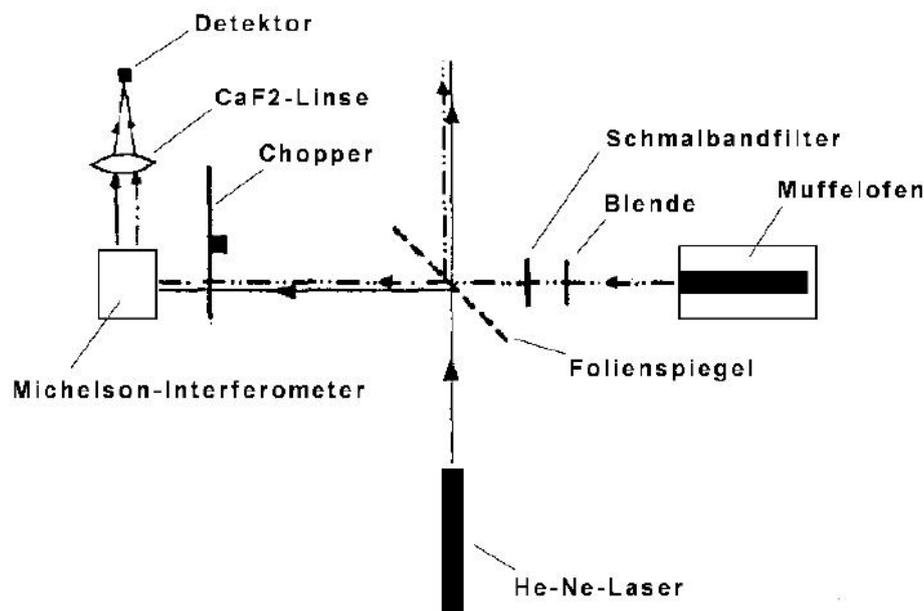


Abbildung 2: Prinzipieller Aufbau des Experimentes

Der prinzipielle Aufbau des Experimentes ist in der Staatsexamensarbeit ausführlich dargestellt (vgl. Abbildung 2). Die optischen Bauelemente sind auf einer T-förmigen optischen Bank angeordnet. Über einen justierbaren Folienspiegel aus Polyethylen wird die IR-Strahlung des He-Ne-Lasers ($3.39 \mu\text{m}$) durch Reflexion (7%) in das Michelson-Interferometer eingespiegelt. Aus dem kontinuierlichen Spektrum des Muffelofens wird mit Hilfe eines Interferenzfilters ein schmalbandiger Spektralbereich bei einer Wellenlänge von $3.31 \mu\text{m}$ herausgefiltert. Diese Strahlung wird durch den Folienspiegel transmittiert und in das Interferometer eingestrahlt. Innerhalb des Interferometers wird die einfallende Strahlung durch einen *ZnSe*-Strahlteiler auf den beweglichen Spiegel reflektiert, der über einen Hebelmechanismus von einem Getriebemotor, der ein Übersetzungsverhältnis von 128000:1 besitzt, angetrieben wird. Der Hebelmechanismus ist mit einer Mikrometerschraube versehen und überträgt den Vorschub des Antriebssystems in einem Verhältnis von ca. 5:1 auf den Spiegel. Mikrometerschraube und

Getriebemotor sind über eine Achse miteinander verbunden, auf der ein Drehgeber befestigt ist, der die Messwertaufnahme des verwendeten LabView-Programms steuert. Die zum festen Interferometerspiegel durch die $ZnSe$ -Strahlteilerplatte und eine $ZnSe$ -Kompensationsplatte transmittierte Strahlung interferiert nach Reflexion am Spiegel an der strahlteilenden Schicht mit dem vom beweglichen Spiegel reflektierten Strahlungsanteil und wird mit einer CaF_2 -Linse auf einen pyroelektrischen Detektor fokussiert. Sowohl die CaF_2 -Linse als auch der mit einem Si -Fenster versehene Detektor sind mit Hilfe einer Justiereinrichtung verschiebbar. Zwischen Folienspiegel und Interferometer befindet sich ein Chopper im Strahlengang, dessen Frequenz mit einem Regeltransformator zwischen 0 und 50 Hz variiert werden kann. In das Choppergehäuse ist eine Elektronikschaltung integriert, mit der das Referenzsignal für einen Lock-in-Verstärker erzeugt wird. Das Detektorsignal wird auf den Lock-in-Verstärker gegeben, nachdem es mit einem separaten Vorverstärker verstärkt worden ist. Die zu messenden Interferogramme werden schließlich mit einem PC und einem entsprechenden LabView-Programm aufgenommen, wobei auf der X-Achse die Nummer des Messwertes und auf der Y-Achse die Ausgangsspannung des Lock-in-Verstärkers aufgetragen wird. Die Digitalisierung der Ausgangsspannung geschieht mit Hilfe einer Analog-Digital(AD)-Wandler-Box, die für jeden Schritt des Drehgebers einen Messwert an den PC übermittelt.

