

Vorbereitung Laser B

Marcel Köpke und Axel Müller

24.05.2012

Inhaltsverzeichnis

1	Bild des Spalts durch Fourier-Transformation	3
2	Michelson-Interferometer	4
2.1	Magnetostriktion	4
2.2	Wellenlänge des Lasers	5
2.3	Dopplereffekt mit Lichtwellen	5
2.4	Akustisches Analogon	6
3	Faraday- und Pockels-Effekt	7
3.1	Intensitätsmodulation durch Faraday-Effekt	7
3.2	Verdetsche Konstante	7
3.3	Intensitätsmodulation durch Pockels-Effekt	7
3.4	Konstante des Pockels-Effekt	8
4	Optische Aktivität (Saccharimetrie)	9
4.1	Drehvermögen von Haushaltszucker	9
4.2	Sorbose	9

1 Bild des Spalts durch Fourier-Transformation

Bei der Fraunhofer-Beugung gilt für die Intensitätsverteilung:

$$\frac{I}{I_0} = \left| \int_{-\infty}^{\infty} T(x) e^{ikx} \right|^2$$

mit der Transmissionsfunktion $T(x)$. Die Berechnung der Intensitätsverteilung entspricht dem Quadrat der Fouriertransponierten. Im Falle eines Einfachspalts ist die Spaltfunktion also eine Rechteckfunktion. Durch eine Fourierrücktransformation kann die Transmissionsfunktion und somit das Spaltbild bestimmt werden. Die Intensitätsverteilung wird durch einen computergesteuerten Phototransistor ermittelt, der das Beugungsbild abfährt. Über einen Analog-Digital-Wandler wird die Spannung am Phototransistor an den PC übermittelt. Dort werden die Daten mittels "Fast Fourier Transformation" zum Spaltbild zurücktransformiert.

2 Michelson-Interferometer

Der Aufbau des Interferometers ist in der Abbildung zu sehen. Kohärentes Licht wird dabei am Strahlteiler in zwei Teilstrahlen zerlegt. Durch die Interferenz der beiden Strahlen kann somit der Wegunterschied berechnet werden.

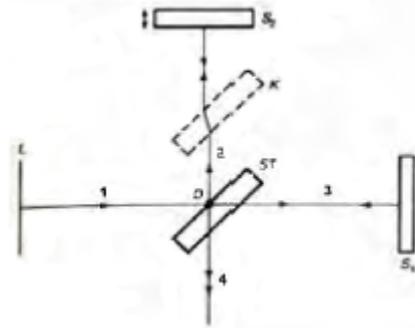


Abbildung 2.1: Michelson-Interferometer

Die Kompensationsplatte K wird benötigt, falls weißes Licht verwendet wird, da der Strahl dreimal durch den Strahlteiler läuft, Strahl 2 aber nur zweimal. Aufgrund der Dispersion entstehen bei weißem Licht auch Wegunterschiede zwischen verschiedenen Frequenzen. Mit der Kompensationsplatte durchläuft auch Strahl 2 dreimal das Medium. Am Detektor ist nun destruktive Interferenz zu beobachten, wenn der Gangunterschied der Teilstrahlen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge beträgt. Eigentlich tritt bei diesem Gangunterschied konstruktive Interferenz auf, aber ein Teilstrahl wird einmal öfters am dichteren Medium reflektiert und erfährt daher eine Phasenverschiebung von $\frac{\lambda}{2}$.

2.1 Magnetostriktion

Ferromagnetische Stoffe verändern unter Einfluss eines äußeren Magnetfelds ihre Länge. Die Größe dieses Effekts wird durch den Magnetostruktionskoeffizienten ξ_{magn} beschrieben:

$$\xi_{magn} = \frac{\Delta l}{l \cdot H}$$

Mit der Längenänderung Δl , der Ausgangslänge l und dem Magnetfeld H . Voraussetzung ist, dass das Magnetfeld durch eine lange Spule erzeugt wird:

$$H = \frac{n \cdot I}{l_{Spule}}$$

Nun wird ein Spiegel des Interferometers mit dem hier zu verwendenden Nickelstab verbunden. Durch die Stromänderung in der Spule ändert sich die Länge des Nickelstabs und somit die Position des Interferometerspiegels. Diese Änderung wird am Interferenzbild sichtbar. Wenn nun ein dunkler Punkt auf dem Schirm zu erkennen ist und den Spulenstrom dann so variiert, bis der nächste dunkle Punkt erkennbar ist, hat der Nickelstab eine Längenänderung von

$$\Delta l = \frac{\lambda}{2}$$

erfahren, da der Lichtstrahl den Wegunterschied zweimal durchläuft.

