

Versuch P2 - 13: Interferenz

Vorbereitung

Von Jan Oertlin und Ingo Medebach

28. April 2010

Inhaltsverzeichnis

1	Newtonsche Ringe	2
1.1	Krümmungsradius R einer symmetrischen sphärischen Bikonvexlinse	2
1.2	Brechungsindex von Wasser	2
1.3	Autokollimation	2
1.4	Bestimmung des Brechungsindex der Linse	3
2	Beugung am Gitter	4
2.1	Justierung des Gitterspektrometers	4
2.2	Bestimmung der Gitterkonstante eines Gitters	4
2.3	Wellenlängenabstand der gelben Na-Linien	5
2.4	Bestimmung der Gitterkonstante eines unbekannten Gitters	6
2.5	Wellenlängenbestimmung der Zn-Spektrallampe	6

1 Newtonsche Ringe

1.1 Krümmungsradius R einer symmetrischen sphärischen Bikonvexlinse

Hier Bestimmen wir den Krümmungsradius R einer symmetrischen sphärischen Bikonvexlinse aus der Beobachtung Newtonscher Ringe. Wir messen viele Messpunkte und berechnen daraus den Krümmungsradius.

An der Linse sowie an der Oberfläche des Objektträgers gibt es Reflexionen. Somit haben wir einen Gangunterschied von $s = 2d$. Da es einmal ein Phasensprung um π gibt, müssen wir ihn beim Gangunterschied berücksichtigen. Es gilt nun $s = 2d + \frac{\lambda}{2}$. Wenn dieser Gangunterschied im Vergleich zu einer an der Innenseite der Linse gebrochenen Strahl $\frac{2k+1}{2}\lambda$ beträgt, erhalten wir destruktive Interferenz. Es gilt:

$$s = 2d + \frac{\lambda}{2} = \frac{2k+1}{2}\lambda$$

Vereinfacht ergibt sich:

$$2d = k\lambda$$

Über den Höhensatz können wir d mit $d = \frac{r^2}{2R}$ ersetzen und erhalten:

$$r_{Luft} = \sqrt{k \cdot R \cdot \lambda}$$

Da sich das Licht nicht in einem Vakuum ausbreitet sondern in einem Medium ist $\lambda = \frac{\lambda_0}{n_l}$

Bei den übrigen Reflexionen ist die Intensität sehr gering und somit vernachlässigbar. Bei einer Durchlichtbeobachtung hätten wir in der Mitte eine sehr starke Intensität des transmittierten Lichtes und würden die Auslöschungen nicht mehr erkennen.

1.2 Brechungsindex von Wasser

Hier befindet sich nun Wasser zwischen der Linse und dem Objektträger. Dadurch ändert sich die Wellenlänge in dem Gangunterschied. Es gilt $\lambda_{wasser} = \frac{\lambda_0}{n_{wasser}}$ und somit $s = 2d \cdot n_{wasser}$. Analog zu **Aufgabe 1.1** folgt nun:

$$r_{wasser}^2 = \frac{\lambda_0}{n_{wasser}} \cdot k \cdot R$$

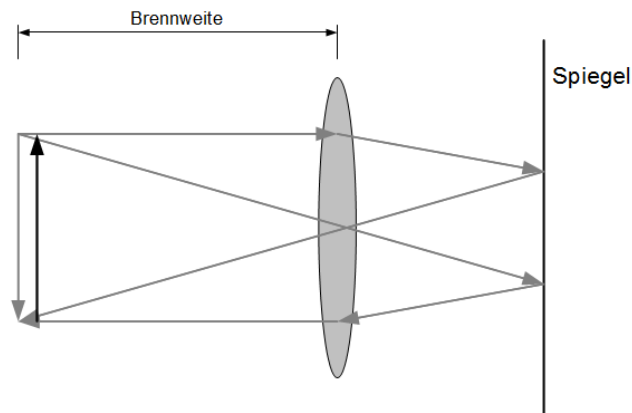
Um die Brechzahl leichter zu bestimmen, ersetzen wir $k \cdot R$ durch $k \cdot R = r_L^2 \frac{n_L}{\lambda}$ und erhalten

$$n_{wasser} = \frac{r_L^2}{r_{wasser}^2} \cdot n_L$$

1.3 Autokollimation

Wir sollen mittels Autokollimation die Brennweite f der Linse bestimmen. Dazu stellen wir hinter die Linse einen Planspiegel auf und stellen vor diese einen selbstleuchtenden Gegenstand. In unserem Falle ist dies ein beleuchteter Schirm mit scharfen Schatten. Nun stellen wir den Abstand Gegenstand - Linse so ein, dass die Schatten auf den Schirm wieder scharf, aber seitenverkehrt, abgebildet werden.