5 Versuchsdurchführung

1. Justierung des Experimentes:

- Spiegeln Sie sichtbare Laserstrahlung (633 nm) über den justierbaren Folienspiegel und den $ZnSe$ -Strahlteiler auf das Zentrum des beweglichen Spiegels und von dort zurück auf die Auskoppelöffnung des Lasers (Autokollimation). Dabei ist es hilfreich, den festen Spiegel des Interferometers abzudecken. Unter KEINEN Umständen sollte die Einstellung des beweglichen Spiegels verändert werden.
 - Überlagern Sie die Teilstrahlen beider Interferometerspiegel mit Hilfe der Justierschrauben des festen Spiegels, bis Interferenzstreifen auf einer Mattscheibe vor dem Muffelofen sichtbar werden. Je größer der Abstand der Maxima bzw. Minima der Interferenzstreifen ist, desto besser ist die Justierung.
 - Justieren Sie die Detektoreinrichtung, die Schwarzkörperstrahlung, die Blende und den Schmalbandfilter mit den entsprechenden Teilstrahlen der Laserstrahlung.
 - Tauschen Sie den Justierlaser gegen den Infrarotlaser aus. Überprüfen Sie die Justierung des Experimentes anhand des Detektorsignals und dessen Variation bei Veränderung des Gangunterschiedes auf der Anzeige des Lock-in-Verstärkers. Überprüfen und optimieren Sie die Phase am Lock-in-Verstärker. Optimieren Sie die Einstellung des festen Spiegels mit Hilfe der Piezo-Antriebe, indem Sie in der Position eines Minimums versuchen, das Signal auf Null zu bekommen.
2. Analysieren Sie die Signalform des Detektorsignals bei kleinen und großen Chopperfrequenzen. Messen Sie die Detektorspannung in Abhängigkeit von der Chopperfrequenz mit dem Lock-in-Verstärker in einem Bereich von 5 bis 50 Hz.
 3. Nehmen Sie ein Interferogramm der monochromatischen Laserstrahlung mit Hilfe des Lock-in-Verstärkers und des LabView-Programms auf. Die Anzahl der aufgezeichneten Minima/Maxima sollte $\gg 100$ sein.

Folgende Anmerkungen beziehen sich auch auf alle anderen Versuchsteile:

Die Chopperfrequenz sollte zwischen 30 und 35 Hz liegen. Achten Sie immer auf den Verstärkungsfaktor des Lock-in-Verstärkers, da die AD-Wandler-Box nur im Bereich zwischen -10 bis 10 V arbeitet. Dieser Bereich entspricht dem skalierten Anzeigebereich des Lock-in-Verstärkers (negativer/positiver Vollausschlag entspricht -10/10 V). Achten Sie also darauf, dass während der Messung der skalierte Bereich der Anzeige nicht verlassen wird. Stellen Sie zudem für die unterschiedlichen Versuchsteile eine passende Zeitkonstante (Integrationskonstante) am Lock-in-Verstärker ein. Notieren Sie sich für genügend Messwerte die zugehörige Spiegelposition, um anschließend eine Umrechnung der X-Koordinaten in eine physikalische Größe vornehmen zu können.