2.2 Wellenlänge des Lasers

Ein Wechsel im Interferenzbild von einem zum nächsten Maximum/Minimum entspricht wie oben angesprochen einer Veränderung der Spiegelposition um $\frac{\lambda}{2}$. Über diese Beziehung kann durch Ausmessen der Spiegelposition die Wellenlänge des Lasers bestimmt werden.

2.3 Dopplereffekt mit Lichtwellen

Bei diesem Versuch soll ein Spiegel des Interferometers langsam bewegt und seine Geschwindigkeit bestimmt werden. Für die Geschwindigkeit gilt:

$$v = \frac{m \cdot \lambda}{2\Delta t}$$

wobei m die Anzahl der beobachteten Perioden ist.

Eine äquivalente Beschreibung erhält man mit dem Dopplereffekt. Der bewegte Spiegel ist gleichzeitig bewegter Empfänger und Sender. Die Frequenz des einen Teilstrahls wird also durch die Bewegung gegenüber dem anderen verändert. Es entsteht eine Schwebung.

$$\nu = \nu_0 \cdot \frac{1 \pm \frac{v}{c}}{1 \mp \frac{v}{c}}$$

Die verschiedenen Vorzeichen beschreiben die Orientierung der Bewegungsrichtung des Spiegels. Für die Schwebung ergibt sich:

$$E \propto \cos\left(2\pi \frac{\nu_0 - \nu}{2} t\right) \cdot \cos\left(2\pi \frac{\nu_0 + \nu}{2} t\right)$$

Dabei ist nur der erste Term, also die Einhüllende auf dem Schirm sichtbar. Die Differenzfrequenz ist:

$$\Delta\nu = |\nu_0 - \nu| = \left| \nu_0 \frac{\pm 2\frac{v}{c}}{1 \mp \frac{v}{c}} \right| \approx 2\frac{v}{\lambda}$$

Diese Näherung ist möglich, da die Geschwindigkeit des Spiegels im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit sehr klein ist. λ bezieht sich hierbei auf die Frequenz ν_0 . Damit ergibt sich für die Intensität auf der Schirm:

$$I \propto \cos^2(\pi\Delta\nu t) \propto 1 + \cos(2\pi\Delta\nu t)$$

Die auf dem Schirm zu sehenden Perioden m in der Zeitspanne Δt ergeben sich also aus:

$$m = \Delta\nu \cdot \Delta t$$

Damit ergibt sich also wieder die bereits oben erwartete Gleichung:

$$v = \frac{m \cdot \lambda}{2\Delta t}$$

2.4 Akustisches Analogon

Wenn keine reflektierende Wand in der Nähe ist, erkennt man die sich ändernde Frequenz der bewegten Stimmgabel. Wenn jedoch eine reflektierende Wand in der Nähe ist, überlagert sich am Ohr die veränderte Frequenz der Stimmgabel und die reflektierte Frequenz, die durch die Relativbewegung vom Sender zur Wand verändert wurde. Es entsteht dann eine Schwebung.

3 Faraday- und Pockels-Effekt

3.1 Intensitätsmodulation durch Faraday-Effekt

Der Faraday-Effekt beschreibt einen Vorgang, die dem durch Anlegen eines äußeren Magnetfelds die Polarisation des Lichts beeinflusst wird. Der Anteil des Lichts, der sich parallel zur Ausrichtung des Magnetfelds durch das Medium bewegt, erfährt eine Drehung der Polarisationssebene. Die Drehrichtung hängt dabei nicht von der Ausbreitungsrichtung des Lichts ab. Für den Drehwinkel ϕ gilt:

$$\phi = V \cdot B \cdot l$$

mit der Länge l des Mediums, der Verdetischen Konstante V und dem Magnetfeld B . Nun soll der Faraday-Effekt dazu verwendet werden, die Intensität des Laserstrahls zu modulieren. Durch einen sich ändernden Strom wird ein variierendes Magnetfeld erzeugt, wodurch sich auch die Polarisation des Lichts ständig ändert. Wenn es nun einen Polarisationsfilter trifft, entsteht die Intensitätsmodulation in Abhängigkeit vom Strom. Aus dem modulierten Laserlicht kann mit einem Photoelement das Signal wieder aufgenommen werden. Bei hohen Frequenzen ändert sich das Magnetfeld nicht schnell genug aufgrund der Selbstinduktion der Spule, wodurch diese Frequenzen im modulierten Licht nicht auftreten.