Dann ist dieser Abstand gleich der Brennweite f .



1.4 Bestimmung des Brechungsindex der Linse

Hier sollen wir den Brechungsindex des Linsenmaterials bestimmen aus R und f . Für eine plankonvexe Linse ergibt sich dieser (halb so groß wie der einer bikonvexen) wie folgt:

$$\tan \alpha = \frac{h}{f} \quad \sin \gamma = \frac{h}{R} \quad \beta = \alpha + \gamma$$

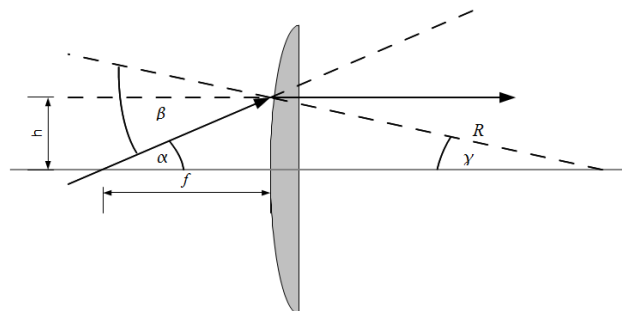
Mit dem Snellius-Brechungsgesetz $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ ergibt sich:

$$\sin(\alpha + \gamma) = n \sin \gamma = n \frac{h}{R}$$

Mit der Näherung für dünne Linsen und Achsennahe Strahlen erhalten wir:

$$\begin{aligned} \sin(\alpha + \gamma) &= n \frac{h}{R} \\ \approx \alpha + \gamma &= n \frac{h}{R} \\ \approx \frac{h}{f} + \frac{h}{R} &= n \frac{h}{R} \\ \Leftrightarrow R &= (n - 1)f \end{aligned}$$

Somit gilt für bikonvexe Linsen: $R = 2(n - 1)f$



2 Beugung am Gitter

2.1 Justierung des Gitterspektrometers

Bei den Versuch benutzen wir ein Gitterspektrometer. Dazu erläutern wir erstmal kurz den Aufbau. Ein Gitterspektrometer besteht aus feststehendem Spaltrohr, einem bewegbarem und versetellbarem Fernrohr und einem drehbaren Teilkreis. Das Fernrohr und der Teilkreis besitzen die gleiche Achse um die wir sie drehen können. Der Teilkreis ist mit einer 1/1 Teilung 0-360° versehen und somit können die Positionen vom Fernrohr genau bestimmt werden. Das Spaltrohr hat am inneren Ende ein Achromat, damit die chromatische Apperation minimiert wird. Am anderen Ende ist ein symmetrisch einstellbarer Spalt. Das Spaltrohr kann in der Länge variiert werden. Auf den Drehtisch kann ein Gitter justiert werden.

1. Hier sollen wir nun die Brennweite des Fernrohrs auf „Unendlich“ stellen und der Parallaxe-fehler soll somit verschwinden. Bei Kurzsichtigen ohne Brille benötigen eine etwas abweichende Einstellung.
2. Nun beleuchten wir den Spalt mit einer Natriumdampflampe. Je nach Aufbau der Lampe benutzen wir einen Kondensor um die Lichtstrahlen parallel verlaufen zu lassen. Wir stellen den schmal eingestellten Spalt durch verschieben so ein, dass er durchs Fernrohr scharf dargestellt wird. Nun setzten wir einen Spiegel senkrecht zum Spaltrohr in den Gitterhalter ein. Anschließend stellen wir zwischen den vergrößerten Spalt und Lampe einen Objektträger so unter 45° gegen die Achse auf, dass von der Seite her über diesen Strahlteiler das vom Spiegel reflektierte Licht sichtbar wird. Der Spiegel wird dann durch das Gitter ausgetauscht und der Spalt wieder verkleinert.

2.2 Bestimmung der Gitterkonstante eines Gitters

Ein Gitter ist ein lichtundurchlässiges Blättchen mit etwa 600 lichtdurchlässigen Spalte pro Millimeter. Die Gitterkonstante g ist das Verhältnis 1mm zu Anzahl der Spalte. Es besitzt die Spaltbreite $b = 0,9 \cdot g$. Es wird das gelbe Licht einer Natriumdampflampe benutzt mit einer mittleren Wellenlänge von $\lambda = 589,3nm$. Wir nehmen an, dass nur diese Wellenlänge bekannt sei und wir sollen über die Maxima die Gitterkonstante bestimmen.