4. Nehmen Sie das Interferogramm eines Weißlichtspektrums auf, indem Sie die ungefilterte Strahlung des Muffelofens in das Interferometer einstrahlen. Die Weißlichtposition, deren Lage aus den Ablesemarken der Mikrometerschraube bestimmt werden soll, befindet sich im Skalenintervall von 5.6 bis 5.8 mm.
5. Nehmen Sie ein Interferogramm der gefilterten Strahlung des Muffelofens auf, nachdem Sie den Verstärkungsfaktor des Lock-in-Verstärkers an die Intensität der Strahlung in der Weißlichtposition angepasst haben. Die Messung sollte beiderseits der Weißlichtposition erfolgen. **Achtung:** Da einer der Endanschlüsse des Motors (ca. 5.3 mm) recht nah an der Weißlichtposition liegt, sollte die Aufnahme des Interferogramms kurz vor dem Endanschlag beginnen und ca. 1 mm lang sein (Anzeige der Mikrometerschraube).
6. Nehmen Sie zwei Schwebungsinterferogramme auf, indem Sie die Laserstrahlung mit der gefilterten Strahlung des Ofen überlagern.
 - Passen Sie zunächst die Amplitude des Laserinterferogramms an die des Schmalbandfilters in der Weißlichtposition an. Die Anpassung erfolgt durch Einbringen von Polyethylenfolien in den Strahlengang des Lasers. Durch Drehung der Folien kann eine Feinabstimmung vorgenommen werden.
 - Passen Sie in einem weiteren Schritt die Amplitude des Laserinterferogramms an die des Schmalbandfilters bei einer mittleren Intensitätsamplitude an (bei zu kleiner Amplitude wird der Rauschanteil am Gesamtsignal zu groß).

Starten Sie Ihre Interferogramme ungefähr an der gleichen Position wie bei der Aufnahme des Interferogramms des gefilterten Spektrums. Die Interferogramme sollten mindestens 2 Schwebungsknoten enthalten.

6 Auswertung

1. Stellen Sie die Signalform des Detektorsignals bei großer und kleiner Chopperfrequenz graphisch dar. Tragen Sie Ihre Messwerte in ein Diagramm zur Darstellung der Abhängigkeit der Detektorspannung von der Chopperfrequenz ein. Geben Sie eine physikalische Deutung der Ergebnisse.
2. Bestimmen Sie die Wellenlänge des Infrarotlasers aus dem aufgezeichneten Interferogramm (mit Fehlerrechnung!) und vergleichen Sie das Ergebnis im Rahmen der Fehler mit der Erwartung (theoretischer Wert). Bestimmen Sie zudem mit Hilfe des theoretischen Wertes der Laserwellenlänge das Übersetzungsverhältnis von Mikrometerschraube

zu wahren Spiegelvorschub, welches unter Abschnitt 4 mit dem Wert ca. 5:1 angegeben ist. Verwenden Sie Ihren ermittelten Wert für eine erneute Auswertung des Interferogramms und vergleichen Sie es mit dem zuvor ermittelten Ergebnis. Verwenden Sie das bestimmte Übersetzungsverhältnis auch für die Auswertungen der anderen Interferogramme.

3. Ermitteln Sie die Ablesemarke (Stand der Mikrometerschraube), bei der sich die Weißlichtposition des Interferometers befindet.
4. Ermitteln Sie aus dem aufgezeichneten Interferogramm des Schmalbandfilters die Wellenlänge für die maximale Transmission und berechnen Sie die $\frac{1}{e}$ -Breite des Filters (inclusive Fehlerrechnung). Stellen Sie den Funktionsverlauf $B(\bar{\nu})$ graphisch dar.
5. Ermitteln Sie aus den aufgezeichneten Schwebungsinterferogrammen die Wellenlängen der beiden überlagerten Strahlungsquellen (inclusive Fehlerrechnung). Stellen Sie den Funktionsverlauf $B(\bar{\nu})$ graphisch dar.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die unterschiedlichen Interferogramme auszuwerten. Zum einen die klassische Variante per Hand und zum anderen die Auswertung mittels eines Computers. Von diesen beiden Möglichkeiten soll mindestens eine angewendet werden. Wünschenswert wäre die Anwendung beider Möglichkeiten und ein Vergleich untereinander.

Bei der Auswertung mit Hand drucken Sie sich die Interferogramme in einer entsprechenden Größe aus (am Besten DIN A3) und werten Sie sie graphisch mit Hilfe eines Lineals aus.

Bei der computergestützten Auswertung bietet sich die Verwendung einer *fast fourier transformation* (FFT) an. Es sind aber auch andere Algorithmen zur Bestimmung der Wellenlänge etc. denkbar. Die Wahl der verwendeten Methode bzw. des Algorithmus ist Ihnen freigestellt. Bei der Abgabe des Protokoll fügen Sie bitte eine Kopie Ihres Quellcodes dem Anhang hinzu.