3.2 Verdetische Konstante

Zur Bestimmung der Verdetischen Konstante wird ein konstanter Strom an die Spule gelegt. Dadurch erhält man ein Magnetfeld mit der bekannten Flussdichte B . Nun beobachtet man die durch den Faraday-Effekt auftretende Winkeländerung. Die Verdetische Konstante berechnet sich aus:

$$V = \frac{\phi}{B \cdot l}$$

Die Messung der Winkeländerung erfolgt durch einen beweglichen Polarisator. Alternativ dazu kann man einen festen Polarisator verwenden und das Gesetz von Malus ausnutzen:

$$I = I_0 \cos^2(\phi)$$

3.3 Intensitätsmodulation durch Pockels-Effekt

Die optische Achse eines doppelbrechenden Materials wird durch ein elektrisches Feld beeinflusst, wodurch sich das Ausmaß der doppelbrechenden Eigenschaft des Kristalls

verändert. Das bedeutet, dass der Brechzahlunterschied zwischen den beiden Richtungen bezüglich der optischen Achse vom elektrischen Feld abhängig ist, was sich auf den Phasenunterschied auswirkt. Dies führt im Allgemeinen zu einer elliptischen Polarisation. Dieser Effekt kann ebenfalls dazu ausgenutzt werden, um die Intensität des Laserstrahls zu modulieren. Trifft eine elliptisch polarisierte Welle auf einen Polarisationsfilter, variiert die Intensität hinter dem Filter. Auf einem Schirm hinter dem Filter ist eine Hyperbelstruktur zu erkennen. Diese entsteht, da die Strahlen durch die Linsen in verschiedenen Winkeln auf das doppelbrechende Material auftreffen.

3.4 Konstante des Pockels-Effekt

Nun wird die Spannung schrittweise erhöht und dabei die Hell-Dunkel-Wechsel im Zentrum der Hyperbel beobachtet. Dabei notiert man die Extrema. Aus diesem Zusammenhang kann durch lineare Regression die Halbwellenspannung U_{HW} ermittelt werden. Bei der Halbwellenspannung verhält sich die Pockels-Zelle wie ein Halbwellenplättchen. Nach Durchlaufen der Zelle mit Länge s sind die ordinäre und die extraordinäre Polarisation um π phasenverschoben. Es gelten folgende Gleichungen:

$$k = \frac{\Delta n}{E} = \frac{n_{eo} - n_o}{E}$$

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta n \cdot s$$

Mit $E = \frac{U}{d}$ für das Feld im Plattenkondensator und $\varphi(U_{HW}) = \pi$ folgt für die Pockels-Konstante k :

$$k = \frac{\lambda \cdot d}{2 \cdot U_{HW} \cdot s}$$

4 Optische Aktivität (Saccharimetrie)

4.1 Drehvermögen von Haushaltszucker

Trifft Licht auf ein Molekül, so ändert sich die Polarisationssebene. In einer Lösung von achiralen Molekülen gibt es immer zwei Moleküle, welche vom Licht getroffen werden und spiegelbildlich orientiert sind. Somit ist keine Polarisation durch die Lösung zu erkennen. Es gibt jedoch Moleküle, die nicht durch Drehung deckungsgleich gemacht werden können. Diese Moleküle unterscheiden sich durch die geometrische Anordnung ihrer Atome. Somit ergibt sich immer eine konstante Drehung der Polarisationssebene, wenn die beiden Partner nicht in der gleichen Konzentration vorhanden sind. Für den Drehwinkel ergibt sich dann:

$$\alpha = [\alpha] \cdot c \cdot l$$

Mit dem optischen Drehvermögen $[\alpha]$, der Konzentration c und der Weglänge l . Es ist leicht zu erkennen, dass dieser Effekt Ähnlichkeiten zum Faraday-Effekt aufweist. Allerdings wird die Drehung hier durch die Variation der Konzentration beeinflusst und nicht durch ein angelegtes Magnetfeld.

4.2 Sorbose

Im Vergleich zum optischen Drehvermögen von Haushaltszucker soll hier das Drehvermögen einer Sorboselösung betrachtet werden.