Für die Hauptmaxima gilt:

$$\sin \alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{g}$$

wobei n die Ordnung angibt.

Für die Minima der Einzelspalte gilt:

$$\sin \alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{b}$$

Mit den ungefähren Angaben aus der Vorbereitungsmappe können wir nun die Orte vorhersagen. Wir erhalten folgende Erwartungen:

Ordnung	Maxima Gitter in °	Minima Einzelspalt in °
1	20,7	23,1
2	45,0	51,8

Weitere Ordnungen sind nicht mehr sichtbar, da $\sin \alpha_n$ größer 1 wird für $n \geq 3$. Die Maxima werden nicht von den Minima der Einzelspalte überlagert und sollten somit sichtbar sein. Wir sollen ebenfalls das Intensitätsverhältnis berechnen. Dazu benutzen wir die Formel aus der Vorbereitungshilfe.

$$I = \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \cdot \frac{\sin(N\Phi)^2}{\sin \Phi}$$

mit

$$\beta = \frac{\pi b}{\lambda} \cdot \sin \alpha$$

und

$$\Phi = \frac{\pi g}{\lambda} \cdot \sin \alpha$$

N ist die Anzahl der beleuchteten Spalten, α der Beobachtungswinkel. Wir erwarten folgende Intensitäten:

Ordnung	Intensität
1	3890
2	3791

Minima treten dann immer auf wenn $\sin(N\Phi)$ oder $\sin \beta$ Null ist. Dies tritt auf wenn $\frac{N \cdot g}{\lambda} \sin \alpha$ ganzzahlig ist.

Um die Winkelauflösung zu erhalten, prüfen wir den Abstand zweier Minima:

$$1 + N \frac{g \cdot \sin \alpha}{\lambda} = N \frac{g \cdot \sin(\alpha + \Delta\alpha)}{\lambda}$$

Nun setzen wir die Winkelbeziehung der Maxima ein und erhalten:

$$\frac{\lambda}{Ng} = \sin(\alpha + \Delta\alpha) - \sin \alpha = \frac{n(\lambda + \Delta\lambda)}{g} - \frac{n\lambda}{g}$$

Und somit gilt:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = n \cdot N$$

Um die Doppellinie für $n = 1$ aufzulösen (Abstand ca. 0,5 nm), brauchen wir $N \geq \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{589,3}{0,5} \approx 1.179$ Gitterspalten. Somit müssen ca. 2 mm des Gitters beleuchtet werden, damit die Doppellinie in erster Ordnung aufgelöst werden kann. In zweiter Ordnung müssten somit ungefähr nur 1 mm beleuchtet werden.

2.3 Wellenlängenabstand der gelben Na-Linien

Hier sollen wir den Abstand der gelben Na-Linien bestimmen. Dazu messen wir die beiden Winkel α_1 und α_2 beim auftreten von Maxima und benutzen folgende Formel und $\Delta\lambda$ zu bestimmen.

$$\Delta\lambda = \frac{g}{n}(\sin \beta - \sin \alpha)$$

2.4 Bestimmung der Gitterkonstante eines unbekannten Gitters

Hier soll die Gitterkonstante von einem Gitter bestimmt werden, das mit dem Grobwert $g = 50/\text{mm}$ gekennzeichnet ist. Es sind viele Maxima erkennbar. Dies liegt daran dass wir die Maxima mit $\sin \alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{g}$ berechnen. Da hier g im Nenner steht und sehr groß ist können wir dementsprechen n öfters erhöhen bis das Argument im Sinus größer 1 wird. Wenn wir die komplette nutzbare Breite von 36mm beleuchten würden, könnten wir schon ab dem 1. Maximum die Doppellinie auflösen. Bei 5mm Beleuchtung ab der 5. Ordnung.

2.5 Wellenlängenbestimmung der Zn-Spektrallampe

Hier sollen wir die vier deutlichen Linien einer Zn-Spektrallampe bestimmen. Es sei bekannt, dass sie die Farben violettblau, blau, blaugrün und rot besitzt. Ebenso wissen wir jetzt die Gitterkonstanten von den Gittern sehr genau. Wir leiten unseren Lichtstrahl durch passende Farbfilter um jeweils drei von vier Wellenlängen herauszufiltern. Anschließend trifft der Lichtstrahl nun auf unser Gitter. Über die Winkel der Maxima und deren Ordnung können wir nun die Wellenlänge bestimmen. Es gilt:

$$\lambda = \sin \alpha_n \frac{g}{n}$$